



A SITUAÇÃO DA PESQUISA NUCLEAR NO BRASIL

Rex Nazaré Alves

Matéria extraída da Revista Marítima Brasileira (edição Jan/Mar 90) reproduz palestra proferida, no auditório do Banco Central, em Brasília, por ocasião das comemorações do Centenário de Nascimento do Almirante Alvaro Alberto. Reúne informações valiosas para a apreciação correta das alterações que se processam na política nuclear brasileira.

INTRODUÇÃO

Compreender a situação da pesquisa nuclear no Brasil requer o entendimento preliminar dos fatos históricos que não podem recusar o envoltório da dimensão política, econômica e social determinante do desenvolvimento científico e tecnológico. Estabelecer a veracidade dos fatos de forma concisa e clara, muitas vezes distorcidas por fatores alheios aos interesses nacionais, é nossa proposta.

Na primeira parte desta exposição, abordaremos aspectos internacionais,

com as correspondentes medidas adotadas pelo Brasil na área nuclear, evidenciando seus reflexos sobre nosso desenvolvimento, a médio prazo. Em seguida, descreveremos as razões que levaram o País a adotar o atual modelo de condução desse desenvolvimento. Desta forma tornar-se-á mais compreensível o estágio atual de andamento do programa, apresentado na terceira parte. A conclusão procura exprimir, de forma resumida, uma proposta que permita à Nação brasileira desenvolver e utilizar a energia nuclear da forma que ela decidir e não da forma que lhe for imposta.

RESUMO HISTÓRICO

Da origem até a década de 30

O fim do século passado e os primeiros anos do atual viram florescer as experiências de William Crookes, na Inglaterra, de Wilhelm Röntgen, no Sul da Alemanha, de John Joseph Thomson, em Cambridge, de Robert Millikan, em Chicago. Foram descobertos o elétron e a radiação eletromagnética capaz de penetrar folhas metálicas. Nesse mesmo período, o francês Henri Becquerel observava que, de uma amostra de um minério também eram emitidas radiações semelhantes àquelas geradas por ionizações de gases. Ao mesmo tempo, Ernest Rutherford, Marie e Pierre Curie, e Hans Geiger identificavam novas partículas, elementos e propriedades que permitiram a Niels Bohr estabelecer os primeiros modelos do átomo. Max Planck, Albert Einstein, Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, Paul Dirac e Werner Heisenberg consolidavam teorias revolucionárias da dualidade onda/partícula, que permitiam a compreensão desses novos fenômenos.

Assim é que, em meados da década de 30, o Brasil via nascer suas atividades em física atômica e nuclear no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Eram estudos e experiências acadêmicos, e ampla era a difusão dos resultados obtidos.

Em 1932, James Chadwick descobriu o nêutron e, seis anos mais tarde, Otto Hahn e Lisa Meltner realizavam as primeiras fissões em laboratório. Enrico Fermi e outros imediatamente visualizaram que a tremenda emissão de energia oriunda da fissão poderia ter aplicações militares e tornar-se-ia elemento considerável na nova distribuição de poder no mundo.

Da década de 30 até 1950

A conturbada situação política internacional, ao término da década dos anos 30, via desaparecer a troca de informações que ocorria de maneira aberta e sem restrições no meio científico. Pela primeira vez em física fundamental, por proposta dos cientistas da época, ocorreu a política do sigilo e da recusa à transferência de conhecimentos. A era do sigilo científico na área do conhecimento nuclear conduziu ao atual oligopólio de sua indústria, o qual, sob o pretexto de restrições ao uso bélico, restringe ou limita o acesso de outros países aos benefícios socio-econômicos dessa tecnologia.

A imediata rendição japonesa após o bombardeio de Hiroxima e Nagasaki criou a impressão nítida de que, mantido o sigilo absoluto, a distribuição do poder entre as nações do mundo estaria fatalmente definida e assegurada. Era fundamental, portanto, que um controle fosse realizado sobre os então denominados minerais atômicos. Inicialmente, esse controle era inteiramente de caráter bilateral.

O Brasil, alinhado no pós-guerra ao grupo ocidental liderado pelos EUA, concluiu, assim, em 1945, seu primeiro entendimento nuclear de caráter internacional. Concorda que a sua exportação de materiais nucleares se dê mediante prévia consulta aos EUA. As dificuldades oriundas de ações de controle estritamente bilateral levam os EUA a proporem, em 1946, o Plano Baruch, que pretendia a criação de uma autoridade atômica supranacional para controlar as atividades nucleares consideradas virtualmente perigosas à segurança mundial e propunha, ainda, a internacionalização das áreas potencialmente produtoras de minérios nucleares.

A União Soviética se opôs terminantemente a esse plano. A hábil ação da diplomacia brasileira, apoiada na assessoria lúcida e visão prospectiva de Álvaro Alberto da Motta e Silva, inviabilizou tal pretexto ao contrapropor que essa internacionalização pretendida só seria válida se abrangesse todos os combustíveis (petróleo, carvão, etc.). É o berço da não aceitação de discriminações e da igualdade de direitos e responsabilidades entre as Nações, até hoje defendidos. Identificava Álvaro Alberto, entretanto, que a nossa riqueza mineral poderia ser elemento de barganha nesse contexto mundial. Assim é que, em 1947, apresentou Memorando ao governo brasileiro propondo a Linha de Compensação Específica: "vender materiais físsveis por preços justos e só em troca de assistência nuclear,

em termos de treinamento, tecnologia e equipamentos". Era a busca de apoio às atividades acadêmicas que se desenvolviam.

A explosão da primeira bomba soviética, em 1949, o preceço psicossocial de Hiroxima e Nagasáqui e o desenvolvimento nuclear de terceiros países industrializados colimaram os interesses para o aparecimento de mecanismos internacionais que, ao mesmo tempo que permitissem a aparente cooperação nuclear, sem perda de mercado, possibilitassem controles considerados adequados.

Da década de 50 até 1970

A visão de Álvaro Alberto não se restringe à política de compensação específica. Procura outros parceiros em países industrializados. Assim, em 1954, adquire três ultracentrífugas na Alemanha. Sua entrega ao Brasil é fortemente dificultada pelos EUA.

Em 12 de janeiro de 1955, Álvaro Alberto, não resistindo mais às pressões externas com consideráveis ressonâncias internas, renuncia à presidência do Conselho Nacional de Pesquisas (atual CNPq), criado, em 1951, por sua iniciativa e de José Carneiro Felipe.

Dois meses mais tarde, dois acordos nas áreas de prospecção de urânio e de reator de pesquisa são concluídos entre o Brasil e os EUA, não sem antes vermos desrespeitada a política de Compensação Específica, como consequência das más condições

econômico-financeiras do País no início da década de 50 e da nossa necessidade de importação de trigo. Em 1955, é suspensa, também, uma cooperação do CNPq com a França para produzir urânio metálico, forma do combustível nuclear de maior uso na época.

Esse quadro internacional não confortável para o nosso desenvolvimento nuclear ainda assim permite ao Brasil adquirir dois reatores de pesquisa, criando, em 1955 e 1956, respectivamente, o Instituto de Pesquisas Radioativas — IPR, em Belo Horizonte (atual CDTN), e o Instituto de Energia Atômica — IEA (atual IPEN — Instituto de Pesquisas Nucleares), em São Paulo.

Ainda em 1956, instalava-se, no Congresso Nacional, a primeira Comissão Parlamentar de Inquérito — CPI, destinada a investigar as pressões para mudança das diretrizes do CNPq, e constata a insatisfação americana com o caso das ultracentrífugas. Naquela época, o Governo americano alegava que a possibilidade de o Brasil dominar a tecnologia nuclear significava ameaça à segurança dos EUA e de todo o hemisfério ocidental, com efeitos deletérios para as relações entre os dois países (CPI — 1956).

Nesse mesmo ano, é criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear — CNEM, diretamente subordinada à Presidência da República, congregando os atuais IPEN e CDTN.

Esse quadro político internacional, que servia de moldura ao desenvol-

vimento nuclear no Brasil, não era diferente em muitos outros países.

Em consequência, a fim de agilizar o acesso aos conhecimentos científicos e tecnológicos na área nuclear através da cooperação internacional, é criada, em 1957, no âmbito das Nações Unidas, a Agência Internacional de Energia Atômica — AIEA. O Brasil, além de participar ativamente da criação da AIEA, jamais levantou objeção alguma à existência de um sistema de salvaguardas não discriminatório, que assegurasse a utilização pacífica dos materiais, equipamentos e conhecimentos recebidos.

Esse mesmo quadro político internacional levou o Brasil a esboçar, desde o início da década de 50, duas vertentes na sua estratégia para dominar os usos da energia nuclear: uma com base em cooperação externa e outra por esforço autônomo. Alvaro Alberto, ao propor a política de compensação específica, visava à cooperação externa e à aquisição de três ultracentrífugas da Alemanha.

Em 1954, buscava estabelecer bases para um programa nacional independente.

Posteriormente, Octacilio Cunha e Marcelo Damy de Souza Santos procuravam, através de um programa de qualificação do profissional brasileiro nas mais diferentes áreas do conhecimento nuclear, possibilitar a construção, no Brasil, de forma autônoma, de reatores de pesquisa e o desenvolvimento de técnicas de beneficiamento de urânio. Esses progra-

mas permitiram a construção do Argonauta, reator de pesquisa instalado no Instituto de Engenharia Nuclear — IEN, e das primeiras usinas piloto do ciclo do combustível, no então IEA. Ao mesmo tempo, estabeleceram acordos nas áreas de prospecção de urânio e de engenharia de reatores a urânio natural.

É real que esses acordos não propiciaram ao Brasil reservas consideráveis de urânio, nem a construção do tão almejado reator a gás-grafita. Também é real que propiciaram a qualificação de excelentes profissionais nessa primeira fase. Esses dois primeiros presidentes da CNEN procuraram, assim, exercer o monopólio nacional sobre os minerais nucleares e promover a pesquisa sobre energia nuclear no País para usos pacíficos. É dessa época, também, a tradição da CNEN de, no exercício de sua competência legal, apoiar instituições de ensino brasileiras.

Em 1967, sob a presidência de Uriel da Costa Ribeiro, têm início, na CNEN, os estudos sobre a primeira usina nucleoelétrica do País. A opção, em 1971, recaiu sobre um reator de 626 MWe do tipo água pressurizada e urânio levemente enriquecido, através de um acordo com os EUA, com garantia de recebermos suprimento de urânio (Angra 1). Foi delegada à Eletrobrás a responsabilidade pela construção da usina.

O enfoque prioritário na construção de usinas nucleoelétricas e a transferência das atividades de pros-

pecção de urânio para a Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais — CPRM, levam o governo a transferir a CNEN para o âmbito do Ministério das Minas e Energia.

Inicia-se um período de prevalência das atividades com base em cooperação externa, que se estende até o início da década de 80.

