

ÁTOMOS PARA O DESENVOLVIMENTO:
Simpósio Comemorativo ao Centenário de Nascimento de
Francisco de Assis Magalhães Gomes
ANAIS



21 e 22 de agosto de 2006
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

Comissão Nacional de Energia Nuclear
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
Belo Horizonte, MG, Brasil
2007



Ministério da
Ciência e Tecnologia



**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR**

**ÁTOMOS PARA O DESENVOLVIMENTO:
Simpósio Comemorativo ao Centenário de Nascimento de
Francisco de Assis Magalhães Gomes**

ANAIS

21 e 22 de agosto de 2006, Belo Horizonte, Minas Gerais

Belo Horizonte
2007

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte

A publicação pode ser obtida no seguinte endereço:

CNEN
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
GA3/Unidade de Informação e Biblioteca
Caixa Postal 941
30161-970 Belo Horizonte - MG
Brasil

<http://www.cdtm.br>

Simpósio comemorativo ao centenário de nascimento de Francisco de Assis Magalhães Gomes, Belo Horizonte, 2006.

Átomos para o desenvolvimento. Anais. – Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 2007.

425p.

1 Energia Nuclear – Minas Gerais. 2 Centrais nucleares. 3 Energia nuclear – aspectos históricos.

ISBN 978-85-61905-00-2

Comitê de Honra

Prof. José Israel Vargas
Prof. Ramayana Gazzinelli
Prof. Omar Campos Ferreira
Dr. Witold Lepecki
Prof. Juarez Távora Veado (in memoriam)
Dr. Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

Comitê Executivo

Prof. Fausto Maretti Júnior
Dr. Fernando Soares Lameiras
Mestre Lenira Santos Passos Ferreira
Dr. Wellington Antônio Soares

Convidados de Honra

Membros da Família Magalhães Gomes

SUMÁRIO

PREFÁCIO, 7

Francisco de Assis Magalhães Gomes: nota biográfica, **8**
Lenira Santos Passos Ferreira

Magalhães Gomes por ele mesmo, **11**

SESSÃO 1

Conferência: O Desenvolvimento da Energia Nuclear: Minas e Brasil: Antes que me Esqueça , **18**
José Israel Vargas

Conferência: Magalhães Gomes como Homem de Ciência e Humanista, **91**
Ramayana Gazzinelli

SESSÃO 2

Conferência: O Programa Brasileiro de Centrais Nucleares, **104**
Witold Lepecki

Conferência baseada no trabalho de Carlos Syllus Martins Pinto e Witold Lepecki: O Programa Brasileiro de Centrais Nucleares

Conferência: Cooperação Nuclear Brasil Alemanha em Pesquisa e Desenvolvimento , **156**
Ricardo Brant Pinheiro

SESSÃO 3

Conferência: Visão Prospectiva da Tecnologia Nuclear, **341**
Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

Conferência: Tecnologias Portadoras de Futuro, **374**
Evando Mirra de Paula e Silva

ENCERRAMENTO

Discurso : *Maria Inês Magalhães Gomes* , **402**

APÊNDICE – FOTOGRAFIAS DO SIMPÓSIO COMEMORATIVO AO CENTENÁRIO DE NASCIMENTO DE MAGALHÃES GOMES, 408

PREFÁCIO

Em 2006, celebramos o centenário de nascimento de Francisco de Assis Magalhães Gomes. As idéias pioneiras e grandes qualidades humanas dessa pessoa amada e admirada inspiram os pesquisadores de hoje como inspiraram aqueles de sua própria geração.

Como parte das comemorações marcando o centenário de seu nascimento o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, da Comissão Nacional de Energia Nuclear, realizou um simpósio em Belo Horizonte, de 22 a 23 de setembro de 2006. O programa de conferências convidadas foi idealizado para mostrar a natureza universal da ciência e tecnologia nuclear um assunto muito caro ao coração do professor Magalhães Gomes e rever desenvolvimentos que tiveram origem em seu trabalho. Ilustres pesquisadores estiveram presentes para homenageá-lo e discutir suas realizações e influência.

O Comitê Executivo agradece a todos que participando do simpósio, contribuíram para o sucesso do evento, especialmente, os conferencistas professores José Israel Vargas, Ramayana Gazzinelli, Evando Mirra, Ricardo Brant Pinheiro e Dr. Witold Lepecki. Os agradecimentos são também extensivos aos presidentes das sessões Professores Márcio Quintão Moreno, Omar Campos Ferreira e Dr. Silvestre Paiano Sobrinho. O Comitê deixa aqui registrada a sua profunda gratidão ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, na pessoa de seu Diretor Dr. Sérgio Almeida Cunha Filgueiras, pelo encorajamento e apoio financeiro recebidos.

A publicação apresenta também uma nota biográfica, trechos de alguns discursos e correspondências de Francisco de Assis Magalhães Gomes, uma maneira particular encontrada para homenagear esse filho ilustre de Minas Gerais.

Francisco de Assis Magalhães Gomes: nota biográfica



Francisco de Assis Magalhães Gomes teve uma carreira repleta de realizações na área científica e universitária. Gostava também dos estudos de ordem humanística, tendo se dedicado ao estudo das línguas, literatura e filosofia.

Nasceu em 16 de janeiro de 1906, em Ouro Preto. Veio muito cedo para Belo Horizonte onde fez o curso primário no Grupo Escolar Barão do Rio Branco e o secundário no Ginásio Mineiro, hoje Colégio Estadual. Seu pai era médico, mas um médico dos pobres, professor catedrático, um homem muito instruído e com ele Francisco descobriu o interesse pela física. Suas atividades lhe permitiam tempo para cultivar um herbário com nove mil diferentes espécies de plantas de Ouro Preto. Sua mãe era uma mulher competente que cuidava da educação da família.

Magalhães Gomes decidiu voltar à sua terra natal para estudar na Escola de Minas, estabelecimento de grande prestígio, onde fez ótimos estudos de engenharia. Lá morava a sua numerosa família, em uma casa grande, não onerando o seu pai. Foram sete anos de estudos sendo um ano de pré-vestibular e depois mais seis de engenharia, propriamente. Formou-se como engenheiro de minas e civil em 1928.

Em 1935, casou-se com Maria Clara Birchal. Os Magalhães Gomes tiveram um longo e feliz casamento e treze filhos: Francisco de Paula, Maria Aparecida, Clara, Maria da

Conceição, Frederico, Maria Amália, Luiz Marcos, Joana D'Arc, Maria Cecília, Maria Inês, Leonardo José, Maria Letícia e Alberto

Desde cedo fez carreira acadêmica, sempre atuando na cátedra de Física, inicialmente, como professor contratado. Em 1938, Magalhães Gomes teve a oportunidade de fazer dois concursos para catedrático de física, um pela Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais e outro pela Escola de Minas de Ouro Preto, sendo aprovado em ambos.

Teve um papel importante no processo de federalização da Universidade de Minas Gerais, ocorrida em 1949. Naquele ano renunciou ao cargo de professor catedrático da Escola de Minas de Ouro Preto e passou a exercer os cargos de professor de Física da Escola de Engenharia e da Faculdade de Filosofia da UMG.

Foi um dos criadores do Instituto de Pesquisas Radioativas, atual Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, uma instituição pioneira no Brasil em pesquisas nucleares. Tornou-se o primeiro diretor do Instituto cargo que exerceu no período de 1952 a 1960. Dedicou-se à organização da Instituição e em sua administração instalou o reator de pesquisa TRIGA MARK I possibilitando a formação de várias gerações de pesquisadores na área nuclear.

Tomou parte ativa na criação do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e na formação de várias gerações de físicos teóricos e experimentais. Sua percepção de História contribuiu para que escrevesse trabalhos significativos sobre a eletrificação e a siderurgia no Brasil.

Articulou a criação do Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares no Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais e Comissão Nacional de Energia Nuclear, em abril de 1968.

Foi membro da Comissão Nacional de Energia Nuclear, do Conselho Nacional de Pesquisas, membro titular da Academia Brasileira de Ciências, professor emérito da UFMG.

O professor Magalhães tinha uma sólida formação humanística e foi um dos integrantes da Academia de Ciências do Vaticano, constituída pelo Papa João Paulo II para rever o caso Galileu.

O legado científico que deixou na vida intelectual mineira sobre o estudo da física e da energia nuclear é permanente. Compartilhou com todos os alunos e colegas o seu inesgotável amor à ciência.

Magalhães Gomes faleceu no dia 17 de julho de 1990, em Belo Horizonte.

Referências

GOMES, Francisco de Assis Magalhães. O futuro está na energia atômica: entrevista. **Revista Mineira de Engenharia**, ano 3, n. 3, p. 19-21, maio 1988.

GOMES, Francisco de Assis Magalhães. O inimigo número um da bomba: Francisco de Assis Magalhães Gomes - perfil. Entrevistadores: Ramayana Gazzinelli, Márcio Quintão Moreno, Marise Muniz. **Ciência Hoje**, v. 9, n. 52, p. 64-70, abr. 1989.

Lenira Santos Passos Ferreira

GA3/Unidade de Informação e Biblioteca, CNEN/Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear,
Belo Horizonte, MG

MAGALHÃES GOMES POR ELE MESMO

Falando sobre a importância da Física no ensino da Engenharia

“ Falar em Física e Engenharia é como falar em Sentimento e Poesia, ou em língua e literatura.

Os dois temas são tão ligados, é tão íntima a relação entre a Física como ciência das leis do mundo inorgânico e a engenharia como arte de dominar as forças da natureza inorgânica para utilidade do homem, que é difícil versar o tema sem cair, por vezes, na banalidade.

Toda aplicação tem base científica. Podemos afirmar que propriamente não há ciência aplicada, mas existem, sim, aplicações da ciência.”

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho da conferência Importância da Física no ensino da Engenharia. (1953?).)

Energia nuclear: oportunidades e promessa de futuro

“Descobriu-se uma nova fonte de energia, muito mais abundante em matérias primas que a energia térmica ordinária. A energia hidroelétrica é limitada. Em muitos países, suas possibilidades já estão esgotadas e em outros elas se esgotarão em poucos anos com um desenvolvimento rápido. As fontes de petróleo, que fornecem uma parte considerável da energia para usos industriais, são bastante limitadas e se esgotarão em um prazo relativamente curto dentro da escala histórica. As fontes de carvão mineral, mais abundantes, são também limitadas e têm a sua exploração cada vez mais difícil e penosa. Resta-nos, então, a energia nuclear, que não vem eliminar as outras fontes conhecidas de energia, mas concorrer com elas. ‘

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho da conferência Importância da Física no ensino da Engenharia (1953?).)

A abordagem sobre a pesquisa básica e a tecnologia

“Pesquisa. Neste terreno as universidades e institutos norte americanos tomaram tal desenvolvimento de alguns anos para cá, que colocaram os Estados Unidos em primeiro lugar no mundo.

A última guerra evidenciou de tal maneira a importância da pesquisa científica para o desenvolvimento das nações, que o país que não procurar criar centros importantes de pesquisa ficará sem remédio relegado a uma posição subalterna no campo internacional e não poderá de modo algum desenvolver seus recursos internos em grau conveniente.

A impressão que se tem visitando os meios científicos dos Estados Unidos é o de uma verdadeira corrida em torno do saber.”

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho de ofício relatando viagem realizada aos Estados Unidos, enviado ao Almirante Álvaro Alberto, presidente do Conselho Nacional de Pesquisas, em 5 de maio de 1954)

“...A história revela, entretanto, que sem a pesquisa científica básica, a tecnologia tem seus progressos limitados.