Hervásio Guimarães de Carvalho, então presidente da CNEN (1969 — 1982), adota como política central, nos primeiros anos de sua administração, o aumento das atividades de prospecção de urânio e a formação de especialistas.

A busca de maior participação de empresas nacionais na construção de usinas nucleoelétricas, e a necessidade de maior flexibilidade administrativa levam o governo a criar a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), em 1972. Seu objetivo era atrair e mobilizar a indústria nacional para o Programa Nuclear, abrindo, desta forma, uma prioridade a seus aspectos industriais a partir de contatos externos.

A favor do PWR selecionado estava o fato de existir maior número de fornecedores e de ser o reator com maior experiência acumulada no mundo. Sem dúvida, as outras opções também trariam vulnerabilidade. A iniciativa do Instituto Militar de Engenharia (IME) de produzir água pesada não motivara a CBTN, sendo interrompida posteriormente. Interrompidas foram, também, as iniciativas do IPR para o uso do tório, como opção de combustível nuclear.

Década de 70 até hoje

A primeira crise do petróleo, aliada ao potencial hidrelétrico conhecido na época (da ordem de 50.000 MWe) e ao crescimento da demanda por energia elétrica (superior a 10% a.a.) levaram as autoridades a buscar (1973 e 1974) acordos de cooperação que possibilassem o inteiro domínio da energia nuclear.

O Brasil tenta negociar, inicialmente com os EUA, a compra de quatro centrais nucleares e instalações para o ciclo do combustível. O Governo americano impede o prosseguimento das negociações por envolver o enriquecimento do urânio. O Brasil tenta também negociar com a França. Esta, entretanto, só admitia a transferência da usina de enriquecimento de urânio sob a forma de contrato *turn-key*, não permitindo transferência de tecnologia. Na procura de parceiros, aquele que mais se aproximou das pretensões brasileiras foi a Alemanha Ocidental (RFA).

Em 1975, finalmente, o Brasil concluiu um acordo com a RFA. Entretanto, vê frustradas suas intenções de acesso à tecnologia de ultracentrifugação e condicionado o reprocessamento do combustível a uma escala-piloto. A flexibilidade necessária à implementação desse acordo leva à transformação, em 1974, da CBTN em Nuclebrás, inteiramente desvinculada da CNEN e responsável pela instalação das usinas industriais do ciclo do combustível, pela absorção de tecnologia de projetos

e de usinas nucleoelétricas de 1.300 MWe, e pela fabricação dos principais componentes pesados destas.

Embora não tenha participado das negociações entre Brasil e RFA, considerada a veracidade dos fatos relatados acima, não posso deixar de concordar com o acordo.

Discutíveis, sim, são os comprometimentos nos acordos de acionistas e nas demais obrigações comerciais. Indispensável é adaptá-los às atuais condições brasileiras.

Nesse mesmo período (1973 — 1975), a crise do petróleo, o reconhecimento das reservas de combustíveis no mundo e a crença na correlação energia e desenvolvimento levaram a distorções nos mecanismos de controle da cooperação internacional na área nuclear. Assim, as salvaguardas estabelecidas na criação da AIEA ampliaram-se, à medida que se difundiam os usos pacíficos da energia nuclear. Paralelamente, aumentaram os movimentos mundiais liderados pelas potências nucleares, visando, aparentemente, a evitar o chamado *holocausto nuclear*, por meio do desarmamento nuclear, do qual, de modo peculiar, estariam isentas. É a tentativa de congelamento do poder, lastreado no anseio ético e legítimo da humanidade de evitar a proliferação de armas nucleares. Entretanto, na prática, são estabelecidos mecanismos discriminatórios. Desarmem-se os desarmados, mesmo que para isso, ou pretendamente por isso, não lhes permitam, de fato, o acesso às tecnologias de ponta mas,

simplesmente, aos produtos destas, mantendo um sistema de neocolonialismo tecnológico.

Avultam, de forma crescente, condicionantes inibidoras, seja na esteira de mecanismos institucionais multilaterais (Tratado de Não Proliferação, Clube de Londres), seja em decorrência de ações unilaterais dos países supridores de materiais, de equipamentos e de tecnologia. Dessa forma, a AIEA, em 1976, passou a aplicar salvaguardas, com base em tratados discriminatórios (Guide Principles), a instalações, equipamentos e materiais fornecidos através do Programa de Assistência dessa Agência.

Para garantir o fornecimento de urânio enriquecido para os dois primeiros reatores do acordo com a Alemanha, o Brasil comprometeu-se a submeter o plutônio, a ser produzido, pelo uso desse urânio a um sistema de armazenamento internacional. Foi pré-condição para o acordo com o consórcio Inglaterra, Holanda e RFA (Urenco), em 1971. Ao mesmo tempo, a política do governo Carter decide não fornecer urânio com teor de enriquecimento acima de 20% (limitando assim à operação de reatores de pesquisa); não exportar equipamentos; não transferir tecnologia de enriquecimento, reprocessamento, água pesada e grafita. Decide, também, sujeitar a garantia do suprimento de combustível previsto contratualmente para Angra I à aceitação de exigências adicionais. Essa política é consolidada em 1978 na Lei de Não Proliferação: os EUA só efetuam ex-

portação nuclear para os países que aceitem a aplicação de salvaguardas a todas as suas atividades nucleares (Full Scope Safeguards). Mesmo cumpridas essas exigências, não fornecem equipamentos nem materiais para tecnologias que considerem sensíveis, tais como enriquecimento, reprocessamento, água pesada e grafita. Essas ações repercutem na AIEA que inicia estudos visando ao Armazenamento Internacional de Plutônio (IPS) e à elaboração de Regras para Garantia de Suprimentos (GAS).

Para o Brasil, a situação é agravada pelo fato de o acordo com a RFA não prever a transferência de tecnologia de produção de UF6, indispensável às técnicas de enriquecimento comprovadas industrialmente. O Brasil tenta, em 1979, negociar com a França (UPUK) a construção de uma usina para a produção de UF6, que exige, além de aplicação das salvaguardas habituais, que o Brasil não a reproduza.

Esse era o quadro em 1979. Não se modificou até nossos dias. Procura-se, assim, resguardar um mercado somente pelo fornecimento internacional de material, equipamento, combustível e serviço, que abrangia, em 1986, 374 reatores em operação e 157 em construção, o que implica num comércio anual superior a 50 bilhões de dólares. Tais procedimentos fizeram com que países como o Brasil, Argentina, Índia, China, França e outros se empenhassem em atividades tecnológicas autônomas e não aceitassem salvaguardas amplas, de

abrangência total. A essa vontade opõe-se aquela dos países altamente industrializados, que procuram estabelecer instrumentos políticos que submetam também, às salvaguardas, esses esforços autônomos, em particular a capacitação nuclear dos países emergentes.

A experiência internacional mostra que países signatários do Tratado de Não Proliferação (TNP) e que aceitaram outros instrumentos multilaterais de controle têm-se separado, não obstante, com a imposição unilateral de exigências adicionais, inhibitoras de seus programas de desenvolvimento nuclear para fins pacíficos. A não aceitação das exigências adicionais, em 1978, com base na mudança política dos EUA gerou a suspensão do fornecimento de combustível nuclear enriquecido para Angra I e para nossos pequenos reatores de pesquisa. Não há explicação técnica evidente que permita essas negativas, "fundamentadas" em proliferação nuclear. Não se faz bomba com o urânio a 3% (Angra I) ou 20% (reatores de pesquisa). Além disso, todas essas unidades estão submetidas às salvaguardas da AIEA, o que equivale dizer que o Brasil cumpriu e continua cumprindo os compromissos assumidos.

Era a primeira lição no setor nuclear dos anos 70. Simultaneamente, vivíamos os efeitos da primeira e da segunda crises do petróleo. Aprendemos, então, e não devemos esquecer jamais, que geração energética deve apoiar-se em tecnologias e ma-

teriais disponíveis no País. Assim, a energia elétrica deve ser atendida, prioritariamente, por nossos recursos hídricos, sem que abandonemos a busca tecnológica para uso do gás, de carvão e do urânio, fartamente encontrados no Brasil. Por outro lado, em praticamente todas as Unidades da Federação, difundem-se os usos da energia nuclear na medicina, na indústria, e, mais recentemente, na agricultura.

Foram essas as dificuldades na obtenção das tecnologias necessárias:

- as mudanças unilaterais das regras do comércio internacional, alterando, inclusive, contratos anteriormente firmados;
- o surgimento do Clube de Londres, congregando os países supridores;
- a obrigatoriedade de os países receptores de materiais, equipamentos e tecnologia submeterem todas as suas atividades nucleares a um sistema internacional de inspeção, mesmo quando esses materiais, equipamentos e tecnologias destinavam-se a fins distintos dos nucleares;
- a manutenção de uma política de total sigilo tecnológico, envolvendo o conceito de salvaguardas baseadas em informações não disponíveis ao público, salvaguardas essas que se estendem aos usos posteriores dessas informações;
- as proibições à livre negociação dos produtos da tecnologia adquirida, sem o prévio consentimento do país transferidor, que evidenciaram a necessidade de um Programa Nuclear Autônomo.

Só a formação de uma competência seria capaz de gerar as condições para independência indispensável ao atendimento pleno das necessidades brasileiras. Esse Programa Autônomo tinha que considerar, num quadro de fortes pressões internacionais, as seguintes condicionantes:

- competência nacional existente nos segmentos científicos, tecnológicos e industriais do País;
 - dificuldades geradas pela considerável presença de multinacionais em setores de interesse direto e indireto do Programa;
 - dificuldades financeiras nacionais, obrigando a criteriosa definição de prioridades e a economia de meios;
 - a atual limitação do mercado interno, nem sempre motivadora da participação da iniciativa privada nos níveis desejados em empreendimentos nucleares;
 - esforço para ampliar o mercado interno no setor de materiais e equipamentos, em particular nas áreas de maior impacto social como saúde, agricultura e indústria;
 - insuficiência de pesquisas no setor industrial privado;
 - necessidade de sigilo, em nível adequado, durante a fase de desenvolvimento, a fim de evitar maiores pressões externas;
 - exigências de proteção física às instalações nucleares, em consonância com a convenção de Viena;
- Assim, em 1979, com finalidade de desenvolver a utilização de energia nuclear em todas as formas de aplicação pacífica, com autonomia tecnológica, a fim de estender seus benefícios à população brasileira, foi criado o Programa Autônomo de Tecnologia Nuclear. Era o ressurgimento da vertente autônoma.
- O Programa Autônomo de Tecnologia Nuclear (PATN) objetiva desenvolver competência nacional autônoma, indispensável às aplicações pacíficas da energia nuclear, de forma coerente com as necessidades nacionais:
- garantindo a segurança das centrais nucleares, instalações nucleares radioativas;
 - preservando a saúde do homem e as condições do meio ambiente;
 - promovendo a utilização de técnicas nucleares na saúde, na indústria e na agropecuária;
 - desenvolvendo tecnologia própria, visando à redução de vulnerabilidades, particularmente nas áreas sensíveis e de materiais;
 - substituindo a importação de radioisótopos, materiais, equipamentos e instrumentação;
 - controlando as reservas e estabelecendo os estoques de minerais nucleares e de minerais de interesse para a energia nuclear;
 - agregando tecnologia autônoma ao processamento de matérias-primas minerais nacionais, de forma a evitar sua evasão a preço vil;
 - construindo as instalações até a escala de "demonstração", indispensável para caracterizar o domínio tecnológico e a viabilidade industrial dos processos;
 - assegurando o confinamento e

a disposição final dos rejeitos nucleares, de modo a garantir a proteção do homem e do meio ambiente;

- garantindo a capacidade de autodeterminação e de convívio com as demais nações em termos de igualdade e de direitos.