Tôdas as revoluções fundamentais nas aplicações tiveram sua origem em uma pesquisa científica pura. Isto foi verdadeiro em particular para a energia nuclear. A radioatividade se tornou conhecida em virtude dos trabalhos de sábios especulativos como Henri Becquerel e o casal Curie. Seu desenvolvimento se fez graças especialmente à escola dirigida por um cientista puro como Rutherford. O conhecimento da estrutura do átomo se desenvolveu pelo esforço de um sábio como Bohr. A existência dos isótopos radioativos artificialmente obtidos se deve à atuação de cientistas como o casal Joliot-Curie. As novas partículas da Física foram conhecidas por homens que nunca tiveram em mente sua aplicação à indústria. A possibilidade de transformar a matéria em energia foi prevista por Einstein como uma conseqüência da teoria da relatividade restrita. A fissão do urânio 235, primeira experiência na qual se viu ser possível praticamente essa transformação em escala considerável, se deveu a sábios como Hahn e Strassmann, investigadores especulativos. O próprio aproveitamento da energia nuclear no primeiro reator atômico foi obra do físico Fermi.

A melhor política é então desenvolver no máximo a pesquisa básica e ir estudando os problemas tecnológicos à medida que forem surgindo.

Esta mentalidade é francamente preponderante nos Estados Unidos, hoje em dia.

(GOMES, Francisco de Assis. Trecho de ofício relatando viagem aos Estados Unidos, enviada ao Almirante Álvaro Alberto, presidente do Conselho Nacional de Pesquisas, em 5 de maio de 1954.

Álvaro Alberto & Magalhães Gomes – amigos

“Recebi o telegrama no qual me felicita pela minha nomeação para o Conselho Nacional de Pesquisas. Mais uma vez a sua grande generosidade se manifesta para com os amigos. Se aceito a investidura é porque estou certo de um fato: o alto espírito que o primeiro Presidente do C.N.Pq. imprimiu a essa Instituição está sempre vivo ali e anima aos que nela trabalham com a quêle entusiasmo patriótico pelas nossas cousas que sempre foi a norma de ação de toda a existência do eminente amigo. E é esse espírito que deverá presidir a ação de todos os que querem realizar algo para a Pátria.”

GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho de carta enviada ao Almirante Álvaro Alberto , em 19 de abril de 1955)

“ O Conselho Técnico Administrativo do Instituto de Pesquisas Radioativas da Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, em sua reunião de 8 de março p.p., aprovou um voto de solidariedade e agradecimento a V. Excia. pela sua atuação à frente da Presidência do Conselho Nacional de Pesquisas e pelo que V. Excia. fez pela criação do referido Instituto.

O desenvolvimento da pesquisa científica no Brasil tomou um aspecto completamente diferente desde que V. Excia. se pôs à frente do Conselho Nacional de Pesquisas. Os serviços que V. Excia. prestou naquele órgão ao país hão de ficar permanentemente ligados ao nosso programa científico.

Em particular, não podemos deixar de assinalar o notável esforço, coroado de tão promissor êxito, desenvolvido por V. Excia. para o conhecimento e a descoberta dos minerais de interesse atômico que se encontram no subsolo do nosso Estado, bem como o magnífico programa para o aproveitamento desses minérios, tão proficientemente elaborado por V. Excia.

O espírito que presidiu a esses estudos, de tão elevado senso de brasilidade e que demonstra uma tão elevada fé no destino de nosso povo, há de servir de exemplo inesquecível para todos aqueles que se dedicam à importante tarefa de abrir novos horizontes ao nosso futuro desenvolvimento.

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho de carta enviada ao Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva , em 11 de março de 1955.)

Magalhães Gomes & Israel Vargas

“Entre os pontos que interessam ao desenvolvimento da energia nuclear no Brasil um dos que ainda não foi estudado é o que se refere ao estudo físico químico dos efeitos das radiações nucleares sobre os sólidos e a química dos elementos pesados. Verificando a possibilidade de indicar um nome para isso, cheguei à conclusão de que poderíamos confiar o caso ao Professor José Israel Vargas. Ele é químico pela Faculdade de Filosofia da Universidade de Minas Gerais e já fez curso de especialização em São José dos Campos e São Paulo, sob a orientação dos Professores Abraão de Moraes e David Bohm, além de ter sido assistente do Professor Pompéia. Fez também o curso de radioisótopos no Chile, sob a orientação do Professor Alfred G. Maddock que, em vista dos bons resultados obtidos, o convidou para continuar seus estudos em Cambridge, local especialmente favorável aos estudos em vista. Venho assim propor a concessão ao Professor Vargas de uma bolsa para os estudos acima referidos, de dois anos.”

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Trecho de Carta enviada ao Prof. João Cristóvão Cardoso, Presidente do Conselho Nacional de Pesquisas, em 8 de janeiro de 1957)

Significado da energia atômica

“ Se compararmos o que se passa entre nós com o que se passa em países de mais avançada tradição científica, o conjunto de nossas realizações ainda é pequeno. O esforço que se faz, entretanto, está encaminhado para o progresso de nossa Pátria no terreno da energia atômica, sem a qual, hoje, nenhuma nação poderá atingir o nível econômico e cultural que almeja para os seus habitantes. “

(GOMES, Francisco de Assis. Relatório das atividades do Instituto de Pesquisas Radioativas relativo ao ano de 1958. Belo Horizonte, 1958)

A finalidade do reator TRIGA

"A atividade do Instituto no momento atual está sendo dirigida para a montagem de um reator experimental que se destina a uma tripla finalidade: treinamento de especialistas em energia nuclear, pesquisas referentes ao mesmo assunto e produção de radioisótopos para pesquisa científica e tecnológica.

Com este aparelho contamos ter uma base para futuros desenvolvimentos em técnica de reatores e para a criação de um centro de estudos em energia nuclear e suas aplicações. Além disso, tem o Instituto intenções de montar um acelerador de partículas, provavelmente um Van de Graaff...."

(GOMES, Francisco de Assis. Instituto de Pesquisas Radioativas da Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais. Anexo a uma carta enviada a Cintra do Prado, em 3 de julho de 1958.)

Confidências de Magalhães Gomes

"Na minha carreira universitária de quase cinqüenta anos, distingo no meu currículo duas realizações que muito me desvanecem: este IPR e o Instituto de Ciências Exatas, que também organizei e dirigi. Era tal o meu amor a este Instituto que meus treze filhos consideravam o reator TRIGA como o seu 14º. Irmão. "

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães Gomes. Trecho do Discurso pronunciado no aniversário de criação do CDTN, anteriormente IPR, em 16 de setembro de 1987)

Preparemos para a era da energia nuclear

" Não há forma alguma de energia que garanta o futuro energético da humanidade como a energia atômica. A ciência nenhuma outra forma prevê. Já perdemos a era do carvão e a do petróleo. Preparemo-nos para a era da energia nuclear. O antigo Instituto de Pesquisas Radioativas mudou de nome: chama-se hoje Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Não importa. A essência fica a mesma. Desejo-lhe um futuro brilhante."

GOMES, Francisco de Assis Magalhães Gomes. Trecho do Discurso pronunciado no aniversário de criação do CDTN, anteriormente, IPR, em 16 de setembro de 1987).

A ciência precisa de apoio

“É uma ilusão querer desenvolver pesquisa tecnológica sem pesquisa básica. Os nossos amigos americanos do norte muito bem compreenderam essa necessidade a partir da segunda guerra mundial. Numerosos setores tecnológicos realizaram magníficos programas executando uma conveniente harmonização entre ciência básica e ciência aplicada, isto é, entre ciência e tecnologia.

O grande progresso japonês e a afirmação do Império Nipônico como grande potência mundial se deve também a essa conjunção: ciência e tecnologia. É necessário que os nossos governos se compenetrem do papel do apoio à ciência para a criação de uma tecnologia adaptada ao progresso nacional. “

(GOMES, Francisco de Assis Magalhães Gomes. Trecho do Discurso pronunciado por ocasião do 36. aniversário de criação do CDTN, em 16 de agosto de 1988).

SESSÃO 1

Presidente da Mesa: **Prof. Márcio Quintão Moreno**

Foi integrante do primeiro grupo de pesquisadores do IPR, atual CDTN, Secretário Regional da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), professor do Departamento de Física do ICEX/UFMG. Organizador do livro: Humanismo e ciência para Francisco de Assis Magalhães Gomes. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

CONFERÊNCIA **A Energia Nuclear: Minas e BRASIL: Antes que me Esqueça**

Conferencista: **Prof. José Israel Vargas**

O professor Vargas se destaca pela atuação científica, em âmbito nacional e internacional. Foi chefe da Divisão de Física Nuclear do IPR, atual CDTN, onde exerceu o cargo de Diretor (1962), membro da Comissão Nacional de Energia Nuclear, professor emérito da UFMG. Foi o primeiro Secretário de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Ministro da Ciência e Tecnologia, Embaixador do Brasil junto à Unesco e Presidente Executivo desta organização.

José Israel Vargas

**A ENERGIA NUCLEAR: MINAS E BRASIL:
ANTES QUE ME ESQUEÇA**

SUMÁRIO

- 1 Introdução
- 2 O papel do CNPq
- 3 O programa átomos para a Paz e a Situação Internacional do Setor Nuclear
- 4 A criação da CNEN (1956 e 1962) e as relações do Brasil com a Agência Internacional de Energia Atômica.
- 5 A AIEA e a evolução do Sistema Internacional de Salvaguardas – o papel do Brasil. A cooperação com a França.
- 6 O Grupo do Tório
- 7 O acordo com os Estados Unidos e a Construção de Angra I; Criação da CBTN e da Nuclebrás. Acordo com a Alemanha.
- 8 O Programa Nuclear Paralelo.
- 9 A matriz Energética Nacional e a Complementação Térmica do Parque Hidroelétrico.
- 10 Agradecimentos.
- 11 Gráficos, figuras e tabela.
- 12 Referências.
- 13 Notas.
- 14 Anexos

O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA NUCLEAR: MINAS E O BRASIL: ANTES QUE ME ESQUEÇA.

À memória de Francisco de Assis Magalhães Gomes.

José Israel Vargas

Aceitei com muita honra a incumbência que me confiou o Dr. Sergio Filgueiras, Diretor do CDTN para apresentar nesta oportunidade a gênese da implantação da energia nuclear em nosso País, ao mesmo tempo em que se presta merecida e oportuna homenagem a Francisco de Assis Magalhães Gomes, por tantos títulos digno de reconhecimento pelas suas contribuições às ciências físicas em Minas Gerais.

Em obra publicada em março do corrente ano, organizada pelo meu amigo Marcio Quintão Moreno para comemorar o centenário de nascimento do saudoso mestre, que denominei de um cientista de fé, eu disse, em minha contribuição, que ele foi uma dessas figuras improváveis, que nos surpreendem de tempos em tempos, tão rara costuma ser sua combinação de sensibilidade e vasta cultura humanística com a formação técnica de engenheiro, de que tanto se orgulhava.

Vivendo em uma era de grande euforia no campo científico, em especial na Física, Magalhães Gomes nunca se conformou com o acanhamento e o atraso das instituições de ensino e pesquisa sob os quais se formara sua própria geração e que ele se empenhou em modernizar.

Foi indiscutível pioneiro na abertura do campo de estudos das ciências e energia nucleares no Brasil, ciente de que não se tratava apenas de assegurar a produção de energia barata, pois antevia acertadamente que a tecnologia nuclear seria propulsora da modernidade, por exigir um elevado nível de excelência em todos os domínios correlatos.

A tudo isso temos de acrescentar o legado de ordem moral que dele recebemos: a do intelectual íntegro, do homem generoso, modesto e destituído de vaidades, capaz de se alegrar com o sucesso de quem quer que fosse, comprometido com a verdade da ciência e com os mais moços.

1- Introdução

Em 1900, último ano do séc. XIX, Lord Kelvin, em discurso na Associação Britânica para o Progresso da Ciência, notava que todos os grandes problemas da física estavam virtualmente resolvidos, restando, segundo ele, duas exceções:

- A explicação do espectro de emissão do corpo negro;
- a explicação dos resultados da experiência de Michelson e Morley, sobre a velocidade da luz relativa ao movimento da Terra.

Como sabemos, a solução desses dois problemas citados por Kelvin, além da explicação dos fenômenos da radioatividade⁽¹⁾ e do efeito fotoelétrico⁽²⁾, levaram à grande revolução da ciência do século XX, com o desenvolvimento da Mecânica Quântica, da Teoria da Relatividade e à emergência da Física Nuclear. Neste campo ocorreram muitas outras importantes descobertas, entre as quais a da fissão do núcleo atômico pelos químicos O. Hahn e F. Strassmann, em 1939.

Essa última descoberta veio, mais tarde, por sua vez, revolucionar a redistribuição do poder político e econômico no mundo e suscitar graves problemas que, receamos, continuarão para sempre a acompanhar a espécie humana, como bem testemunham os acontecimentos que permeiam atualmente o dia a dia da vida internacional.

A implementação de qualquer programa nuclear independente pressupõe o desenvolvimento do *ciclo do combustível*, que implica: 1º) as pesquisas minerais e geológicas do urânio e do tório, bem como de outros materiais de interesse, até à produção dos próprios elementos combustíveis, contendo ou não urânio enriquecido do isótopo de massa 235 ou do plutônio 239; 2º) o domínio completo das engenharias de projeto, de processo e de produção; 3º) a definição da dimensão e da economicidade das usinas a serem eventualmente implantadas, comparativamente a outras opções no atendimento das demandas energéticas futuras; e, finalmente, 4º) a mais longo prazo, exige a definição dos meios a serem

adotados para a estocagem e/ou re-processamento dos combustíveis já utilizados durante a vida das centrais, geradoras de resíduos altamente radioativos (que emitem radiações por centenas de anos).

A Política Nuclear Brasileira tentou, desde 1946, com maior ou menor sucesso, percorrer quase todas essas etapas. Como veremos, ela foi precedida, já antes da última guerra mundial, pelo desenvolvimento, ainda que incipiente, tanto de recursos humanos na área da física nuclear básica, como no campo da busca de materiais radioativos, entre os quais naturalmente o urânio, que se tornaria indispensável ao desenvolvimento futuro do setor. Essa tradição, posto que limitada, propiciou o surgimento de líderes que iriam alimentar a esperança de sucesso nacional no domínio da nova tecnologia energética.

No Brasil, de fato, tanto a descoberta precoce da ocorrência da radioatividade nas águas hidrominerais (notadamente em Poços de Caldas e mais tarde em Araxá, ambas em Minas Gerais), indicadores da ocorrência de importantes materiais nucleares ⁽³⁾, foi contemporânea dos conhecidos avanços na França, na Alemanha, na Inglaterra e na Itália. Deste último país provieram Gleb Wataghin e Giuseppe Occhialini, mestres da geração de jovens patricios que foram, em São Paulo, os pioneiros da Física brasileira ⁽⁴⁾.

Menção especial deve ser feita a Bernard Gross, que no Rio de Janeiro iniciou entre nós, já em 1934, o estudo das radiações cósmicas, na Divisão de Eletricidade e Medidas Elétricas do INT. Os cientistas Marcelo Damy de Souza Santos e Joaquim Costa Ribeiro iriam participar da primeira comissão, criada a 20 de janeiro de 1947, que se ocupou oficialmente do controle e fiscalização de materiais estratégicos (CFME) no âmbito do Conselho de Segurança Nacional. Muitos desses materiais, como vimos, já haviam tido sua ocorrência verificada principalmente pelo grupo de geologia e geoquímica, criado em Minas Gerais pelo grande geólogo Djalma Guimarães. Ele, de fato, havia descrito, já em 1929, a ocorrência de urânio associado a nióbio-tantalatos ⁽⁵⁾.

Incidentalmente, esses trabalhos refletiram a influência do grande Viktor Goldschmidt, líder do importante grupo que criara na Universidade de Göttingen, tendo sido ele o verdadeiro pai da moderna geoquímica, em ousada e inovadora

descrição da distribuição dos elementos químicos na crosta terrestre. Djalma Guimarães mantinha estreitas relações com os pesquisadores alemães, através de correspondência continuada com C. W. Correns, membro proeminente da escola de Göttingen. Testemunho desses contatos, bem como dos inúmeros trabalhos realizados pelo grupo mineiro sobre os materiais nucleares ao longo das décadas subseqüentes, estão descritos no notável levantamento histórico publicado por Cláudio V. Dutra, um dos mais distintos participantes do referido grupo ⁽⁶⁾. Recorde-se que os trabalhos desses pioneiros levaram à descoberta das importantes reservas de fosfato nas cidades mineiras de Patos, Araxá e Patrocínio, bem como do nióbio de Araxá, de imenso valor econômico para o País.

Antes dos anos 40, e também mais tarde, analogamente ao ocorrido com o grupo mineiro, muito contribuíram nessa área pesquisadores tanto de São Paulo quanto do Rio de Janeiro. Desse período, cabe citar principalmente, os nomes de Francisco Maffei e Luiz Cintra do Prado (São Paulo), Irnack Carvalho do Amaral, Elisiário Távora, Alexandre Giroto, Sílvio Fróes de Abreu e o já mencionado Bernardo Gross.

O ímpeto de todos esses trabalhos foi notavelmente acelerado graças às influências do Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva e de César Lattes, o co-descobridor do méson ⁽⁷⁾. O primeiro representou o Brasil, em 1946, na recém criada Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas. Essa comissão buscou regulamentar a produção e as conseqüências políticas resultantes do uso da nova forma de energia e a promoção da internacionalização e controle de todos materiais nucleares (*Plano Baruch*). Ele contribuiu também, decisivamente, para a formulação da chamada cláusula das “compensações específicas”, destinada a regular o fornecimento de materiais de interesse nuclear aos países industrializados, notadamente pelos países em desenvolvimento.

É provável que a posição do Almirante Álvaro Alberto, bem como a de seus colegas brasileiros, tenha sido fortemente influenciada pela difusão, a 12 de agosto de 1945, do Relatório Smyth, que, surpreendentemente, tornou públicas, decorridos apenas seis dias da explosão da bomba atômica em Hiroxima, importantes informações sobre o programa americano de uso militar da energia

nuclear ⁽⁸⁾. Já na introdução esse trabalho recorda que a aplicação da equação $E = mc^2$ demonstra que a transformação de 1kg de massa em energia seria três bilhões de vezes superior à que se obtém pela queima de 1kg de carvão mineral, o combustível mais correntemente utilizado a partir da revolução industrial iniciada no séc. XIX.

Possivelmente foram essas informações que levaram o Conselho de Segurança Nacional a criar, logo no início de 1947, a já referida CEFME (Comissão de Estudos e Fiscalização de Materiais Estratégicos). Ela foi de pronto capaz de listar, como sendo de interesse para a energia nuclear, o urânio e o tório, além do lítio, do berilo, do boro, do cádmio, do grafite e mesmo do chumbo radiogênico (*Nota 1*). A comissão decidiu que os minérios da maioria desses elementos, juntamente com os de nióbio e zircônio, teriam sua exploração e comércio rigidamente controlados. Mais tarde, decidiu-se que no caso em que o urânio e/ou o tório fossem componentes minoritários de determinado minério, como no caso do minério de nióbio de Araxá (que contem cerca de 2% de tório), descoberto por Djalma Guimarães, o exportador obrigava-se a devolver ao governo, sem ônus para este, o equivalente desses elementos, na forma de compostos químicos puros ⁽⁶⁾.

Paralelamente muito contribuiu para nossa política nuclear a grande repercussão internacional que teve a descoberta do méson, de que participou César Lattes. Imaginava-se que o méson pudesse catalisar a fusão nuclear através da reação do próton com o deutério, gerando 5,5 Mev de energia por evento. Essa reação, caso factível, seria capaz de gerar energia nuclear mais limpa do que a proveniente da fissão do urânio. Infelizmente tais expectativas não se realizaram ⁽⁹⁾.

2- O papel do CNPq

A constatação das notórias insuficiências de nosso País em recursos humanos e de sua base material para pesquisas, levou o Almirante Álvaro Alberto e César Lattes, apoiados por outros cientistas, a propor a criação do Conselho Nacional de Pesquisas, efetivada através da lei 1.310, de 15 de janeiro de 1951, e do qual Álvaro Alberto foi o primeiro presidente. Foi ele também quem propôs, em 1950, a medida concretizada no decreto-lei 150, que reforçou as limitações já estabelecidas ao comércio de materiais estratégicos, notadamente do urânio e do tório. Em consequência desse instrumento, o comércio desses elementos passou a ser realizável somente em operações de governo a governo. O ato constituiu, segundo Ninon Machado, uma antecipação do monopólio de todas as atividades nucleares, que viria a imperar até os nossos dias ⁽¹⁰⁾.

O CNPq, além da atribuição de fomentar as atividades de pesquisa e desenvolvimento, pela formação de recursos humanos no País e no exterior, deveria ocupar-se de rígido controle e fiscalização dos materiais anteriormente referidos, recorrendo ao decreto-lei 438, de 1938, cujas duras penalidades passaram a ameaçar os infratores da lei 1.310. Subseqüentemente criou-se uma Comissão de Energia Atômica no âmbito do próprio Conselho Nacional de Pesquisas, composta por doze membros, representantes tanto do governo quanto da comunidade científica (*Nota 2*). Ela logo ensejou o estabelecimento de laços de cooperação com os Estados Unidos e com a França, notadamente através da companhia francesa "Société des Produits Chimiques des Terres Rares". Isso permitiu realizar aprofundados estudos sobre a extração do urânio contido na caldasita de Poços de Caldas. Para tal fim foi enviado à França pelo CNPq um grupo de químicos chefiados por Alexandre Giroto, que conseguiu produzir as primeiras 900g de urânio metálico proveniente de um minério brasileiro. O processo utilizado foi objeto de Patente Internacional, em nome do CNPq ⁽¹¹⁾.

O acordo com os americanos propiciou a realização de pesquisas de minerais nucleares em várias áreas do País, principalmente em Minas Gerais,

pelos geólogos Max White e Gene Tolbert. Essa cooperação contou freqüentemente com a presença de outros técnicos do U.S. Geological Survey ⁽⁵⁾.

A pesquisa de minerais atômicos prosseguiu tanto em colaboração com a França quanto sob a égide da Comissão de Energia Nuclear e da futura NUCLEBRÁS. As reservas resultantes desses vários trabalhos, bem como dos realizados nessa empresa, sob a direção de John Forman, permitiram ao Brasil dispor hoje da sexta maior reserva de urânio do mundo ⁽¹²⁾.