A estratégia do PATN baseou-se numa ação coordenada, que permita a utilização otimizada dos recursos humanos, financeiros e materiais disponíveis no País.

A consolidação dessa estratégia foi facilitada pelo:

- interesse da Marinha do Brasil em criar, no País, uma capacidade técnica nacional em condições de permitir, no futuro e por decisão exclusivamente brasileira, o pleno exercício da propulsão nuclear;

• pioneirismo do Exército nas questões de desenvolvimento científico-tecnológico no País (elemento essencial para a paz social), af incluído o primeiro curso de especialização em energia nuclear, no IME;

• participação da Aeronáutica, com vistas ao suprimento energético de satélites;

• infra-estrutura existente nos centros de pesquisa da Comissão Nacional de Energia Nuclear;

• competência expandida nas universidades brasileiras;

• parque industrial brasileiro;

• capacidade das empresas nacionais de engenharia.

A carência de recursos obrigou, desde logo, o estabelecimento de prioridades, considerando as necessida-

des nacionais, as dificuldades existentes para seu atendimento e o potencial disponível. A viabilização dessa competência nacional autônoma obrigou a aproveitar e aumentar a capacidade de nossos recursos humanos e materiais.

A continuidade desse esforço coordenado tem permitido ao Brasil vencer, etapa por etapa, as dificuldades inerentes ao seu desenvolvimento.

Entretanto, o fim da década de 70 e meados da década de 80 foram marcados, internacionalmente, pelos acidentes de Three Mile Island — TMI(nos EUA) e Chernobyl (na URSS).

Esses fatos geraram, a nível internacional, uma forte apreensão quanto ao futuro da energia nuclear. Por outro lado, a conscientização da necessidade de conservação de energia, a redução do crescimento econômico das nações industrializadas e o endividamento das nações em desenvolvimento, ao reduzirem a taxa de expansão da demanda energética, permitiram reflexões e recomendações aos procedimentos que vinham sendo aplicados na sua geração.

Entretanto, as recentes preocupações ambientalistas, baseadas no princípio de crescimento auto-sustentável, que preestabelece a exigência de atendimento das necessidades básicas da humanidade, apontam como indispensável a retomada do desenvolvimento dos países. Ao mesmo tempo, essas preocupações, refletidas na Conferência de Toronto, con-

siderando fundamental a preservação do meio ambiente, põem em evidência a necessidade premente de redução do efeito estufa, como consequências da geração elétrica. Os especialistas da Reunião de Toronto apontam a energia nuclear como a alternativa adequada, uma vez controlados os riscos de acidentes.

O Brasil, além de sofrer os reflexos desse quadro internacional, teve, como agravante, o acidente de Goiânia, a não confiabilidade, em termos operacionais, de Angra I e os elevados custos do Acordo Brasil — RFA. Esses aspectos negativos eram aprofundados pela desconfiança nos propósitos pacíficos do programa autônomo.

MODELO ATUAL DA ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO PROGRAMA BRASILEIRO

Consequência do modelo vigente até agosto de 1988

Embora o primeiro semestre de 1988 apresentasse resultados parciais positivos, caracterizava-se por um crescente descrédito dos usos da energia nuclear, gerado pelo destaque dos seus aspectos negativos. Tanto os resultados como os aspectos negativos foram identificados:

- no âmbito de Furnas: não confiabilidade na operação de Angra I; falta de crédito do plano de emergên-

cia de Angra; a indefinição quanto ao destino do rejeito nuclear;

- no âmbito da Eletrobrás: a ausência de compromisso com a construção de usinas nucleoelétricas; a falta de confiabilidade nas usinas nucleares para atenderem à demanda por energia elétrica, a não participação nas decisões;

- no âmbito da Nuclebrás: o superdimensionamento para as perspectivas da época; a dívida de US\$ 5,8 bilhões; os débitos crescentes acumulados junto a entidades financeiras; os débitos com fornecedores nacionais da ordem de US\$ 500 milhões; as reduzidas possibilidades de geração de recursos a curto e médio prazos; as fortes restrições de acesso ao mercado financeiro nacional e internacional; a inviabilização de participação do setor privado nacional; o ciclo do combustível inviável, pela indefinição no cronograma das usinas nucleoelétricas e dimensionamento inadequado; a perda de tecnologia já adquirida pela evasão de especialistas devido a indefinições; o apoio político inviabilizado pela insatisfação da sociedade; a descontinuidade gerada pela ausência de recursos devida aos elevados montantes envolvidos e ausência de recursos próprios;

- no âmbito do Programa Autônomo de Tecnologia Nuclear — PATN: o domínio da tecnologia necessária ao ciclo do combustível sem perspectivas de aproveitamento na fase industrial; a produção nacional de materiais e equipamentos de tecnologia sensível nem sempre utiliza-

dos pelo setor industrial; a ausência do grupo Nuclebrás na integração da capacidade tecnológica do País; a participação ativa da iniciativa privada nacional; os subprodutos reduzindo importações e viabilizando exportações; a continuidade, desde 1979, possibilitada por decisão política e adequada às condições econômico-financeiras do País, otimizando os pequenos recursos disponíveis envolvidos nesta fase; mais de 95% dos gastos em moeda nacional; a viabilização das aplicações da energia nuclear em outros setores (saúde, agricultura, indústria); a geração de fluxo de conhecimentos possibilitando competitividade ao setor produtivo; o pessoal técnico e científico altamente motivado pelos resultados científico-tecnológicos e pela continuidade do programa; a compatibilidade com a política de integração regionais;

- no âmbito da CNEN: a crítica ao exercício do poder de licenciamento e fiscalização do comércio e das instalações nucleares centralizadas no órgão de pesquisa e promoção; os resultados positivos na integração das atividades nucleares, nos moldes obtidos pelo CEA (França), e pela AEC (EUA) em fase equivalente de seus programas.

Opções analisadas

Três opções se apresentavam ao governo:

- manter o modelo vigente na época;

- abandonar a geração nucleoelétrica; e
- mudar o modelo.

A escolha de uma das três opções considerou os seguintes aspectos:

- a opção de manter o modelo vigente: a descrença do setor elétrico no nuclear; o aumento do risco de racionamento de energia elétrica; a inviabilização da plena participação da iniciativa privada; a deterioração da credibilidade alemã na parceria brasileira; o aumento do descrédito da sociedade em relação ao setor; a dificuldade de apoio parlamentar; o aumento do nível de insatisfação dos servidores e de frustração de técnicos; a dependência exclusiva do Tesouro Nacional; o desacordo com a política governamental de redução de déficit público; a dificuldade de saneamento público; a não otimização de recursos humanos; a permanência do sentimento de dois programas: civil e militar; a inviabilidade econômica;

- a opção de abandonar a geração nucleoelétrica: a redução da oferta de geração elétrica na região sudeste a médio prazo; o agravamento do risco de racionamento; o abandono da construção de Angra II e III, cujos custos remanescentes eram menores que os das hidrelétricas equivalentes capazes de atender a região sudeste; a perda de US\$ 4,1 bilhões investidos; o vencimento imediato da dívida — US\$ 1,6 bilhão; os custos nas rescisões de contratos de US\$ 330 milhões; os recursos adicionais para manutenção de equipamentos inativos

ou estocados, ou seu sucateamento, nem sempre possível, devido a compromissos de salvaguarda; a desmobilização de pessoal com perda resultante de tecnologia já adquirida; o rompimento do Acordo Brasil-RFA com reflexo no relacionamento internacional; a desconfiança da comunidade internacional; a impossibilidade de retomada de um programa confiável a médio prazo.

Opção adotada

A análise das opções consideradas concluiu ser indispensável mudar o modelo organizacional. Nesse sentido, os seguintes pressupostos foram considerados na concepção do novo modelo que deveria, além de reter o que existia de positivo, eliminar os aspectos negativos:

- garantir que os fins seriam pacíficos;
- assegurar o monopólio previsto em lei;
- permitir a aprovação e acompanhamento do Programa Nuclear Brasileiro (PNB) pelo Congresso Nacional;
- otimizar a utilização dos recursos humanos;
- adequar a estrutura organizacional ao PNB;
- efetivar a participação do setor elétrico;
- assegurar um ritmo adequado às necessidades e condições nacionais;
- maximizar a participação do setor privado nacional;

- reduzir tensões regionais;
- manter os compromissos internacionais no que se refere a salvaguardas.

Essa opção de reformulação global exigia a transferência do projeto e construção das usinas nucleoelétricas para o setor elétrico, em conformidade com todas as outras formas de geração e profundas modificações no setor nuclear, a saber:

- dissolução da Nuclam;
- transformação da Nuclei;
- integração da Nuclep e Nuclemon no programa federal de desestatização, observados os interesses nacionais;
- retirada da participação da Nuclebrás na Nustep;
- transferência do CTAS de Angra II, Angra III e Diretoria de Centrais da Nuclebrás (ex-Nucon) para Furnas;
- transferência do CDTN para a CNEN;
- transformação da Nuclebrás em uma Empresa (Indústrias Nucleares do Brasil — INB), mantendo a Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC), a Fábrica de Elementos Separativos (FES) e os ativos da Nuclei vinculados à CNEN; e
- criação de uma empresa — Urânia do Brasil — subsidiária da INB, para atividades de mineração e produção de concentrado de urânio, recebendo as instalações do CIPC.

Analizando essas modificações constatou-se a evidência das seguintes vantagens:

- viabilizava a construção das centrais nucleoelétricas;
- viabilizava a mineração e a produção de concentrado de urânio, abrindo perspectivas atraentes à participação privada;
- restaurava a credibilidade junto ao parceiro alemão;
- otimizava meios;
- permitia ajustes indispensáveis ainda no atual período governamental;
- restaurava a motivação do corpo técnico;
- contribuía para redução do déficit público;
- permitia reaproveitar pessoal em atividades dos setores elétrico e nuclear.

Constatou-se, também, como desvantagens, a necessidade de renegociações junto ao parceiro alemão, ajustes nas relações trabalhistas e cuidados na comunicação social.

É importante ressaltar que os estudos realizados por Furnas e Eletrobrás deixaram claro serem Angra II e Angra III economicamente viáveis para atendimento da demanda por geração elétrica na região sudeste, respectivamente, em 1995 e 1997.

Evidente, também, é que a conclusão dessas centrais viabiliza, em escala industrial, o ciclo do combustível com emprego de tecnologia nacional e condições de atrair a participação do setor privado. Essa viabilização permitirá ao Brasil tornar-se participante do mercado nuclear de maneira progressiva e segura.

Modelo adotado

A opção pela reformulação global do modelo vigente até agosto de 1988 tomou por base a criação de um Conselho Superior de Política Nuclear, presidido pelo presidente da República e com a participação dos ministros com responsabilidades diretas e indiretas no setor. Também fazem parte desse Conselho três representantes da comunidade científico-tecnológica do País e os presidentes da CNEN, da INB e da Eletrobrás. Espera-se, assim, a discussão ampla dos diferentes aspectos da política nuclear brasileira, em particular pela presença de representantes do Poder Legislativo no Conselho Superior.

Esse Conselho possui como órgãos de assessoramento cinco comitês consultivos: de segurança e radioproteção; de rejeitos radioativos; de desenvolvimento nuclear; de industrialização e comercialização, e de aplicações. Os membros desses comitês são escolhidos entre especialistas nas áreas de suas respectivas competências.

A execução técnica é coordenada pela CNEN, respeitadas as diretrizes do Conselho Superior e as atribuições legais de cada órgão integrante.

Considerado como adequado para a fase atual do desenvolvimento nuclear brasileiro, o modelo adotado pode ser criticado pela não separação de um órgão específico para segurança nuclear. A análise comparativa com a evolução organizacional nos países que galgaram seu pleno do-

mínio nos usos pacíficos da energia nuclear deixa claro não ser este o exato momento dessa separação.

A integração propiciada pelo modelo permite, sem dúvida, o domínio científico e tecnológico crescente nas fases laboratorial, piloto, demonstração e industrial das instalações nucleares. Permite, também, a consolidação de um só programa, sua consideração pelo Executivo e sua discussão, aprovação e acompanhamento pelo Congresso Nacional.

Separar, de forma a não deixar dúvidas, os aspectos políticos dos científicos e tecnológicos envolvidos, permitindo que o desenvolvimento se efetue sob a estreita obediência às diretrizes políticas baixadas.

Identifica e atenua pressões externas, reduzindo, dessa forma, possibilidade de descontinuidades já ocorridas no passado, devido a interesses estranhos aos da nossa sociedade.

SITUAÇÃO ATUAL

A simultaneidade das duas vertentes, baseadas, respectivamente, em acordos bilaterais e no desenvolvimento autônomo, permitiu ao País, sem duplicações dispensáveis, implantar em diferentes estágios (laboratorial, piloto, demonstração e industrial) todos os aspectos da tecnologia nuclear. Evidenciou-se a necessidade de uma coordenação técnica central que otimizasse os meios dis-

poníveis e procurasse eliminar as vulnerabilidades residuais.

Uma descrição sucinta do estágio atual de desenvolvimento é a seguir apresentada.

Geração nucleoelétrica

Angra I

É uma central nucleoelétrica do tipo PWR (água pressurizada) de 626 MWe (megawatt elétrico), de origem americana, cuja construção foi iniciada por Furnas, em 1971, e posta em operação em 1982. Devido a uma seqüência de falhas em equipamentos mecânicos, tais como gerador de vapor, condensadores, turbogenerator, não teve continuidade de operação nos primeiros anos. Os primeiros problemas ocorridos em Angra I, bem como as suas soluções, são apresentados no quadro a seguir.

Embora Angra I não seja uma usina exatamente igual à de Three Mile Island (TMI), uma série de modificações, retiradas das lições aprendidas do seu acidente, foram incorporadas, visando à melhoria da segurança da usina. Atualmente Angra I vem se mantendo em operação contínua apenas com paradas planejadas. A confiabilidade operacional e de segurança de Angra I são essenciais na restauração da credibilidade do setor nuclear. Vale lembrar que o acidente de Chernobyl não gerou modificações em Angra I, pois são usinas inteiramente diferentes.

PRINCIPAIS PROBLEMAS OCORRIDOS EM ANGRA I

Descrição	Solução
<p>GERADORES DE VAPOR — GV</p> <ul style="list-style-type: none"> — Em outubro de 1981 — Problemas de desgaste G.V. tipo D/3 da Westinghouse, na Suécia (Ringhals-3) do mesmo tipo de Angra I. Angra I operou somente a 30% com entrada no bocal superior para evitar desgastes por vibração devido à alimentação pelo bocal principal; — Parada P-2 — Feito ECT em 100% dos tubos (2 GC's), tapados; (1987) — 7 tubos — Feitos limpeza do GV's. — Parada PG — Feito ECT — 50% tubos na placa suporte; (1978) — tratamento térmico dos tubos parte curva; — limpeza pelo processo <i>shot peening</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> — Modificação do projeto do bocal de entrada dos G.V. (geradores de vapor), tipo D/3, da Westinghouse, em usinas no exterior; Em Angra I estas modificações foram feitas no período de julho a setembro de 1983, e vêm sendo acompanhadas periodicamente. — São testes de acompanhamento para verificação de integridade dos tubos com relação aos fenômenos de <i>denting</i> e corrosão.
<p>GERADORES DIESEL DE EMERGÊNCIA — GD</p> <ul style="list-style-type: none"> — De julho a novembro de 1982, os 2 GD's estiveram inoperáveis para diversos reparos e melhoramentos na lubrificação e testes de partida (5,5 meses); — Diversas outras pequenas paradas durante o período de 1981 a 1986. 	<ul style="list-style-type: none"> — Reparos e substituição das peças estragadas e melhoramentos do sistema de lubrificação e partida. — Mudanças das especificações técnicas relativas ao modo de freqüência de testes. — Serão instalados dois novos GD's com maior capacidade elétrica fornecidos por fabricante alemão (Angra II e Angra III). <p>NOTA: Em fase final de montagem.</p>
<p>CONDENSADOR De 1982 a 1985, ocorreram constantes furos nas quatro caixas do condensador da turbina provocados pela corrosão e erosão, devido às <i>cracas</i> fixadas nos tubos. Cada furo necessitava do isolamento da respectiva caixa. Algumas vezes, foi necessário desligar a Usina (entrava água salgada no circuito secundário, o que não é permitido, levando a um desgaste do gerador de vapor).</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Provisória: Tapados uma centena de tubos com furos, de 1981 a 1985., de um total de 48.000 tubos de uma liga de cobre. — Definitiva: Em 1986, na parada P2, foram trocados todos os 48.000 tubos por outros feitos de uma liga de titânio, mais resistentes à corrosão por água salgada e por organismos vivos. Foi melhorado o sistema de limpeza em operação contínua da usina.

<p>BOMBAS</p> <p>a) Bombas do Sistema Primário — Vazamento pelos selos de retenção (abr/85, out/86 e mar/87).</p> <p>b) Bomba de Reposição de Água do Primário (CVCS Charging Pump) — Queimou o motor e danificou o eixo e os mancais (mai/81 — dois meses).</p>	<p>a) Esfriada a usina e trocados os selos danificados.</p> <p>b) Recuperação da Bomba. Esta bomba não é disponível no mercado internacional. Inicialmente, foi comprada uma que era para ser instalada na Usina Nuclear de Porto Rico, a qual já havia sido trocada.</p>
<p>QUEDA DE UM ELEMENTO COMBUSTÍVEL NO REATOR DURANTE CARREGAMENTO</p> <p>Em 29 de julho de 1983, durante o carregamento do núcleo, um elemento combustível foi mal posicionado e inclinou-se no vaso do reator sem maiores consequências.</p>	<p>— Substituído o elemento que caiu. Após reanálise do núcleo foram substituídos e rearranjados quatro novos e elementos combustíveis (Ciclo 1A).</p>
<p>QUEIMA DE BOBINA DE GERADOR ELÉTRICO PRINCIPAL</p> <p>Em 10 de dezembro de 1986, após a recarga da usina, quando o reator estava a 98% de potência, queimou-se uma bobina do gerador elétrico principal, ocasionando o desligamento da Central por sinal de curto-circuito.</p> <p>Em 24 de julho de 1987 — quatro meses após a recarga do combustível, ocorreu um curto-círcuito do gerador elétrico principal com a parada automática da central.</p>	<p>— Foi desmontada e substituída a bobina queimada. Este trabalho foi extremamente demorado e delicado e durou três meses e meio.</p> <p>— Para reparo foi necessário desmontar o gerador e refazer o isolamento térmico das lâminas de aço sílico, com reaproveitamento de 2/3 delas. Foram trocadas todas as bobinas e instrumentação do sistema de refrigeração do gerador elétrico (Reparo feito pela Siemens — Brasil). Duraram 16 meses essas atividades.</p>
<p>PENETRAÇÕES MECÂNICAS DA CONTENÇÃO</p> <ul style="list-style-type: none"> — Parada P-2 — Essas penetrações apresentaram vazamentos excessivos (1987). — Parada PG (1988) — As penetrações apresentaram vazamentos quando se realizava o teste local (LIRT). 	<ul style="list-style-type: none"> — Foi necessário trocar sete juntas de expansão (<i>bellows</i>), cujo reparo é bastante complexo, pois as mesmas são soldadas no local (Reparo feito na Parada P-2). — Foram reparadas 28 juntas de expansão, as quais apresentaram vazamentos ora na parte interna ou externa dos <i>bellows</i>. (Reparo feito durante a parada PG.)
<p>INVERSORES ELÉTRICOS</p> <p>Apresentaram defeitos de projeto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> — A Westinghouse trocou todos esses sete inversores, os quais foram substituídos, em 1988, na parada PG.

AMORTECEDORES SÍSMICOS

- Parada P-2 — Nos testes periódicos em 1985, verificou-se que 70 snubbers estavam travados (emperrados), todos fornecidos pela firma INC.
- Parada PG — Nos testes periódicos foram encontrados 27 amortecedores travados da mesma firma INC.

- Foram trocados todos eles por novos, fornecidos por outro fabricante (na Parada P-2). Foram feitas várias análises de tensão de linhas dos sistemas onde foram encontrados esses amortecedores. Não houve consequências de deformações de tubulações.
- Na Parada PG (1988), foram substituídos todos eles pelo modelo PSA, de outro fabricante.

Angra II

Angra II é a primeira usina nuclear elétrica decorrente do acordo Brasil-RFA a ser construída no País. É do tipo PWR, com uma potência elétrica líquida de 1.245 MWe. Teve sua construção iniciada em 1976, sob a responsabilidade de Furnas. Por exigência da CNEN, seu estaqueamento teve que ser reforçado, acarretando o primeiro atraso no cronograma inicialmente previsto. Posteriormente, sua construção ficou a cargo da Nuclebrás, entre 1981 e 1988. A partir de setembro de 1988, essa responsabilidade retornou à Furnas.