Paralelamente às ações iniciais na área de materiais, o CNPq - subordinado diretamente à Presidência da República - apoiou-se tanto no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo (fundada em 1934), quanto no próprio Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, criado em 1949 por César Lattes, José Leite Lopes e Jaime Tiomno, para iniciar a implantação no País de variadas infra-estruturas de pesquisa. Além de trabalhos sobre radiação cósmica e física nuclear teórica, o CBPF ocupou-se pioneiramente de física da matéria condensada e de química nuclear, particularmente das aplicações do efeito Mossbauer. Os dois últimos campos estiveram sob a liderança de Jacques Danon.

Instalaram-se, a partir de 1951, em São Paulo, um acelerador betatron e um gerador eletrostático; no Rio de Janeiro, um acelerador Cockcroft-Walton e a montagem, nunca concluída, de um ciclotron de energia reduzida junto ao Arsenal da Marinha. A estas iniciativas, seguiu-se a fundação, em 1952, do Instituto de Pesquisas Radioativas, na Universidade de Minas Gerais, sob a liderança de Francisco Magalhães Gomes. Criou-se em 1956 o Instituto de Energia Atômica, também em São Paulo, sob a direção de Marcelo Damy de Souza Santos; mais tarde instalou-se o Instituto de Engenharia Nuclear, no Rio de Janeiro, diretamente subordinado à CNEN.

Beneficiaram-se igualmente do programa os jovens físicos gaúchos Gehard Jakob, Darcy Dillenburg e Fernando Zawislowski, que trabalharam naquele Instituto sob a direção do Professor Marcelo Damy, e, no Instituto de Física da USP, sob a orientação do Professor Oscar Sala. O grupo gaúcho ampliou-se

consideravelmente com a presença do ilustre físico teórico alemão Theodor Maris e de outros cientistas estrangeiros na UFRS.

O IPR ocupou-se, inicialmente, de trabalhos nas áreas da eletrônica nuclear (Eduardo Schmidt Monteiro de Castro; como Magalhães Gomes, era professor de física, tanto na Escola de Engenharia quanto na Faculdade de Filosofia da Universidade de Minas Gerais); da prospecção e análise física de minérios e materiais nucleares, utilizando a técnica das emulsões nucleares, desenvolvida em Bristol e aplicada com grande êxito por César Lattes em suas pesquisas pioneiras na área da física das altas energias (raios cósmicos) ⁽¹³⁾. Milton Vieira Campos ocupava-se de estudos radioquímicos; Cássio de Mendonça Pinto, catedrático de química inorgânica da Escola de Engenharia e de físico-química na Faculdade de Filosofia, desenvolveu vários métodos originais para a análise de minérios complexos de urânio e de nióbio. Foram logo enviados para treinamento no exterior, vários jovens químicos, físicos, engenheiros e matemáticos, incluindo o autor deste trabalho que freqüentou no Chile o primeiro curso de química nuclear da América Latina, ministrado por Alfred G. Maddock, seu futuro orientador de doutorado na universidade de Cambridge.

3- O programa *Átomos para a Paz* e a situação internacional do setor nuclear

Os três institutos vieram logo a beneficiar-se do programa “Átomos para a Paz”, lançado pelo presidente Eisenhower em 1953. Foram instalados três reatores nucleares de pesquisa, em São Paulo (IEA), em Minas Gerais (IPR) e no Rio de Janeiro (IEN), respectivamente em 1957, 1960 e 1961. Esses equipamentos desempenharam importante papel no desenvolvimento das aplicações das técnicas nucleares entre nós, notadamente nas áreas da utilização dos isótopos radioativos na indústria, na química nuclear na radioproteção e na medicina. Permitiram também o treinamento de pessoal que, mais tarde, constituiria os grupos de estudos e projetos de Engenharia Nuclear. Menção especial merece o trabalho do Grupo de Reatores de Potência (GRP) criado no

âmbito da CNEN, que contou, a partir de 1962, com a estreita cooperação francesa. Ele foi dirigido pelo professor Jonas Santos, da Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil.

A potência dos reatores de Minas Gerais e de São Paulo, inicialmente limitadas a 30 e a 1000 kw (5000 kw nominais) respectivamente, foram aumentadas depois para cerca de 250 e 3.000 kw. O reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear do Rio de Janeiro manteve sua potência original de 10kw, juntando-se a ele, mais tarde, um ciclotron de baixa energia, utilizado para a produção de isótopos de interesse na medicina nuclear. A experiência rapidamente adquirida com o funcionamento dos reatores, nas várias áreas já mencionadas, pode ser notada nas numerosas comunicações apresentadas na reunião patrocinada pela Agência Internacional de Energia Atômica, em São Paulo, em 1963, sobre *Utilization of Research Reactors*⁽¹⁴⁾. A delegação brasileira à referida reunião contou com 76 participantes.

4- A criação da CNEN (1956 e 1962) e as relações do Brasil com a Agência Internacional de Energia Atômica.

No plano institucional, foi criada em 1956, pelo decreto presidencial 4.011 e após amplo debate público durante a administração Kubitschek, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, diretamente vinculada à presidência da República. Ela sucedeu à comissão anteriormente estabelecida no CNPq, tornando-se independente desse órgão, porém mantendo a já mencionada vinculação. Tal subordinação demonstrava o caráter estratégico atribuído ao setor energético pelo Governo. Essa subordinação foi confirmada pela lei 4.118, de 1962, apesar de o setor ter sofrido profundas modificações até à adoção da atual estrutura, estabelecida pela lei 10.683, de 28 de maio de 2003, a qual é mostrada na figura I. A variada subordinação da CNEN nos últimos 47 anos está descrita na *Nota 3*. As relações internacionais prosseguem, nessa altura, sempre com a França e os Estados Unidos. Com este último país elas foram iniciadas em 1952, renovadas

em 1954, mas se extinguíram na prática em 1956, por não haver aquele país cumprido as “compensações específicas” correspondentes ao fornecimento que lhe faria o Brasil de 100 toneladas de tório.

Essa política de compensações específicas foi reafirmada mais tarde, em 1962, com o estabelecimento definitivo do monopólio estatal das atividades nucleares pela CNEN, criada pela lei 4.118 de 1962. Registre-se que a interrupção das exportações de urânio e tório para os Estados Unidos obedeceu também às recomendações formuladas em estudos já realizados pela Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos, criada pelo governo para tal fim, sob a presidência do Ministro das Relações Exteriores.

Essas iniciativas resultaram da crescente conscientização de que tanto a existência das armas nucleares como a produção industrial de energia por via da fissão nuclear, que se estimava iria intensificar-se, teriam profundas repercussões na distribuição e realinhamento futuros do poder político e econômico mundial.

Inicialmente, nota-se que os Estados Unidos e a Grã-Bretanha (que teve, por largo tempo, papel destacado não só nas pesquisas básicas que serviriam ao aproveitamento militar e civil da energia nuclear, mas participou também, pela presença de vários cientistas franceses egressos do Grupo de Frédéric Joliot-Curie, da produção do primeiro artefato nuclear), logo tentaram estabelecer um sistema de controle internacional sobre todos os aspectos relativos ao uso da nova energia. Tal controle incluía, como já se apontou, os próprios jazimentos uraníferos, existentes ou a serem descobertos. Tais iniciativas fracassaram, seja pela predominância de interesses nacionais de outros países industrializados, seja em decorrência da polarização ideológica que já se tornava evidente ao fim da segunda guerra, e que dividiu o mundo, até 1990, em dois blocos antagônicos, sob a liderança das duas superpotências que emergiram do conflito.

O Brasil, como a maioria dos países, manifestou-se na Comissão de Energia Atômica da ONU, pela voz do Almirante Álvaro Alberto, contrário a tais iniciativas de controle, por estimá-las atentatórias à soberania nacional. A partir daí, nosso País buscou sistematicamente o desenvolvimento próprio, que deveria,

no entanto, contar com a cooperação internacional. Inicialmente foi escolhida, como já referido, a parceria americana e francesa (*Nota 4*).

5- A AIEA e a evolução do sistema internacional de salvaguardas. O papel do Brasil. A cooperação com a França

O monopólio das armas nucleares tendo sido rompido, inicialmente, pela União Soviética (1949), depois pela Inglaterra (1952), França (1960) e China (1960) estava ampliado o clube atômico militar, constituído, como vimos, inicialmente somente pelos Estados Unidos, Inglaterra e URSS, todos membros do Conselho de Segurança da ONU. Nele, entenderam-se os contendores principais da corrida armamentista - as duas superpotências - superando assim suas profundas divergências ideológicas e políticas, com vista à manutenção do monopólio dos conhecimentos nucleares. Essa política, sob o argumento de que a proliferação de tais conhecimentos levaria fatalmente ao desenvolvimento das próprias armas nucleares, estabeleceria inexoravelmente, segundo eles, a acelerada multiplicação de novos centros de poder, com o aumento do perigo de ocorrer guerra nuclear generalizada.

Remonta, pois, ao imediato pós-guerra o início de toda uma série de iniciativas destinadas a lidar com o espinhoso problema criado pelo crescente domínio científico e técnico do núcleo atômico, circunscrevendo-o na medida do possível. De um lado, procurou-se negociar meios e modos de pôr fim à corrida armamentista. Essa questão, que ainda constitui o cerne da atual problemática internacional, teve somente sucesso relativo. De fato, os gastos militares dos principais contendores dos dois blocos em que se dividiam as nações continuaram a crescer astronômicamente e chegaram a alcançar somas bem superiores a US\$ 1 trilhão anuais.

De outro lado, é certo que foram tomadas várias iniciativas no sentido de promover acordos internacionais destinados a obstar a proliferação nuclear.

Resultou disso, num primeiro tempo, o lançamento em 1953, do programa *Átomos para a Paz*, pelo qual os Estados Unidos forneceriam a outros países apenas reatores nucleares de pesquisa. Apesar do pequeno porte e caráter estritamente pacíficos destes equipamentos, eles ficariam submetidos ao estrito controle do fornecedor.

Para complementar e ampliar tal restrição foi criada, a 2 de outubro de 1956 e por inspiração daquele país, apoiado pela comunidade internacional, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), sediada em Viena. Ela teria, além do objetivo referido, o mandato de promover, em benefício de todos, o uso pacífico da energia atômica. O seu comitê organizador foi presidido pelo embaixador do Brasil, Luiz Alfredo Bernardes.

A Agência, a despeito de ter-se tornado útil e importante fórum de negociações moderadoras das tensões Leste/Oeste, constituiu-se logo em instrumento internacional de um sistema de salvaguardas que veio de fato dificultar a generalização do uso pacífico da energia nuclear. Essa postura revelou-se contrária ao espírito que supostamente levava à sua criação. Para agravar ainda mais esse quadro e por mútua “concertação” dos países industrializados, a Agência teve seu regulamento básico revisto, de modo a impedi-la de financiar bens de capital, indispensáveis, como sabemos, à implementação de programas nucleares exclusivamente dedicados à produção de energia elétrica, em países destituídos tanto de capitais quanto da sofisticada base industrial exigida para essa produção. O sistema de salvaguardas, de cuja formulação ampliada participou em 1962-1963 o presente autor, em nome do Brasil, estabeleceu o controle internacional sobre produtos, processos e informações nucleares a serem intercambiados tanto no plano multilateral quanto no bilateral; também gerou o conceito de “contaminação” de quaisquer componentes, mesmo os mais convencionais, que fizessem parte das instalações submetidas ao regime de salvaguardas. Para tanto, a Agência Internacional de Energia Atômica criou um complexo sistema internacional de inspeção, encarregado de garantir a aplicação de suas exigências.