Cerca de 87% dos equipamentos importados estão entregues e 2% encomendados. No caso dos equipamentos nacionais, 72% estão entregues ou encomendados. 76% do projeto básico e 67% do projeto detalhado estão concluídos. 88% das obras civis e 23% dos serviços de acabamento também estão concluídos. A montagem da esfera de contenção está com 91% dos seus trabalhos concluídos. Para o término de Angra II,

estão previstos custos diretos de cerca de US\$ 1.260 milhões.

Os dados indicados no parágrafo anterior demonstram ser Angra II a melhor opção de expansão do sistema elétrico no próximo quinquênio, seja do ponto de vista do custo, seja do estágio de evolução do projeto e da obra. Contudo, para se viabilizar esta opção, é indispensável que as fontes dos recursos necessários à sua conclusão estejam claramente definidas e que os mesmos fluam de forma contínua.

Angra III

Idêntica à Angra II, teve sua construção iniciada posteriormente e descontinuada por ausência de recursos.

As fundações desta usina estão escavadas. E, como os projetos básicos e detalhados são idênticos aos de Angra II, o estágio de conclusão desses projetos é o mesmo daquela usina. 82% dos equipamentos importados estão entregues e 6% encomendados. Cerca de 45% dos equipamentos na-

cionais estão entregues ou encomendados. Para o término da construção desta usina estão previstos custos diretos de cerca de US\$ 1,555 bilhão. Assim como Angra II, a Usina de Angra III representa a opção mais econômica para o setor elétrico na data de sua operação.

Efeitos Tecnológicos no País devido à construção de Angra II e III

A construção das centrais nucleares de Angra II e III demandou grandes esforços no sentido de capacitar a engenharia nacional e, principalmente, a indústria a atenderem aos rígidos requisitos da tecnologia nuclear, possibilitando uma participação crescente de empresas nacionais — consultoras de engenharia, montadoras, construtoras, fabricantes de equipamentos e materiais, laboratórios de testes etc. — ao longo de todo o programa. Apesar do ritmo reduzido imposto à condução dos empreendimentos de Angra II e III, são expressivos os índices de nacionalização alcançados até agora, a saber:

- o programa de desenvolvimento industrial pré-qualificou 400 empresas, sendo que cerca de 50 foram efetivamente envolvidas, através de contratos num total de encomendas da ordem de 500 milhões de dólares;
- o índice de nacionalização alcançado para Angra II é aproximadamente 36%, em valor, para componentes eletromecânicos;

- se computarmos serviços de engenharia, montagem e construção civil, o índice de nacionalização global para Angra II e III atingirá cerca de 65%, em valor.

No que diz respeito à engenharia e à indústria, é importante mencionar o conhecido "efeito multiplicador", que faz com que a tecnologia nuclear provoque o desenvolvimento de outros segmentos tecnológicos e atue como alavanca do desenvolvimento econômico e tecnológico do País.

Para ilustrar, citamos alguns dos efeitos mais significativos e que foram verificados no caso do programa brasileiro:

- desenvolvimento e fabricação de novas ligas e materiais que não eram, anteriormente ao programa, produzidos no País;
- nacionalização e desenvolvimento de equipamentos mecânicos e elétricos destacando-se, aí, válvulas industriais, bombas e equipamentos rotativos e equipamentos de instrumentação e controle;
- implantação de uma indústria pensada com alto padrão tecnológico, capaz de fabricar equipamentos de grande peso e volume, com tolerância e requisitos extremamente severos (exemplo: envoltório de contenção, equipamentos do circuito primário, etc.);
- implantação da filosofia de garantia da qualidade e de todo um sistema de qualidade, o que inclui a criação do Instituto Brasileiro de Qualidade Nuclear, IBQN. Um sis-

tema semelhante, inspirado no nuclear, foi implantado pela Petrobrás recentemente;

- elevação da qualidade dos produtos, em decorrência da aplicação de novas técnicas e processos de fabricação, do aprimoramento do planejamento industrial e, sobretudo, da implantação dos programas e manuais de garantia da qualidade;

- crescimento da capacidade de exportação da indústria, em função da elevação de qualidade acima mencionada, o que permitiu a vários fabricantes obterem certificados tipo ASME (American Society of Mechanical Engineers) e outros, que os habilitaram a competir no mercado internacional;

- desenvolvimento e disseminação de procedimentos técnicos específicos, não comuns na indústria, como novas técnicas de soldagem de materiais, ensaios não destrutivos, fabricação em condições ambientais controladas, qualificação técnica de soldadores e inspetores de solda, etc.;

- introdução, no País, de técnicas e procedimentos de engenharia até então desconhecidos, como análise de segurança, análise probabilística de risco, análise sísmica de componentes e de edificações, projeto de grandes unidades industriais com modelo reduzido, desenvolvimento de sistemas CAD/CAM na engenharia, desenvolvimento de sistemas integrados de gerenciamento da construção e da montagem;

- na informática: desenvolvimento de softwares especiais de controle

(por exemplo, os sistemas "SICA", "SIMP" e "SFCS" desenvolvidos pela COPPE/UFRJ para Angra I ou o simulador para Angra II).

Sem nenhuma dúvida, uma atenção especial deve ser dada à Nuclen, a fim de garantir a efetiva transferência e manutenção da tecnologia das centrais de grande porte.

Ciclo do combustível

Prospecção e pesquisa de urânio no Brasil

A prospecção de minerais radioativos no Brasil teve início em 1952, a cargo do Conselho Nacional de Pesquisas — CNPq, revelando os primeiros indícios uraníferos em Poços de Caldas (MG), Jacobina (BA) e Araxá (MG). Os trabalhos pioneiros se desenvolveram até o ano de 1956, com a participação de pesquisadores brasileiros do CNPq e de geólogos americanos do *United States Geological Survey* (USGS) e da *U.S. Atomic Energy Commission* (USAEC). Em 1956, com a criação da CNEN, foi estabelecido um programa conjunto com técnicos americanos do USGS, para prospecção e pesquisa de minerais radioativos em todo o território nacional.

a. Atividades na prospecção e pesquisa mineral

A prospecção começa com a seleção de áreas e representa um processo cujo ponto de partida são os

modelos conceituais geológicos e metalogenéticos das jazidas conhecidas. As atividades constantes da execução de um programa mineral empreendido em diferentes escalas são: Aerogeofísica, Geoquímica, Mapeamento Geológico, Geofísica Terrestre, Topografia, Sondagem, *Shaft*, Galerias, Geotécnica, Cálculo de Reservas, Pré-Viabilidade e Implantação de Complexo Industrial.

Para atingir a posição de detentor da quinta reserva mundial de urânio, foi necessária a definição de um Programa Nuclear Brasileiro, com objetivos e metas bem definidos, e a destinação de recursos para a prospecção e pesquisa em quantidades compatíveis com o objetivo a ser alcançado. Foi preciso, igualmente, criar uma metodologia de prospecção e pesquisa adaptada às características geológicas do território brasileiro, que não fosse apenas uma transposição de metodologias existentes em outros países, ou seja, partiu-se, desde o início, para a formação de uma competência nacional, hoje plenamente atingida. A definição de reservas de urânio conhecidas, bem como a descoberta de novas jazidas, além de constituírem elemento essencial no elenco de soluções energéticas nacionais e na garantia da soberania nacional, poderão vir a ser importante fator de política internacional, em termos de relacionamento com outras nações.

O aumento substancial das reservas geológicas de urânio do Brasil na última década comprova amplamente

o potencial do País. No entanto, diante das limitações financeiras, os programas de trabalhos anuais tiveram de ser reduzidos de maneira drástica, para adequação aos limites orçamentários fixados. Em consequência, cerca de 70% das atividades inicialmente programadas, e para as quais a CNEN dispõe de uma estrutura montada e de um corpo técnico experiente e qualificado, não estão sendo realizadas.

Cabe lembrar, também, que de acordo com a experiência internacional, o período entre a descoberta de uma jazida e sua viabilização, para início da implantação de um complexo de produção industrial, é de seis a oito anos, e que as características geológicas do país são favoráveis à ocorrência de urânio em áreas ainda não totalmente reconhecidas.

Isto demonstra, claramente, a necessidade da constituição do esforço de pesquisa em níveis adequados de investimentos, aproveitando os recursos humanos e tecnológicos existentes para, inclusive, conduzir a resultados vantajosos na descoberta de outros bens minerais associados ao urânio.

Os resultados positivos já obtidos revelaram ocorrências uraníferas que não se enquadram nos modelos geológicos e metalogenéticos ortodoxos, onde algumas das mais importantes descobertas estão associadas a outros bens minerais, igualmente valiosos, e recompensaram amplamente os investimentos realizados, colocando o Brasil entre os cinco países do mundo

oeste com maiores reservas de urânio.

Deve ser mencionado, ainda, que, em termos mundiais, as jazidas com minério de baixo teor vêm se tornando antieconômicas, razão pela qual todos os países produtores de urânio têm procurado jazidas de teor mais elevado. No caso do Brasil, também isto se aplica, havendo necessidade de prosseguir com a prospecção, em busca de novas jazidas com teores de urânio mais elevados. No contexto mundial de hoje, a viabilidade econômica para exploração de uma jazida de urânio está num teor acima de 0,3% de U308 e, no Brasil somente a jazida de Lagoa Real (BA) atende a esse requisito. No caso da jazida de Itataia (CE), o urânio ocorre associado a fosfato, o que torna a sua produção economicamente viável, embora com teores considerados baixos, comparativamente às jazidas convencionais atualmente em lavra.

b. Reservas brasileiras de urânio

Até o presente, tendo sido prospectados cerca de 30% do território nacional, as reservas geológicas de urânio totalizam 301.490t de U308. Essas reservas incluem todos os depósitos conhecidos e devidamente dimensionados, das quais 142.500t de U308 encontram-se na jazida de Itataia (CE) e 93.190t de U308 na jazida de Lagoa Real (BA), totalizando 78% das reservas conhecidas. Nesse contexto, pode se afirmar que o País dispõe de duas importantes jazidas de urânio, além de uma mina em ex-

platação (Mina Osamu Utsumi — CIPC), no Município de Poços de Caldas — MG.

Na avaliação da reserva de uma jazida, é indispensável considerar a sua reserva recuperável, isto é, a quantidade de urânio contido no minério, que poderá ser realmente aproveitado, levando em consideração as perdas inevitáveis que deverão existir no processo de lavra e beneficiamento do minério.

Para transformar as reservas geológicas em reservas economicamente aproveitáveis, são necessários estudos de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento das jazidas, estudos estes que demandam conhecimentos, dinheiro e tempo.