Os países industrializados, tendo à frente os membros do clube atômico, insatisfeitos com a ação julgada ainda insuficiente da Agência de Viena, propuseram, em 1968, o *Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP)*, que engajaria seus signatários à proscricção, em seus países, de todas as atividades que pudessem ensejar, de qualquer modo, aplicações militares (*Nota 5*). Esse engajamento incluiu o reforço da inspeção internacional de todas as instalações dos países membros da AIEA, com exceção dos detentores de armas nucleares...

Tal mecanismo vem sendo ampliado paulatinamente, por via dos chamados *Protocolos Complementares* aos acordos de salvaguardas e portanto ao próprio TNP, pela Conferência Geral da AIEA, o órgão máximo dessa organização, subordinado ao Conselho de Segurança da ONU.

Os proponentes do Tratado acenavam aos eventuais signatários desse acordo diplomático com a vantajosa ampliação de facilidades de acesso às aplicações pacíficas do átomo, prometendo, em contrapartida, a crescente promoção de seu próprio desarmamento. Resultaram ilusórias tais “vantagens” que, em nenhum caso, foram completamente efetivadas, a não ser, muito tardia e timidamente, pela celebração de acordos parciais de desarmamento, firmados entre as duas superpotências, e que foram parcialmente ab-rogados pela atual administração da superpotência restante (*Nota 6*).

Além desses instrumentos, estabeleceu-se no âmbito da América Latina e Caribe, em 1967, o *Tratado de Tlatelolco*, precursor do TNP, destinado a promover a proscricção de armas atômicas em nossa área. Esse tratado sofreu várias peripécias. Ele deveria envolver não só os países da região e as cinco grandes potências com assento no Conselho de Segurança das Nações Unidas, como também aqueles países que contassem, na área, com territórios sob sua tutela. Durante longo tempo não o assinariam Cuba e França; a Argentina não o ratificava. As grandes potências assinaram-no com reservas inaceitáveis: os Estados Unidos e a Grã-Bretanha reservando-se o direito de transportar armas na região, com o que não concordaram a União Soviética e a China. Além disso, os Estados Unidos e a União Soviética condicionavam a observância desse instrumento diplomático (que autorizava a realização de explosões nucleares com

fins pacíficos) à possibilidade de futuro desenvolvimento de métodos capazes de distinguir entre tais explosões e as que tivessem objetivos militares. Como sabemos, essa opção de uso de explosões nucleares, ditas pacíficas, não prosperou, com o banimento, já em outubro de 1963, por acordo internacional, dos testes com artefatos nucleares, pacíficos ou bélicos.

O *Tratado de Tlatelolco* na prática tornou-se inoperante, até que, finalmente, emendas oferecidas pela Argentina, Brasil e Chile, incluíram em seus dispositivos os princípios contidos no regime geral de inspeções da Agência Internacional de Energia Atômica, permitindo sua ratificação definitiva, inclusive pelo Brasil, através do decreto 1.246, de 16 de setembro de 1994.

Registre-se ainda que os países detentores da tecnologia vêm promulgando legislações nacionais ainda mais restritivas do que as já existentes à transferência de tecnologia. Tais restrições, que, como sabemos, são de difícil implementação, estenderam-se paulatinamente aos campos das tecnologias espaciais, químicas e biológicas (as chamadas *tecnologias duais*).

De qualquer modo, teve prosseguimento, até o fim dos anos 90, a desenfreada corrida armamentista característica da Guerra Fria, quando se instalou o denominado “equilíbrio do terror” Leste/Oeste, que durou até à relativa distensão que se seguiu, particularmente, ao fim da Guerra do Vietnã (1972). Ela foi posteriormente intensificada pelo desmantelamento da União Soviética, permitindo o estabelecimento entre ela e os Estados Unidos de vários acordos destinados sucessivamente a interromper, como vimos, as experiências com bombas nucleares, tanto na atmosfera quanto no subsolo. Isso permitiu, ademais, o desmantelamento progressivo dos foguetes intercontinentais pelos tratados Salt I e Salt II, assinados entre fevereiro de 1971 e setembro de 1996. Nesta última data foi assinado por 155 países o *Tratado de Proibição de Testes Nucleares*, não subscrito, todavia, por Índia, Paquistão e Coreia do Norte. De outra parte Israel não aderiu ao TNP de julho de 1968.

Com o fim da Guerra Fria, esperava-se que o término do sistema bipolar de poder eliminasse os imensos gastos realizados na corrida armamentista, orientando-os para a promoção do desenvolvimento geral. Tal esperança,

contrariando as melhores expectativas dos países mais pobres, frustrou-se. Em vez disto, instalou-se um sistema multipolar de poder, atualmente constituído por nove países nuclearizados: Estados Unidos, Inglaterra, Rússia, China, Paquistão, Índia, Israel, França e Coreia do Norte, todos eles perigosamente marcados pelas mais diversas e conflitantes visões políticas e religiosas.

Agrava-se pois, perigosamente, a conjuntura internacional, particularmente no Oriente Médio, onde a intenção atribuída ao Irã de desenvolver armas atômicas pode gerar conflito que, extrapolando a região, adquira proporções catastróficas. Ela é remanescente da crise gerada em outubro de 1963 pela instalação em Cuba de bases de lançamento de foguetes de médio alcance munidos de ogivas nucleares, que nos aproximou a todos, perigosamente, da guerra termonuclear, de conseqüências imprevisíveis.

Nesse contexto, torna-se exemplar e atualíssimo o acordo entre o Brasil e a Argentina destinado a promover a inspeção mútua de suas atividades nucleares. Ele foi sugerido pelo relatório de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro de 1986, que propiciou a criação da Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC) ⁽¹⁵⁾; ver também *Notas 5 e 6*. Essa Agência binacional foi inaugurada em 13 de dezembro de 1991, por acordo assinado em Viena, após a realização, nesse intervalo de cinco anos, de uma série de entendimentos e encontros destinados à avaliação da capacidade nuclear dos dois países. Sua ratificação pelo nosso País efetivou-se finalmente pelo decreto legislativo 11, de 9 de fevereiro 1994, sendo regulamentado pelo decreto presidencial 1.065, de 24 de fevereiro do mesmo ano.

Apesar de suas reservas quanto ao caráter discriminatório do TNP, pelas razões já apontadas, o Brasil veio, no entanto, finalmente a apoiá-lo, ratificando-o em 1997, embora já tivesse incluído em sua Constituição Federal de 1988 dispositivos que excluem o uso da energia nuclear para fins bélicos.

A importância já adquirida pela energia nuclear pode ser avaliada atualmente pelo funcionamento de 442 centrais núcleo-elétricas em 30 países, com potência instalada de 369 GWe, conforme mostra o Gráfico X.

Justificaram-se pois as tentativas de implementação de um programa nuclear independente, em obediência às diretrizes traçadas para o setor pelo Conselho de Segurança Nacional. De acordo com essas diretrizes, a Administração Federal, como já referido, optara pelo uso do urânio natural como o combustível mais adequado à alimentação de nossas futuras centrais.

Essa opção baseou-se nas experiências pioneiras da Inglaterra (instalação do reator de Calder Hall, de 100MW), e da França (centrais de Chinon, de mesma potência, no Vale do Loire). A escolha afigurava-se como a que melhor poderia atender ao nosso País não só no plano técnico como também no plano político. De fato, a França, que se afirmava ciosa de seus interesses e que ansiava retornar à situação de prestígio e liderança que desfrutara nas pesquisas nucleares do pré-guerra (tendo mesmo patenteado a concepção do reator nuclear, que viria a ser desenvolvido por Fermi, em 1941), ignorava, como o Brasil, os obstáculos à transferência de tecnologia, criados, mesmo para uso civil, pela AIEA.

Aquele país mostrava-se, pois, disposto a cooperar estreitamente com nosso País para desenvolver as centrais nucleares do tipo apontado. O Grupo de Trabalho sobre Reatores de Potência (GTRP), já mencionado, pretendia desenvolver projeto completo de um reator de 100MW, com a participação de técnicos franceses de alto nível.

A cooperação cobria, de forma abrangente, todos os setores do programa. Além das áreas técnicas, desenvolveu-se no campo científico intenso intercâmbio entre instituições brasileiras e francesas (envolvendo o Centro de Estudos Nucleares de Grenoble e o Laboratório Nacional de Saclay, em Paris). Esta cooperação desenvolvida, principalmente entre 1961 e 1979, contou somente em Minas Gerais, com a participação de eminentes personalidades científicas francesas. Como já mencionado o diretor de Saclay, Jean Debieesse, o diretor de CEN de Grenoble, Pierre Baligand, mais tarde Comissário da Energia Atômica da França; de Michel Soutif, reitor da Universidade de Grenoble, seguido pela permanência, durante um ano, na UFMG do professor André Moussa, chefe do Laboratório de Química Nuclear, e de Daniel Dautreppe, chefe da Divisão de

Estudos Fundamentais; do chefe do Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear, Pierre Servoz-Gavin. Estiveram também, durante um ano, o físico do CNRS André Baudry, bem como os jovens cooperantes Paul Vuillet, Pierre Boyer, Alan Chappe, Christian Jeandey, além de madame Pierrette Auric.

A instabilidade política e econômica vigente no Brasil e a mudança do quadro de nossas relações internacionais, decorrentes do golpe de Estado de 1964, interromperam esse processo de apropriação da tecnologia francesa. Recorde-se ainda que tanto a França como a Inglaterra abandonariam na mesma época a linha urânio natural-gás-grafita, em virtude da decisão daqueles países de desenvolverem submarinos nucleares, para cuja propulsão necessitavam a tecnologia americana de reatores alimentados a urânio enriquecido e moderados e refrigerados a água pressurizada.

6– O Grupo do Tório

De 1965 a 1973, face à indefinição das autoridades federais sobre a linha a ser adotada para o desenvolvimento do Programa Nuclear e em consequência do apontado abandono da linha urânio natural pela Inglaterra e pela França, nossa parceira maior, criou-se no IPR o chamado *Grupo do Tório*. Este objetivava, em concepção original, utilizar o tório, abundante em nosso País, associando-o ao urânio natural, para a produção independente de energia núcleo-elétrica. Elaborou-se um projeto de referência para um reator de 30MW, alimentado por urânio natural e tório e moderado a água pesada. Esse projeto serviria ao desenvolvimento de três outras opções: o *Projeto Instinto*, elaborado em 1966 e 1967 (urânio enriquecido - tório - água pesada); o *Projeto Toruna*, de 1968 a 1971 (urânio natural - água pesada); finalmente, de 1971 a 1973 ocupou-se o grupo também do *Projeto Pluto* (plutônio-tório - água pesada). Esses conceitos e projetos estão descritos em três publicações da Agência Internacional de Energia Atômica. O primeiro, *Thorium-cycle possibilities in the Brazilian nuclear program* ⁽¹⁶⁾: o segundo, *“The INSTINTO Project – A status and progress report on the*

thorium reactor development program”⁽¹⁷⁾ e, finalmente, o terceiro, “*Preliminary assessment of heavy-water thorium reactors in the Brazilian Nuclear program*”⁽¹⁸⁾.