A classificação das reservas recuperáveis dentro de categorias de custo deve ser entendida como ordem de grandeza, em termos econômicos. Somente um estudo de viabilidade técnica e econômica permitirá um adequado enquadramento das reservas recuperáveis por categoria de custo.

Do lado da oferta, o Complexo Industrial de Poços de Caldas constitui-se na única fonte produtora de concentrado de urânio, prevendo-se a exaustão da Mina do Cercado por volta de 93/94, dependendo da cadência de produção a ser adotada. Por outro lado, o preço de produção do *yellow cake* adequado à época de implantação deste complexo é superior ao praticado atualmente no mercado mundial.

Produção de *yellow cake*

A atual produção de *yellow cake* no Brasil é realizada através da Urânia do Brasil S.A., no Complexo Minero Industrial de Poços de Caldas (CIPC), localizado no Município de Poços de Caldas — MG.

As instalações do complexo encontram-se em funcionamento desde 1982, com capacidade nominativa de produção de 500 t/ano de U308, processando minério de teor médio solúvel de 800 ppm. Suas instalações tiveram índice de nacionalização superior a 98%.

Desde sua inauguração até a data de hoje, foram produzidas 920t de U308 e tratadas 1.700.000t de minério. As reservas geológicas das jazidas do CIPC são de 20.000t de U308. Pela análise das hipóteses de aproveitamento da jazida do Cercado, com teor médio recuperável de 610 ppm, é possível produzir, no CIPC, 300 t/ano de *yellow cake*, a um custo médio de US\$ 40,50/ib, isto é, bem superior aos preços do mercado internacional.

Em consequência, no momento, realizam-se estudos no sentido de reduzir o custo de produção contemplando a possibilidade de beneficiar, numa fase inicial, o minério da Província Uranífera de Lagoa Real no CIPC, enquanto se implanta o sistema de beneficiamento junto à jazida da Bahia.

A Província Uranífera de Lagoa Real está situada no Município de Ca-

titê, no Centro-Sul do Estado da Bahia.

A avaliação dos recursos uraníferos desta província mostra, atualmente, reservas de 98.000t de U308 em diversas anomalias, dentre as 33 descobertas com o potencial total ainda em aberto.

Outra jazida de destaque é a de Itataia, localizada no Município de Santa Quitéria, a sudeste de Fortaleza, no Estado do Ceará.

O minério de urânio ocorre associado ao fosfato (P2O5), com reserva geológica de urânio de 142.500t, sendo que a reserva de fosfato é 120 vezes superior à de urânio. Sua exploração está em fase de estudos e requererá a produção dos fertilizantes fosfatados para sua economicidade.

Outra área com potencial uranífero é a de Gandarela, que se situa na Região Centro-Leste do quadrilátero ferífero, no Estado de Minas Gerais. Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos levaram a descoberta de uma reserva potencialmente considerável em ouro, associado ao urânio. As reservas geológicas estimadas são de 2.000t de U308 e da ordem de 15t de ouro.

A Urânia do Brasil S.A., a fim de viabilizar seus empreendimentos, busca associações com empresas privadas, já estando em adiantado estado de negociações as destinadas à exploração de Lagoa Real, de Itataia e de Gandarela.

Mercado internacional de urânio

Segue-se uma análise de dados com aceitável nível de credibilidade, pois foram fornecidos pela AIEA, organismo cuja isenção é aceita internacionalmente.

O preço atual de urânio no mercado mundial está baixo. Embora somente 30% da atual produção apresentem custo de produção abaixo de US\$ 25/lb U308, o que equivale ao atual preço em contratos a longo prazo, o preço no mercado *spot* é da ordem de US\$ 15/lb U308.

Há, no entanto, um *déficit* entre a produção e a demanda de urânio no mundo que pode ser assim quantificado:

1988.....	2.500 t U
1990.....	4.000 t U
1995.....	7.000 t U
2000.....	17.000 t U
2005.....	22.000 t U

Entretanto, tal *déficit* será coberto até 1997, pelos estoques já acumulados pelos usuários, o que em parte explica o atual nível dos preços.

A escassez de urânio inevitavelmente conduzirá à entrada em operação de novas minas, que deverão ser de baixo custo de produção, pois prevê-se que, até o ano 2000, pelo menos, 80% da produção estarão dentro do limite de US\$/lb U308.

A previsão do comportamento da demanda de urânio permite estimar-

-se a seguinte projeção pelo seu preço no mercado *spot*:

1989.....	US\$ 15/lb U308
1990.....	US\$ 18/lb U308
1991.....	US\$ 25/lb U308
1992.....	US\$ 30/lb U308
1993.....	US\$ 30/lb U308
1994.....	US\$ 30/lb U308
1995.....	US\$ 31/lb U308
1996.....	US\$ 35/lb U308
1997.....	US\$ 35/lb U308
1998.....	US\$ 35/lb U308
1999.....	US\$ 35/lb U308
2000.....	US\$ 35/lb U308

indicando que, em poucos anos, o preço do urânio estará duplicado.

A análise desses dados, à luz das características de nossas jazidas uraníferas, permite concluir que a demanda e os preços de urânio, no futuro, tornarão viável sua exploração, com vistas à ocupação de significativa parcela do mercado internacional.

Conversão

A conversão consiste na sucessão de operações que purificam o concentrado de urânio *yellow cake* e o vão transformando em óxidos, tetrafluoreto e finalmente hexafluoreto de urânio. Este último composto, com ponto de sublimação de 56,6 graus celsius, permite sua utilização na fase gasosa, nos processos de enriquecimento isotópico de aplicação industrial comprovada.

O contrato Nuclebrás — UPK (grupo francês), em 1979, previa a elaboração do projeto e a implantação de uma usina de conversão de 616 t UF6/ano, com possibilidade de ampliação para 2465 t UF6/ano. Até 1986, já tinham sido pagos ao grupo francês US\$ 13 milhões, pelo projeto básico, e cerca de 30% pelo projeto detalhado. O contrato foi interrompido em 1986.

Os resultados das pesquisas que vinham sendo realizadas no IPEN permitiram a decisão, em 12 de março de 1979, do então Presidente da República, Ernesto Geisel, de iniciar o programa autônomo. Essa decisão permitiu consolidar a capacidade já adquirida e transformá-la em usinas-piloto, no IPEN, permitindo a produção de até 24 t de UF6/ano. Até o presente essas usinas-piloto já produziram um total de 26,7 t de UF6.

A produção de UF6, genuinamente nacional, permite o desenvolvimento das pesquisas de enriquecimento de urânio, que culminaram com o completo domínio da tecnologia da ultracentrifugação. Cabe ressaltar que, para esse domínio, foi essencial desenvolver a tecnologia do flúor, imprescindível ao setor elétrico e às indústrias química e farmacêutica.

Enriquecimento de urânio

Impossibilitado de adquirir urânio enriquecido para Angra I, nos EUA, e tendo que suprir de combustível An-

gra II e Angra III, a Nuclebrás contratou os serviços de enriquecimento da Urenco. A efetivação das negociações tornou-se possível, após a aceitação brasileira de cláusulas adicionais às salvaguardas normais, restritivas ao uso do plutônio. Esse contrato foi recentemente renegociado, para adaptação às novas condições do Programa e do mercado internacional, com sensível redução dos custos. Os processos de enriquecimento de urânio em desenvolvimento no Brasil são:

- Processo do jato centrífugo

Brasil e RFA não tiveram outra alternativa, no acordo, senão a de optarem pelo processo de jato centrífugo, ainda em fase experimental, devido a pressões internacionais. Na presente situação, temos concluídos 98% das atividades de implantação da primeira cascata, com 24 estágios, que permitirá a comprovação do processo através da elevação do teor do isótopo de 0,711% (natural) para 0,8%, e da medição do consumo de energia por unidade de trabalho separativo, estimado em 4.000 KWh/UTS.

O total investido, até dezembro de 1988, alcança 840 milhões de marcos alemães, restando, ainda, investir 60 milhões de marcos para a complementação da usina-demonstração, seu comissionamento e testes operacionais.

- Processo de ultracentrifugação

É gerenciado pela Copesp, do Mi-

nistério da Marinha, com a ativa participação de engenheiros e pesquisadores do IPEN. Foi desenvolvido inteiramente no País, tendo a primeira ultracentrífuga operado em 1982. Em outubro de 1984, entrou em operação contínua a primeira minicascata. O sucesso das experiências permitiu a construção de uma cascata experimental de maior porte, inaugurada em 1988, no Centro Experimental de Aramar, pelo Presidente da República do Brasil, acompanhado do Presidente da República da Argentina.

A seqüência de sucessos obtidos no processo de ultracentrifugação permitiu que fosse aprovada a construção de uma usina de demonstração em Iperó (SP), cuja primeira etapa será concluída no início de 1990. Pode-se, assim, afirmar que o Brasil está em condições de enriquecer o urânio necessário para a operação de seus reatores de pesquisa e das suas usinas nucleoelétricas. É uma das tecnologias essenciais à continuidade do Programa Nuclear Brasileiro, liberando-o de condicionantes externas.

• Processo químico

Uma vez que, do enriquecimento do urânio natural pelos processos conhecidos atualmente, resta um rejeito que contém ainda cerca de 35% do isótopo 235, procura-se desenvolver processos complementares para aproveitamento desse material.

No IEN, são realizadas experiências de enriquecimento químico de

urânio. Essas experiências, ainda com resultados preliminares, requerem o desenvolvimento de resinas especiais no Instituto de Macromoléculas da UFRJ.

• Processo Laser

Sem dúvida, é aquele que, no futuro, acarretará menor consumo de energia, sendo considerado o mais promissor dos processos ainda em desenvolvimento no mundo. Integra as atividades a cargo do Instituto de Estudos Avançados do Centro Tecnológico da Aeronáutica. Os resultados iniciais obtidos indicam sua plena viabilidade a longo prazo.

Produção de elementos combustíveis

a. Para as usinas nucleoelétricas de grande porte

A INB dispõe de uma Fábrica de Elementos Combustíveis — FEC, em Resende (RJ), onde já está implantada, e em condições de operação, apenas a etapa de montagem, através de acordos comerciais INB — KWU. Até a presente data, já foram investidos na FEC US\$ 35 milhões, dos quais US\$ 33 milhões relativos à etapa já implantada. Para conclusão da FEC, prevê-se um dispêndio adicional de US\$ 36 milhões, sendo US\$ 8 milhões para a segunda etapa que fabricará pastilhas de UO₂; os US\$ 24 milhões restantes para a ter-

ceira etapa, a de reconversão UF6/UF₂. A capacidade instalada da primeira etapa é de 150 elementos combustíveis por ano (E.C./ano), equivalentes a 100t UO₂/ano. Porém, devido a problemas de mão-de-obra, a atual capacidade é de 60 E.C./ano.