Esses estudos contaram com o apoio do Comissariado de Energia Atômica da França, da Alemanha, da Suécia e a participação de membros do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) do Rio de Janeiro, através dos engenheiros Luiz Osório de Brito Aghina e J.A. Nóbrega, em física de reatores, e J. Ribeiro da Costa, em engenharia estrutural. Trabalhou em Saclay, França, o engenheiro Ricardo B. Pinheiro, do *Grupo do Tório* do IPR, na equipe dirigida por Roger Naudet e constituída por Marcel Chabrilac, Annick Boivineau e S. Goldstein.

Assinale-se o interesse da França na retomada de cooperação nuclear com o Brasil, demonstrado pela visita ao nosso País de delegação francesa chefiada pelo senhor André Giraud, Alto Comissário para Energia Atômica daquele país. Participei dessa missão a convite do governo brasileiro, na qualidade de líder de grupo de pesquisas do Centro de Estudos Nucleares de Grenoble, onde trabalhei de 1965 a 1972. A delegação objetivava negociar não só trabalhos futuros com o *Grupo do Tório*, como também a utilização da energia elétrica que seria disponibilizada pela efetivação do projeto Itaipu para enriquecimento de urânio, pela tecnologia da difusão gasosa que seria fornecida pela França (Nota 7). Recordação dessa visita é registrada na fotografia anexa (página 49-A). Recordo também, com prazer e gratidão, o papel desempenhado pelo Diretor do Centro de Estudos Nucleares de Grenoble, senhor Pierre Baligand, constante da segunda fotografia anexa. Suas relações com o Brasil iniciaram-se através da Agência Internacional de Energia Atômica, de que foi Diretor Geral Adjunto, e que se estenderam para além de Grenoble, onde ocupou também o cargo de Comissário para a Diversificação Técnico-científica do Comissariado de Energia Atômica (Página 49-B).

Foram ainda consultores do grupo mineiro os professores Borisas Cimbliris (engenharia térmica) e J. Z. F. Diniz (engenharia estrutural). No âmbito do projeto foram instaladas uma Unidade Subcrítica (Capitu) e outras destinadas ao estudo do comportamento térmico dos combustíveis e componentes a serem eventualmente desenvolvidos. Foram também formulados programas

computacionais para os cálculos exigidos pelas opções técnicas anteriormente apontadas.

Ressalte-se que, não sendo o tório um elemento físsil (a não ser por nêutrons de alta energia) mas sim fértil, isto é, transmutável em urânio 233 por captura de nêutrons térmicos (seguido de decaimento beta), tornava-se claro que o sucesso dos projetos com o tório exigiria, para a execução das três alternativas escolhidas, a existência prévia de reator alimentado a urânio natural ou a urânio enriquecido, de potência conveniente, estimada como vimos em 30MW. No caso do plutônio, elemento transurânico, seria necessário efetivar sua separação do urânio irradiado, ou utilizá-lo diretamente, *in situ*, após sua geração pelo bombardeio neutrônico do urânio de massa 238.

As dificuldades decorrentes da necessidade do aporte de consideráveis investimentos, tanto financeiros como em equipamentos e na capacitação técnica, para implementar as etapas acima referidas, e sem o indispensável apoio do governo federal, levaram ao abandono do projeto. Ele chegou a envolver a participação ativa de 20 jovens engenheiros do IPR, listados na *Nota 8*.

Merece assinalar que vários engenheiros e pesquisadores que antes disso se desligaram do IPR quando de sua transferência para a CNEN, viriam contribuir significativamente para promover ou consolidar seis cursos de pós-graduação implantados na UFMG. Além disso, vários dos egressos do IPR exerceram funções de destaque em diversos programas importantes das administrações federal e estadual. (*Nota 9*).

Formaram-se nesses cursos, até 2006, 1.043 mestres e 399 doutores, somente nos setores de Química, Física e Ciências e Técnicas Nucleares. Experiências análogas devem ter ocorrido em outras instituições, ilustrando o importante papel catalisador das tecnologias de ponta na formação de recursos humanos de alto nível.

A evolução da produção técnico científica dos próprios Institutos pode ser apreciada nos gráficos I, II e III para o IPR; IV para o CDTN; V e VI para o IPEN; VII, VIII e IX para os Institutos da CNEN. No gráfico III estão apresentados pulsos no crescimento cumulativo dos trabalhos publicados, obtidos pela derivada de sua

curva de crescimento. Eles indicam claramente máximos de produtividade em 1960, 1964 e 1970, seguidos de notáveis decréscimos, correspondentes respectivamente à concentração de esforços na montagem e inauguração do reator Triga, ocorrida em novembro de 1960, e ao efeito negativo do golpe militar de 1964, comprovado pela dramática queda da produtividade científica ocorrida logo após esse evento. Nota-se também o efeito da transferência do IPR para a CBTN (CNEN), bem como o fim do *Grupo do Tório*, ocorrido posteriormente. Todos esse gráficos foram obtidos aplicando-se a modelagem desenvolvida por Marchetti e freqüentemente utilizada em vários trabalhos do autor ⁽¹⁹⁾.

É oportuno recordar que a experiência ganha pelo *Grupo do Tório* seria aproveitada, mais tarde pelo projeto de construção de elementos combustíveis experimentais a tório e a urânio, em cooperação com técnicos alemães, no âmbito do acordo com a antiga República Federal da Alemanha. Esse desenvolvimento será apresentado com maior detalhe nesta reunião pelo engenheiro Ricardo Brant Pinheiro.

Registre-se também que em 1967 o presidente general H. Castelo Branco, utilizando o decreto-lei 200, subordinou a CNEN ao Ministério das Minas e Energia, retirando-o da Presidência da República e conseqüentemente reduzindo seu *status* político. Recordo ter prontamente protestado contra esta medida, em telegrama ao Presidente da República.

Em conseqüência dessa nova vinculação, criou-se no Ministério de Minas e Energia um grupo de trabalho constituído pela CNEN, Eletrobrás e Furnas que recomendou a construção de um reator de 500MWe. Essa recomendação foi adotada pela Nova Política Nacional de Energia Nuclear da administração Costa e Silva; a despeito do tratamento dado pelo governo ao *Grupo do Tório*, decidiu-se a implementá-la pelo aproveitamento do pessoal técnico existente em todos os níveis, inclusive dos cientistas brasileiros de valor que se encontrassem no exterior.

7- O acordo com os Estados Unidos e a construção de Angra I. Criação da CBTN e da Nuclebrás. Acordo com a Alemanha.

Os primeiros contatos com a Alemanha foram propiciados pela visita do Chanceler Willy Brandt ao Brasil, ocasião em que se acertou entre os dois países a execução de um programa de cooperação científica e tecnológica.

Tais entendimentos, bem como as medidas então projetadas, frustraram-se com o fim do governo Costa e Silva. Em vez da participação da comunidade científica, inclusive daqueles que se encontravam no exterior, aplicaram-se novas e violentas medidas de repressão, tendo o setor passado, de 1970 a 1974, por profundas modificações. Criou-se a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), subordinada à CNEN, nova empresa que tinha por objetivo ocupar-se das diversas fases de implementação das diretrizes da nova política. Todos os institutos, com exceção do IPEN, autarquia da USP, foram absorvidos pela CBTN, por decreto da época, tendo mesmo o IPR adquirido mais tarde nova denominação (*Nota 10*).

Procedeu-se também à revisão do Acordo de Cooperação com os Estados Unidos, a 17 de julho de 1972, o novo instrumento diplomático referindo-se especificamente aos “Usos Civis da Energia Atômica”.

A CBTN naturalmente alterou os programas de pesquisa dos institutos; o *Grupo do Tório*, como vimos, foi extinto, ao passo que, contraditoriamente, ela resolveu aprofundar estudos sobre as possibilidades de participação da indústria nacional na construção da central nuclear de 500 MWe, sugerida pela administração anterior. Especificações para tal fim foram distribuídas, com vistas à construção da usina a ser localizada em Angra dos Reis. Abriu-se ao mesmo tempo processo de licitação internacional, do qual saíram vitoriosas a Empresa Brasileira de Engenharia, para a montagem dos equipamentos; as firmas Gibbs & Hill (EUA) e a Promon Engenharia (Brasil), para a elaboração do projeto. As obras civis foram entregues por concorrência à construtora Norberto Odebrecht.

Essa central, de 625 MW, seria alimentada por urânio enriquecido, o que tornaria impossível alcançar-se, em futuro previsível, a autonomia do País na

implantação do ciclo de combustível; o Brasil passaria a depender do fornecimento de combustível estrangeiro tornando-se vulnerável.

Tornou-se claro que a política adotada contrariava frontalmente toda a postura de implantação do ciclo de combustível independente, estabelecido nos idos de 1946.

A decisão governamental que anunciava ser a instalação da Central de Angra instrumento fundamental para a transferência de tecnologia frustrou-se também. A participação nacional limitou-se apenas a 6% do custo final da usina, embora sua instalação tenha permitido considerável aquisição de experiência por nossos técnicos, principalmente no que concerne à segurança da operação. Tal decisão teve, no entanto, o efeito de isolar e de desestimular o considerável potencial humano gerado ao longo de vários anos nos diversos institutos de pesquisa e nas universidades.

As insuficiências reveladas na implantação de Angra I, devido primeiramente às limitações do próprio projeto, demonstradas em centrais similares instaladas na ocasião em outros países; a inexperiência organizacional do setor, bem como outros fatores assinalados na referência (15), levaram a grande atraso na implantação da usina, que somente seria operada em 1983.

O fim da administração Médici coincidiu com o primeiro choque do petróleo - cujo barril saltou de US\$ 3,88 para US\$12,55 - e com a grande expansão da demanda de eletricidade.

A gravidade da crise energética que então se desenvolveu (a potência então instalada limitando-se a 17,4 GW) levou a nova administração à adoção de várias medidas, voltadas não só para a redução de nossa dependência energética externa - principalmente do petróleo - mas também ao aproveitamento de fontes alternativas nacionais, particularmente da hidroeletricidade e ao uso da biomassa (início do programa do álcool).

Foram então lançados, de 1975 a 1983, vários projetos: Tucuruí, Foz de Areia, Salto Osório, Salto Santiago e São Félix, além da usina a carvão de Candiota, totalizando cerca de 9 GW, aos quais deve acrescentar-se, pela sua singularidade, a usina binacional de Itaipu, com potência instalada de 12,6 MW.

Essas medidas mais do que dobraram o potencial deixado pela administração anterior.

A situação energética em 1975 caracterizava-se, de fato, por um continuado aumento de consumo de energia elétrica, que atingiu 10,2% e 18,2% ao ano, respectivamente, nos dois anos subseqüentes. A capacidade geradora instalada saltou de 19,5 GW, em 1975, para 21GW, em 1976.

Foi certamente a expectativa de manutenção dessa aceleradíssima taxa de crescimento da demanda de eletricidade, bem como nossa enorme dependência energética externa, que levaram o governo à assinatura do acordo com a República Federal da Alemanha. De fato a dependência energética do nosso País pode ser avaliada pela importação, em 1977, de 300 milhões de barris de petróleo, para alcançar, segundo as projeções então realizadas, 313 milhões já em 1978. A produção nacional atingia tão somente 61 milhões de barris por ano.

As projeções da demanda de energia elétrica então vigentes estimavam que se deveria alcançar 50 GW nucleares no ano 2005. Esse objetivo, caso tivesse sido alcançado, elevaria a participação da energia nuclear no sistema elétrico a cerca de 71%, praticamente igualando a situação do Brasil à atual participação nuclear no sistema de geração francesa, que é o mais importante do mundo!

A cooperação com a Alemanha iniciou-se pelo protocolo de Brasília, assinado em 3 de outubro de 1974, que constituiu o início da cooperação que se formalizou no acordo de Bonn, o qual regeria as relações entre os dois países, no campo dos usos pacíficos da energia atômica. O acordo viria cobrir todas as fases do desenvolvimento da tecnologia nuclear, desde a mineração até à construção das centrais nucleares de 1,35 GW. Surpreendentemente, a estrutura organizacional adotada pela NUCLEBRÁS, a 16 de dezembro de 1974, antes ainda da assinatura do acordo entre os dois governos, foi montada de modo a satisfazer, em detalhe, às numerosas empresas alemãs que participariam da implantação do programa.

Foram constituídas diversas empresas, cuja composição de capital variava de uma a outra. Assim, fundaram-se a NUCLEN, para exploração mineral, com a

participação de 51% de capital nacional; a NUCLEN, para projetos e serviços de engenharia, com a participação nacional de 75%; a NUCLEP, para a execução de projeto de desenvolvimento, fabricação e comercialização de componentes pesados, com a participação nacional de 98,2%; a NUCLEI, para a produção de urânio enriquecido, com a participação nacional de 75%.

Nesse caso, tendo sido impedida a transferência da tecnologia de enriquecimento do urânio ao Brasil, por intervenção da Inglaterra, sócia da Alemanha e da Holanda na firma produtora desse material - a URENCO - optou-se pelo desenvolvimento de uma nova tecnologia, denominada “dos jatos centrífugos”, ainda muito incipiente. Juntaram-se à NUCON as várias empresas encarregadas de setores específicos, com a tarefa de construção das centrais, até então reservada à empresa Furnas Centrais Elétricas, subsidiária da ELETROBRÁS.

A NUCON viria a ser desativada pelo Decreto nº 90.398, de 7 de novembro de 1984, em virtude de conflitos entre o setor elétrico tradicional e a NUCLEBRÁS.

A estrutura organizacional extremamente complexa da NUCLEBRÁS teve por objetivo, conforme os responsáveis da época, a necessidade de garantir a responsabilidade técnica e a efetiva transferência de tecnologia do parceiro alemão em cada fase do Programa. Segundo este, a associação empresarial também viabilizaria o aporte crescente de capital estrangeiro, na medida das necessidades de ampliação das atividades da *holding* NUCLEBRÁS.

O protocolo de Brasília gerou a expectativa, e mesmo a certeza, por parte das autoridades brasileiras, da execução plena desse programa extremamente ambicioso, calcado que fora em hipóteses de crescimento de demanda de energia elétrica de tal monta que exigiria a implantação de no mínimo 9 centrais nucleares de 1,35GW até 1990.

De fato, mesmo antes de firmado o Acordo com a RFA a Presidência da República já aprovara, a 3 de junho de 1974, Exposição de Motivos Nº300, do Ministro da Minas e Energia, autorizando a construção de uma segunda unidade geradora na Central Nuclear “Almirante Álvaro Alberto”, à qual seguiu-se decreto de 13 de junho de 1975, determinando a construção de uma terceira central

também de 1,35 GW (Angra III). Quanto à expectativa dos prazos de construção, contava-se com o término da Usina Angra II em 5,5 anos, em desacordo com a experiência internacional acumulada por países mais desenvolvidos do que o nosso, onde os prazos referidos raramente se reduzem a menos de 8 ou 10 anos. Como é sabido, Angra II só foi inaugurada em 2000, 23 anos após o seu início, em 1977!

A avaliação do Programa Nuclear Brasileiro até 1986 foi realizada por comissão presidencial criada pelo decreto 91.606 de 2 de setembro de 1985. Ela foi presidida pelo autor e sua composição está descrita na *Nota 11*.

Contrariamente às previsões existentes à época das decisões sobre as construções das centrais Angra II e Angra III, vários fatores impediram a observância do cronograma de implantação originalmente estabelecido.

Em primeiro lugar, as taxas de crescimento tanto do PIB quanto da demanda energética foram paulatinamente se reduzindo, sob o impacto da grave crise no balanço de pagamentos do Brasil, em decorrência dos grandes distúrbios na economia internacional, acentuados pelo segundo choque dos preços do petróleo, ocorrido em 1979. Essa crise perdurou praticamente nos 20 anos seguintes, levando a crescimento quase nulo da economia brasileira.

Vale lembrar que, paralelamente ao Programa Nuclear, iniciaram-se também, a partir de 1974, grandes obras tanto no setor energético quanto fora dele (Itaipu e Tucuruí, já referidos; Ferrovia do Aço, Açominas, estrada Transamazônica, etc.), que competiam com o setor nuclear pelo uso de recursos cada vez mais escassos, tanto internos quanto externos. Esses projetos contribuíram para aumentar dramaticamente a dívida externa brasileira, problema com que vem se defrontando o País até recentemente. Eis porque, em 2005, o crescimento do PIB brasileiro foi o segundo pior de toda a América Latina, superando apenas o do Haiti.

Além desses importantíssimos fatores, os problemas surgidos com as fundações de Angra II, decorrentes da sua localização, provocaram inicialmente atrasos, na época da avaliação do programa, de 3,5 anos no cronograma de

obras. Ela de fato, como lembrei há pouco, somente foi inaugurada em fevereiro de 2000.

Cabe recordar também que problemas semelhantes, que já ocorreram em outros países, sem que a experiência adquirida no exterior tenha sido aqui aproveitada, resultaram de divergências na interpretação de normas técnicas relativas às fundações da Central. A própria localização do canteiro de obras, como já assinalado, gerou toda sorte de dificuldades gerenciais, notadamente no relacionamento, de um lado entre Furnas e a empreiteira das construções civis, e de outro entre Furnas, NUCLEBRÁS e CNEN. Esta última, como sabemos, era responsável pela segurança da central e, portanto, pelo licenciamento de sua construção, obedecendo a normas americanas, estranhas ao projeto, que fora inteiramente concebido segundo normas alemãs de filosofia básica, muito mais empírica e flexível do que a da CNEN.

Quanto a Angra III, como sabemos, apesar da aquisição de 45% dos equipamentos e de compromissos assumidos sobre 35% dos equipamentos restantes, que corresponderam a US\$ 750 milhões, estimava-se em 1986 que o seu custo total atingiria cerca de US\$ 2,8 bilhões, incluído os custos financeiros. A falta de decisão sobre a conclusão dessa usina tem como conseqüência gastos de cerca de US\$ 20 milhões anuais (excluídos custos financeiros) para manutenção e conservação dos equipamentos que se encontram estocados. Estima-se que, se a decisão de construir Angra fosse tomada hoje, a obra estaria concluída em seis anos, ou seja, em 2012. Para tanto seria necessário um aporte adicional de US\$1,8 bilhão.

A interrupção de *facto* do programa tornou quase ociosas, por exemplo, instalações do porte da NUCLEP, a não ser por certas encomendas estranhas a sua missão. Destino semelhante teve a Usina de Reprocessamento da NUCLEBRÁS, cujo custo de construção atingiria, a partir de 1986, cerca de US\$ 240 milhões. Permanece em operação parcial a fábrica de elementos combustíveis, iniciada em 1977 em Rezende. O projeto originalmente concebido envolvia três etapas - a montagem do elemento combustível, a reconversão do hexafluoreto de urânio em bióxido de urânio (UO₂) e a fabricação de pastilhas

contendo urânio enriquecido. Nela, foi montada toda a primeira recarga de Angra I, bem como algumas das cargas subseqüentes dessa central e de Angra II. A partir de uma usina piloto do IPEN para a conversão do UF_6 em UO_2 , implantou-se em Aramar, em maior escala, parte de projeto do chamado *Programa Paralelo*.

A despeito dos diversos óbices apontados na implantação do programa, vários importantes projetos de pesquisa e desenvolvimento foram realizados, tanto no IPEN quanto no CDTN. Assim, foram realizados trabalhos sobre a conversão, já mencionados, e com o enriquecimento isotópico pelo método dos jatos centrífugos, no CDTN. Os dois institutos (CDTN e IPEN) ocuparam-se também com projetos de construção de reatores de pesquisa. O primeiro envolveu-se com o desenvolvimento da produção de zircônio (isento de háfnio), componente importante para o encamisamento dos elementos combustíveis. Na área da engenharia e gerência de projetos desenvolveu considerável competência a NUCLEN.

Vale, ainda recordar que vários outros projetos, particularmente no desenvolvimento de protótipos de combustíveis a tório e urânio, e a tório e plutônio (em que o óxido de plutônio era substituído pelo óxido de cério, seu isomorfo, no desenvolvimento experimental de combustível modelo) foram desenvolvidos pelo CDTN em cooperação com diversos grupos alemães. O primeiro elemento (tório-urânio enriquecido) foi desenhado tanto para Angra I quanto para Angra II e submetido a testes na Alemanha. (Convém lembrar que, face à recusa americana de fornecimento de carga para Angra I, o parceiro alemão, utilizando-se do urânio enriquecido da URENCO, teve que construir os elementos combustíveis alimentadores tanto de Angra I quanto de Angra II. O carregamento destes dois reatores continua dependente do urânio enriquecido da mesma origem, embora tenha se tornado viável construí-los na Fábrica de Rezende.) O comportamento do novo elemento contendo tório não teve sua utilização efetivada em nossos reatores, devido à objeção essencialmente política por parte de Furnas Centrais Elétricas, responsável pela gestão dos reatores.

Conforme relato de Ricardo Pinheiro na presente reunião, a documentação dessas experiências, realizadas com sucesso através da cooperação teuto-brasileira, encontra-se dispersa. Urge consolidar essa documentação a fim de retomar as experiências, principalmente as destinadas à promoção do uso do tório e conseqüente aumento de nossas reservas energéticas. No mesmo passo, tais providências alargariam nossas possibilidades de cooperação internacional sobre o uso do tório com países como a Índia, possuidores de importantes reservas deste elemento.

Note-se também que a cooperação com a Alemanha permitiu a grande número de firmas brasileiras adquirir a tecnologia necessária para a construção da central Angra II com a qualidade indispensável a tal empreendimento, como foi notado no relatório da Comissão de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro de 1986. A continuação da transferência de tecnologia para o setor industrial, bem como em outras áreas, após 1986, serão descritas nesta reunião pelo Dr. Witold Lepecki.

Vários projetos foram também elaborados sobre a fusão nuclear, ao longo dos últimos anos, sob o patrocínio da CNEN, nas universidades de Campinas, Federal Fluminense, São Paulo, Rio Grande do Sul, Brasília e no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), no Centro Técnico da Aeronáutica (CTA), no Instituto Militar de Engenharia (IME), no Instituto Engenharia Nuclear (IEN) e no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Trata-se de atividades que, embora ainda incipientes, foram retomadas principalmente pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, sob a liderança de Ricardo Galvão, face à novo interesse no desenvolvimento dessa tecnologia em projeto de cooperação internacional para a montagem de grandes instalações em vias de construção na França.

No que respeita à formação de pessoal, consideráveis esforços foram realizados no âmbito do programa Pró-Nuclear, ao qual foram destinados US\$ 66 milhões na época. O pessoal envolvido diretamente no programa, em 1986, atingiu 8.669 funcionários, dos quais 3.054 de nível superior, sendo 509 com mestrado e 167 com doutorado. Apesar da interrupção da construção de centrais,

como já se assinalou, os institutos de pesquisa continuam desempenhando importante papel no desenvolvimento das aplicações de radio isótopos, na medicina nuclear, na agricultura e na engenharia de materiais. Recorde-se, a propósito, que os seis cursos de pós-graduação da UFMG, criados a partir dos anos 70, geraram um grande número de mestres e doutores. A título de exemplo, o número de titulados, somente em Química, Física, Ciências e Técnicas nucleares, alcançou 399 doutores e 1043 mestres, até o ano 2006.