O projeto da segunda etapa prevê capacidade inicial de 80t UO₂/ano, correspondente às necessidades anuais de Angra I, II e III, sendo que a produção poderá ser duplicada, quando conveniente, com a instalação de outra prensa de pastilhas. Enquanto a segunda e a terceira etapas da FEC não estiverem implantadas, as pastilhas de urânio estarão sendo fornecidas pela RFA, dentro do contrato comercial INB — KWU. A FEC participou do projeto e montou os combustíveis para recarga de Angra I. Esses combustíveis estão em plena utilização.

b. Para as usinas nucleoelétricas de pequeno porte

O IPEN, em associação com a Copesp, tem capacitação técnica para a fabricação de elementos combustíveis para as usinas nucleoelétricas de pequeno porte, tipo PWR, com combustível enriquecido sob a forma de pastilhas de UO₂ sintetizado, e revestimento em tubos e tampões de aço inoxidável. Esse domínio de tecnologia, que engloba, também, a reconversão (entendendo-se por isso a transformação sucessiva de UF₆ em tricarbonato de uranila — TCAU e UO₂), foi obtido sem qualquer participação estrangeira.

A produção dos elementos combustíveis para o reator da unidade crítica, inaugurada em 1988, vem comprovar tal assertiva. Em 1987, foram fabricadas 43.000 pastilhas de UO₂ sintetizado e 13.000 pastilhas de AL203, tudo atendendo às especificações da engenharia do núcleo, tendo sido, também, aprovados os tubos e tampões fabricados pela indústria nacional.

c. Para os reatores de pesquisa

O IPEN tem dominado a tecnologia de fabricação de elementos combustíveis para os reatores de pesquisa que usam urânio com enriquecimento médio.

O combustível do reator IEA-RI do IPEN é do tipo MTR, de procedência norte-americana, e utiliza urânio enriquecido a 20% em U-235. As placas de U308/AI empregam alumínio especial, já desenvolvido e fornecido pela indústria nacional. Atualmente, dois elementos combustíveis, fabricados em 1988, estão em operação no núcleo. A fabricação ainda tem um certo caráter artesanal e está a exigir melhoria das instalações. Uma produção de até 12 elementos combustíveis/ano pode ser alcançada.

Em conjunto com o CDTN de Belo Horizonte (MG), o IPEN está pesquisando a obtenção de elementos combustíveis com alta densidade de urânio, tipo ligas U3S12, o que permitirá a utilização de urânio com menor enriquecimento em U-235.

Reprocessamento

As atividades de reprocessamento dos elementos combustíveis para separação e recuperação do urânio e plutônio, dentro do acordo Brasil-RFA, foram interrompidas em 1986. O projeto de engenharia, feito através de contrato com o consórcio alemão UHDE-INTERUHDE, tinha concluído seu projeto básico e iniciado o projeto detalhado. A estimativa total de custo do projeto era de US\$ 340 milhões, dos quais já tinham sido investidos US\$ 60 milhões.

Dentro do programa autônomo, o IPEN iniciou suas atividades no reprocessamento com a instalação, concluída em 1984, de uma unidade de laboratório para o tratamento de 1kg de metais pesados por batelada. A unidade denominada "Celeste" operou satisfatoriamente e, sobretudo, treinou pessoal nessa difícil etapa do ciclo do combustível. Os resultados obtidos permitiram a integração dos profissionais dos diferentes institutos da CNEN, a fim de avaliar e propor os passos a serem dados em nível nacional. Objetiva-se, assim, completar em escala de demonstração o ciclo do combustível.

Rejeitos radioativos

As atividades relacionadas com a gerência de rejeitos radioativos começaram a desempenhar importante papel no programa nuclear: nos licenciamentos das centrais nucleares

Angra I e II; nas construções ou operações de outras instalações do ciclo do combustível; no constante crescimento das aplicações da energia nuclear nos campos da medicina, agricultura, indústria, etc.

Os institutos de pesquisas da CNEN vêm realizando estudos e experimentos, desde o tratamento até a estocagem inicial de todos os rejeitos radioativos gerados em suas instalações, bem como dando assistência técnica aos usuários de radioisótopos. Com vistas ao armazenamento final dos rejeitos, a CNEN, em convênio com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC), desenvolveu o primeiro projeto conceitual de um depósito definitivo, planejado para ser construído com tecnologia nacional, na subsuperfície do solo. Para demonstrar a sua viabilidade técnica, alguns experimentos foram realizados pela PUC. Outras investigações sobre durabilidade dos componentes do repositório estão em fase de estudo nos institutos de pesquisas. Com relação aos locais mais favoráveis dentro do território nacional para confinar os rejeitos radioativos, a CNEN vem realizando estudos, desde 1980. Através de processos seletivos, identificou inicialmente cerca de 20 regiões de interesse, incluindo as ilhas oceânicas. A prática de lançamento de rejeitos no fundo do mar não está em nossa estratégia de estocagem, por encontrar-se sob moratória internacional.

O anteprojeto de lei a ser enviado

ao Congresso Nacional, para aprovação, estabelece a criação de depósito provisórios de rejeitos e a escolha de sítios em território nacional para o repositório definitivo. Os rejeitos gerados no acidente radiológico de Goiânia estão sob o controle sistemático da CNEN, que efetua a monitoração de pessoal, o controle ambiental e a manutenção dos recipientes. Quanto à forma de depósito final do material de Abadia — GO, foram realizadas as primeiras negociações entre a CNEN, Governo do Estado de Goiás e grupos de empresas italianas e brasileiras. Da operação do beneficiamento do urânio, em Poços de Caldas (MG), os materiais descartados são remetidos a uma barragem com características específicas e construídas com tecnologia nacional. Outros rejeitos, como os provenientes do tratamento da areia monazítica, que contêm os mesmos elementos químicos do beneficiamento do urânio, são armazenados em definitivo no mesmo sistema de contenção de rejeitos.

Outros materiais

Além do domínio do ciclo do combustível nuclear e da construção de reatores de pesquisa, a independência total no setor necessita do desenvolvimento de outros materiais não nucleares, sobre os quais existem, no mercado internacional, sérias restrições para obtenção. Alguns exemplos:

Zircalloy

Trata-se de uma liga metálica da maior importância na área nuclear, sobretudo usada na confecção dos tubos, tampões e grades estruturais dos elementos combustíveis. O principal elemento constituinte da liga é o zircônio, metal que se destaca pela alta resistência à corrosão e baixíssima absorção neutrônica.

O IPEN vem desenvolvendo uma série de unidades-piloto, para tratar o minério e produzir a esponja de zircônio.

A partir desse ponto, a indústria metalúrgica nacional já estará em condições de obter as peças de zircalloy, dentro das rígidas especificações da área nuclear.

Uma das etapas do tratamento dos minerais de zircônio é a separação do hafnio, elemento com propriedades químicas bastante semelhantes, mas de oposta característica de absorção neutrônica, o que o torna, também, elemento de interesse nuclear. Essa etapa da separação zircônio-hafnio, para obtenção das respectivas esponjas, já está totalmente dominada.

Ressalte-se que as reservas nacionais de zirconita tiveram aumento de 450%, depois das últimas descobertas em Pitinga, na Amazônia.

Detentor dos direitos minerários das reservas de Pitinga, o Grupo Paranapanema, em acordo com a CNEN, estabeleceu um programa de produção e exportação de até 170.000t de zirconita até 1991. Con-

comitantemente, o Grupo se compromete a investir 9% do valor da exportação na implantação de um complexo industrial que, em três etapas, alcançará, em 1993, a produção de 450t de ZrO₂. Tal complexo, utilizando tecnologia desenvolvida pela CNEN, produzirá U, Th e TR separados durante o processamento da zirconita.

Lítio

Os trabalhos experimentais para obtenção do lítio metálico vêm sendo desenvolvidos com sucesso no IEN, através da eletrólise de uma mistura de sítio (KCl + LiCl) fundidos. A pequena produção de 250 g/mês deverá ser bastante ampliada com a entrada em funcionamento da nova célula eletrolítica para operação contínua, com capacidade 50 vezes maior que da célula atualmente em operação.

Está em adiantado estágio de implantação, em Minas Gerais, pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL), a industrialização de espodumênio, mineral de lítio, do qual o Brasil possui grandes reservas nos estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia.

Está previsto o início da operação da usina da CBL para o final de 1989, com capacidade de produção de 2.000t de carbonato de lítio (Li₂CO₃).

Fósforo

A CNEN se interessou pela obtenção de fósforo como ponto de partida de uma linha de produtos que

permitissem a fabricação de solventes orgânicos fosforados, de larga aplicação na extração líquido-líquido de metais pesados, processo muito usado na purificação de urânio, tório, plutônio e terras raras.

Foi assinado um convênio com a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC, em Belo Horizonte, para reativação da unidade piloto de produção de 5 t/mês de fósforo elementar, com sua transformação parcial em ácido fosfórico, grau alimentar.

A usina piloto já está em operação e busca, agora, suas condições ótimas de funcionamento, para permitir o projeto da usina industrial.

A produção de fósforo elementar e, sobretudo, a produção do ácido fosfórico em grau alimentar têm despertado a atenção dos industriais nacionais, interessados em participar dessas atividades.

Solventes orgânicos fosforados

A grande importância que os solventes orgânicos fosforados apresentam nos processos de extração líquido-líquido para a purificação de urânio, tório, plutônio e uma série de outros metais pesados de importância industrial, fez com que a CNEN procurasse o domínio tecnológico de sua produção. Até o momento, o País ainda depende da importação desses produtos. Prevê-se, para este ano, o início da operação da unidade piloto no IEN, com a produção de 1 t/ano de fosfato de

tributila (TBP). A pesquisa para a produção de outros solventes, como DEHPHA e TOPO, já está em andamento.

Berílio

Por tratar-se de um elemento de interesse especial da área nuclear, a CNEN, através de convênio, tem dado apoio integral às atividades da Fundação Percival Farquar, em Governador Valadares, o que permitiu a implantação de uma usina piloto, com capacidade de produção de 500 kg/mês de carbonato de berílio de alta pureza. Dado o sucesso do empreendimento, foi ampliada a capacidade da usina para produção de 1000 kg/mês em óxido de berílio (BeO), de alta pureza, com início previsto para o final deste mês, aumentando a exportação de produtos de berílio com elevado valor agregado em detrimento das exportações do minério bruto.

Paralelamente, a IEN desenvolve pesquisas para implantar usina-piloto capaz de purificar o óxido de berílio e, finalmente, obter o berílio metálico. Ressalta-se a utilização do berílio na liga cobre-berílio, da maior importância na indústria eletro-eletrônica, e cuja importação vem mostrando tendência crescente.

Diversas empresas nacionais já demonstraram interesse na participação da produção industrial de compostos de berílio e da liga cobre-berílio.

Grafita

A produção industrial de grafita tem se constituído num desejo dos empresários nacionais. A produção de eletrodos de grafita, ainda que em tipos limitados, restringe-se a um único fabricante multinacional.

A CNEN, interessada no uso da grafita, não só como moderador nuclear, mas como eletrodos para as células eletrolíticas de produção de flúor, apoiou a iniciativa da TEC-MAT para a produção de grafita, a partir de tecnologia desenvolvida no País.

Água pesada e deutério

A tecnologia de produção desses dois materiais de importância fundamental na área nuclear vem sendo estudada, desenvolvida e acompanhada, há mais de 25 anos, pela CNEN. A água pesada é excelente moderador de nêutrons, permitindo a construção de reatores nucleares de potência que utilizam urânio natural. O deutério (D) é o combustível ideal para a fusão nuclear. Existe em pequena percentagem em qualquer substância que contenha hidrogênio. A CNEN vem realizando a determinação do teor de deutério em águas de todo o País. De um modo geral, em cada milhão de partes de H existem cerca de 150 de D.

O grupo de Pesquisa e Desenvolvimento da Água Pesada, criado em 10 de janeiro de 1964, realizou pes-

quisas e elaborou projetos para desenvolver, não só os processos usados industrialmente em outros países, como também os mais recentes e promissores. Foram projetados e construídos, no Brasil, equipamentos de destilação e eletrólise e completado o projeto básico de uma usina piloto de 2/3 t/a. O grupo encerrou suas atividades em 1977, tendo sido preservado apenas seu acervo bibliográfico. De 1978 até 1987, remanescentes do grupo realizaram pesquisas bibliográficas, tendo sido examinados mais de 30.000 títulos.

O avanço das pesquisas em fusão nuclear e a potencialidade de reatores moderados a água pesada indicaram a necessidade de se retomarem as pesquisas. Optou-se por um dos mais recentes projetos, surgidos nos últimos dez anos, aproveitando-se, porém, a experiência colhida nas pesquisas anteriores. Cresce, agora, o interesse despertado pelas notícias da possibilidade de uma fusão a temperatura ambiente. Essas experiências já foram repetidas em algumas instituições nacionais com o apoio da CNEN, embora os resultados ainda não sejam conclusivos.

Materiais e processos foram testados em laboratórios na produção de água pesada. Os resultados permitiram a elaboração do projeto básico de uma usina de quatro estágios, capaz de produzir cerca de 1 t/a de água pesada em grau de pureza nuclear por ano. O estágio inicial de eletrólise, com 32 células de grande porte, já está em funcionamento há oito me-

ses; as duas células eletrolíticas do segundo estágio já estão construídas e as do terceiro e quarto estágios estão com os protótipos concluídos. Os demais equipamentos estão sendo projetados e construídos. Já foram obtidas amostras do primeiro estágio com um enriquecimento de cerca de três vezes e meia o da água natural.

Detectores e instrumentação nuclear

Em 1984, a CNEN iniciou um amplo programa coordenado, visando à nacionalização de detectores e instrumentação nucleares. As razões que levaram a este programa foram:

- dificuldades cada vez maiores e mais abrangentes impostas pelos países industrializados, no que diz respeito à exportação de equipamentos para países em vias de desenvolvimento, não signatários do TNP;
- dificuldade na manutenção de equipamentos adquiridos no exterior, inclusive por falta de componente, o que afeta em grande parte a área de saúde;
- existência de mercado interno, que justifica a fabricação nacional e economiza divisas;
- identificação da existência de mercado externo.

O programa criado é desenvolvido pelos quatro institutos da CNEN (IRD, IEN, IPEN e CDTN), por Universidades, Centros de Pesquisa e Indústrias. A tecnologia desenvolvida, sempre que possível, é repassada para

a indústria. São desenvolvidos e fabricados detectores e instrumentos nas áreas de proteção radiológica, saúde (radioterapia, radiodiagnóstico e medicina nuclear) e reatores. Além disso, estão sendo feitos esforços para implantar um sistema de garantia de qualidade, bem como pesquisa básica sobre detectores de uso futuro.

Inúmeros detectores já foram nacionalizados. O dos cristais de iodeto de sódio dopado com tálio, desenvolvido na Universidade de São Carlos, permitiu a criação de uma empresa privada, na qual os pesquisadores são diretamente interessados.

Radioisótopos no Brasil

Com uma história de mais de 40 anos de desenvolvimento, o uso do átomo para benefícios da humanidade pode ser considerado como uma tecnologia madura. No Brasil, esses benefícios são sentidos e se propagam desde a década de 50, quando foi instalado o primeiro reator de pesquisa, o IEA-RI, no IPEN-CNEN/SP.

No presente estágio científico-tecnológico do País, as aplicações dos radioisótopos e das radiações são sentidas cada vez mais no cotidiano, seja no diagnóstico e terapia médica, muito difundidos, seja em outros campos, estendendo-se para as áreas da engenharia de processos produti-

vos, controle da qualidade de materiais, processos induzidos por radiação, esterilização de material médico-hospitalar, estudos hidrológicos de superfície e subsolo. Também são aplicadas na agricultura, para aumentar e melhorar a produtividade (processos de fertilização de solos, controle e eliminação de insetos nocivos, mutação de plantas, etc.) preservação de alimentos, estudos de contaminação e pesquisa.

As aplicações dos radioisótopos e das radiações são marcantes na área médica, que chega a utilizar 70% dos radioisótopos processados no País. A indústria utiliza cerca de 15% do total e, a pesquisa, 12%; os 3% restantes estão distribuídos entre as demais aplicações. Algumas das aplicações citadas adquiriram natureza rotineira, tanto na indústria como na medicina, sobre bases puramente econômicas e comerciais. Tal é o caso dos produtos irradiados como a polimerização de plásticos e a esterilização de produtos médico-hospitalares, emprego de fontes seladas de irídio-192 e cobalto-60 para automação de sistemas e gamagrafia industrial. As aplicações da tecnologia das radiações e dos radioisótopos são dependentes da produção e do suprimento de radioisótopos. O Brasil não é ainda auto-suficiente. A maioria dos produtos são importados e comercializados após processamento e preparação.

Ao final de 1988, tínhamos o seguinte quadro de distribuição:

PRODUTO	ATIVIDADES
	Ci

Radioisótopos primários de reator	186
Geradores de tecnécio	2611
Substâncias marcadas	4
Radioisótopos primários de ciclotron	1,5

RADIOISÓTOPOS PRIMÁRIOS	ATIVIDADE
	Ci

Iodo — 131	176894
Iodo — 123	596
Fósforo — 32	3148
Cromo — 51	1900
Ouro — 198	618
Gálio — 67	966
Enxofre — 35	841
Sódio — 24	48
Potássio — 42	2
Cálcio — 45	6

SUSTÂNCIAS MARCADAS	ATIVIDADE
	mCi

1311 — Hipuran	2309
1311 — Microagregado SAH	595
131 — Soro albumina humana	467
51Cr — EDTA	338
1311 — Macroagregado de soro albumina humana	217
1311 — Bromossilfaleína	90
1311 — Rosa-bengala	14

GERADORES DE TECNÉCIO - 99m	ATIVIDADE
	mCi

508	250
1320	500
613	750
615	1000
588	1250

PRODUTO ENRIQUECIDO

Sulfato de amônio	
Enriquecimento N15	500 gramas

FONTES SELADAS QUANTIDADE

Irídio — 192	110 diversas
Cobalto — 60	16 diversas

Outras aplicações de radioisótopos e das radiações surgem a cada dia. Cabe destacar:

- Irradiação de cabos elétricos — 4.130 km;
- Irradiação de produtos médicos — 9.073 peças;
- Uso da radiação ionizante para tratamento de águas servidas;
- Técnicas de imobilização de componentes bioativos tais como enzimas, células microbiais, tecido celular e drogas anticâncer;
- Preservação de alimentos;
- Irradiação da ração para animais;
- Irradiação de gases de combustão;
- Conversão de biomassa;
- Vulcanização de borracha;
- Polimerização de biocompatíveis.

CONCLUSÃO

Ao longo da história, as civilizações têm passado por processos cílicos semelhantes, de gênese,

crescimento, colapso e desintegração.

Nesse processo cíclico, as respostas criativas e bem sucedidas levam as sociedades a patamares sucessivos de equilíbrio, até o surgimento de novos desafios. A habilidade para buscar soluções eficazes é fundamental no processo evolutivo, e constitui o meio de evitar o colapso e a desintegração social.

Vêem-se, de um lado, os países industrializados, com 1/4 da população mundial concentrando a riqueza e consumindo 3/4 da energia produzida, com desprezível crescimento demográfico, absoluto controle do mercado mundial e contínuo desenvolvimento tecnológico.

De outro lado, vêm-se países em desenvolvimento, impossibilitados de atender a suas necessidades básicas, com elevada taxa de crescimento demográfico, crescente dívida externa e carentes de tecnologias adequadas às suas condições.

Os países industrializados, que praticam e projetam elevado nível de vida, defrontam-se com um desafio: como garantir às suas gerações futuras esse mesmo nível?

Os países em desenvolvimento, que praticam baixo nível de vida, deparam-se com o desafio de substituir o crescente empobrecimento pela emergência do enriquecimento social.

Como evitar o colapso, garantindo o bem-estar futuro?

Os países industrializados optaram por: formação de blocos; política energética conservacionista; preocupação com novo conceito de auto-

-sustentabilidade; desvalorização das matérias-primas e dos produtos semi-acabados; e valorização de produtos com maior agregado tecnológico.

Apesar da conscientização da necessidade de atitudes conjuntas para soluções interdependentes, as preocupações dos industrializados privilegiaram aos já privilegiados. Suas preocupações globais, meramente éticas, são refletidas em ações coibidoras ou em ações filantrópicas sem cunho prático.

Portanto, cabe a nós encontrar nossas próprias respostas.

Acrescente-se que no campo interno o Brasil vive:

• um período de ajuste institucional, a partir de sua nova constituição;

• a necessidade urgente de mecanismos de correção dos desníveis sociais, apesar da carência de recursos e na presença de um significativo crescimento demográfico;

• elevada dívida externa, obrigando a crescentes exportações;

• fragilidade de seu bloco natural da ALADE;

• dificuldade crescente de acesso às tecnologias de ponta.

A resposta imediata passa, necessariamente, pela revitalização do espírito de brasiliade e conjunção total de esforços. Passa pela prevalência dos interesses coletivos sobre os individuais, pelo restabelecimento da crença no seu homem e no poder público, pela redução das diferenças sociais, pelo ânimo do progresso técnico-científico e cultural, pelo respeito às artes e ofícios, pela obsti-

nação da honestidade, pela perseguição da eficiência, pela força do trabalho, pela redução da dependência externa e pela retomada do crescimento.

É com esse espírito e nesse quadro que devemos encontrar nosso caminho nuclear no horizonte próximo.

A luta e o exemplo de Álvaro Alberto são nossas chamas vivas. Saberemos cumprir nosso dever.

REX NAZARÉ ALVES foi, até recentemente e durante vários anos, Presidente da Comissão Nacional de Energia Nuclear — CNEN.