O esforço realizado nos três institutos principais da área nuclear, incluindo-se o Instituto de Radio-proteção e Dosimetria, pode ser avaliado pela respectiva produção científica, mostrada anteriormente nos gráficos de I a IX.

8 – O Programa Nuclear Paralelo

Como já se assinalou, o ciclo do combustível constitui, por assim dizer, a alma de qualquer programa nuclear independente. A promessa da completa transferência de tecnologia nessa área, que seria propiciada pelo acordo nuclear com a República Federal da Alemanha, frustrou-se à vista da impossibilidade de transferir para o Brasil (ou de desenvolver conjuntamente com o nosso País) a técnica do enriquecimento do urânio por ultracentrifugação. É claro que a utilização do urânio enriquecido como combustível, para alimentar não só os reatores Angra I e Angra II, mas também todos os 9 reatores que seriam implantados no quadro do programa de cooperação teuto-brasileira, exigia de nossa parte o esforço de desenvolvimento próprio dessa tecnologia de ponta. Além disso, a tecnologia dos jatos centrífugos que nos fora oferecida era não só ainda muito incipiente à época do acordo, mas, segundo análises (teóricas) realizadas sobre essa técnica indicavam-na como sendo excessivamente consumidora de energia e muito cara. De outra parte, sua realização em escala piloto pelo CDTN nunca foi implementada por falta de recursos financeiros. Nessas circunstâncias, o IPEN, em estreita cooperação com engenheiros da Marinha Nacional, sob a liderança do Dr. Othon Pinheiro da Silva, iniciou a partir

de 1978 o desenvolvimento da tecnologia de ultracentrifugação, para permitir a produção de combustíveis alimentadores de um submarino a propulsão nuclear. Esse projeto de enriquecimento alcançou grande sucesso no plano tecnológico e encontra-se descrito em artigo contido no número 54 da revista *Economia e Energia* ⁽²⁰⁾. O êxito desse empreendimento constitui conquista maior da tecnologia brasileira, que permitirá, uma vez retomado o desenvolvimento de nosso programa nuclear, a almejada independência nacional, no que concerne ao ciclo de combustível.

O caráter estratégico vital do domínio do ciclo do combustível foi demonstrado pela recusa da administração Carter, em 1977, de fornecer o urânio enriquecido para alimentação de Angra I, reator fabricado pela empresa Westinghouse. Esse fato gerou crise somente superada pelo acordo com a Alemanha, que permitiu não só o fornecimento do urânio enriquecido pela Urenco como também desenvolver a fabricação dos elementos combustíveis para Angra I pela KVVU. Esta tecnologia, bem como a utilizada na produção dos elementos combustíveis alimentadores de Angra II, foi transferida para a Fábrica Nacional de Combustíveis Nucleares de Resende.

A instalação recente de duas baterias de ultracentrifugação naquela fábrica de elementos combustíveis, pelo Ministro de Ciência e Tecnologia, é auspiciosa, pois que talvez represente um primeiro passo na retomada das atividades do setor, que se encontram virtualmente interrompidas a despeito da inadiável necessidade de fazê-lo.

9- A matriz Energética Nacional e a Complementação Térmica do Parque Hidroelétrico.

O futuro provável da energia termonuclear no Brasil é analisado em documento recente do Plano Nacional de Energia 2030 ⁽²¹⁾. Nele são examinadas diferentes alternativas, particularmente quanto à complementação térmica (nuclear ou não) da geração hidroelétrica, que representa hoje 285 TWh, ou seja, 10,7% do potencial tecnicamente aproveitável do País (dados de 2003).

O crescimento na oferta de energia alcançou, entre 1971 e 2002, a taxa média anual de 6,4%; a participação da energia nuclear na oferta interna de eletricidade era em 2005 de apenas 9,5 TWh, equivalentes a 2,2% do total.

Na oferta interna de eletricidade, em 2005 a hidroeletricidade foi responsável por 340,5 TWh, ou seja 77,1% do total; 8,3%, também de origem hidroelétrica, eram importados, o restante sendo de origem térmica.

Comparem-se estes resultados com o consumo de 270TWh previsto pelo presente autor através da modelagem descrita no número 45 da *Revista Economia e Energia*. A previsão, realizada em 1988, encontra-se na figura 20 do trabalho listado na referência ⁽²²⁾.

A participação hidroelétrica na futura geração nacional de energia, que se supõe será muito maior do que a atual, deve ser examinada cuidadosamente, segundo trabalho intitulado “*Um Porto de Destino para o Sistema Elétrico Brasileiro*” ⁽²³⁾. Recorda-se aí que:

1º) o sistema brasileiro de geração de eletricidade caracteriza-se por sua dimensão continental e pela forte predominância da geração hídrica;

2º) a dimensão do País tem alimentado a expectativa de que diferenças sazonais entre as várias regiões sejam complementares, garantindo a tranqüila expansão do sistema hidroelétrico;

3º) baseado em 70 anos de estatísticas pluviométricas, ele mostra ser possível uma modelagem matemática bastante simples e adequada para cada região separadamente, excetuada a região sul, de comportamento imprevisível;

4º) a hipótese de existir uma reserva hídrica inesgotável e disponível a qualquer época na região amazônica é altamente discutível, pois ela apresenta o mais longo período seco das diversas regiões.

O estudo também focaliza a drástica redução do estoque de energia hídrica dos nossos reservatórios (barragens), que diminuiu de dois anos para, atualmente, cerca de seis meses.

Essa situação torna indispensável a crescente complementação térmica da geração hidroelétrica do País.

Entre as opções existentes, a utilização dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) mostra-se cada vez mais inconveniente, em virtude da contribuição que dão ao efeito estufa. À parte a possibilidade de maior participação da energia derivada da biomassa, a contribuição dessa fonte apresenta problemas de competição pelo uso do solo e também, em certos casos, problemas sazonais, com exceção da cana-de-açúcar, cujo bagaço é utilizável para a geração de energia elétrica na entressafra.

A participação relativa das diferentes fontes de energia primária, descritas por Marchetti em 1985 e atualizada até o ano 2005 por Carlos Feu, consta do gráfico X ⁽²⁴⁾: pode-se notar que, depois de um crescimento excessivamente rápido da energia nuclear, sua demanda deverá obedecer a ritmo mais lento nos próximos anos (alcançando 17% de participação em 2030).

O panorama do uso dessa energia acelerou-se a partir de 1965, arrefecendo todavia nos anos 1970, conforme ilustra o gráfico XI.

A participação atual da energia nuclear na geração elétrica mundial é próxima de 15,5%; a previsão de Marchetti, limitando-a a 17% em 2030, revela que a participação futura dessa energia seria modesta, mesmo considerando-se o crescimento inercial expressivo desse insumo, naquela data. Quanto ao Brasil, tal participação alcançaria 5% naquele ano, correspondendo a 18,9 GW, conforme a tabela I, retirada da referência (23).

Cabe concluir que em qualquer hipótese a hidroeletricidade continuará a ter uma participação largamente dominante na matriz energética nacional, à vista do potencial disponível, estimado em 265 GW, que se distribui regionalmente de

maneira bastante regular, conforme mostra a figura III. Nela estão apresentados também os dois ritmos de crescimento previstos para 2030, segundo hipóteses de obter-se PIBS de 3,8% ao ano (alto) e 3,0% ao ano (baixo), respectivamente neste período. O crescimento anual do potencial instalado seria então de 4,2% e de 3,1%.

Ao terminar, desejo ressaltar a fundamental importância de dois problemas até agora não resolvidos que afetam o setor nuclear como um todo.

O primeiro diz respeito à acelerada perda dos recursos humanos formados ao longo do programa, particularmente graças não só ao “Pró-Nuclear”, mas, posteriormente, aos egressos das universidades que dispõem de cursos envolvidos com o setor. O envelhecimento do pessoal técnico e a falta de trabalho decorrente da inexistência de qualquer atividade nuclear mais ampla configura um quadro de desperdício intolerável.

Vale também recordar que até 1986, a Comissão de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro verificou que foram investidos US\$ 4.200 milhões no setor, excluídos os custos financeiros, os quais deveriam atingir somente para as centrais nucleares, mais de US\$ 1.800 milhões, se acaso fossem obedecidos os cronogramas de implantação dessas usinas. Encontra-se na *Nota 12* uma reprodução dos quadros I, II e III, retirados do referido relatório ⁽¹⁵⁾. Sem comentários...

Saliente-se ainda a importantíssima questão da segurança nuclear, afetada pelo fato de que o órgão que licencia e fiscaliza todas as atividades – a CNEN – envolve-se também, contraditoriamente, com a execução de trabalhos correntes, não só nos seus próprios laboratórios e indústrias vinculadas, mas também em todas aquelas que utilizam radiações nucleares pelo país afora. Esta perigosa prática, que vem sendo denunciada ao longo dos anos, particularmente pela Comissão de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro, não recebeu até hoje a atenção que se impõe. Assim, o acidente ocorrido em Goiânia continua esquecido, da mesma maneira que o alargamento e manutenção da estrada Rio - São Paulo, indispensável para garantir a evacuação da população de Angra dos Reis, na eventualidade de acidente que não pode ser descartado de modo absoluto, nas

centrais nucleares localizadas naquela região. Sobre esse assunto o autor deste trabalho, na qualidade de Presidente em exercício da Academia Brasileira de Ciências, alertou o Presidente da República, em maio de 1992, para a necessidade de exame dessa questão, quando se noticiava a reestruturação que o Governo Federal planejava realizar no setor nuclear (Anexo 2). Na primeira Administração Fernando Henrique Cardoso, o autor, abordado em visita as centrais de Angra dos Reis, pelo então deputado Marcondes Perillo, atual governador de Goiás, sugeriu para a solução desse grave problema a adoção de legislação semelhante aquela atualmente vigente na Espanha. Ao que tudo indica, o projeto de lei apresentado pelo atual governador de Goiás, não prosperou.

Finalmente a retomada das atividades do Programa Nuclear, pela finalização da construção de Angra III, torna-se cada vez mais urgente face às incertezas criadas pelas alterações imprevisíveis tanto do custo quanto da disponibilidade dos combustíveis fósseis, cuja participação se anuncia importante para a complementação térmica de nosso parque hidroelétrico.

Vale destacar também a importância da retomada dos trabalhos sobre o aproveitamento do tório para a produção de energia nuclear em nosso País. Como é bem sabido, a tecnologia de produção do óxido de tório, a partir das areias monazíticas, é plenamente dominada no Brasil desde os anos 50.

As contribuições dos doutores Ricardo Pinheiro, Witold Lepecki e Sérgio Filgueiras certamente trarão informações mais amplas sobre o assunto que volta a interessar a opinião pública brasileira.

Um resumo do presente trabalho foi apresentado oralmente na sessão inicial do Simpósio Francisco Magalhães Gomes, promovido pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, em 21 de agosto de 2006. Embora longo, ele apenas condensa alguns episódios da acidentada história da energia nuclear entre nós.

10- Agradecimentos

Este trabalho foi realizado mediante inestimável auxílio da CNEN e do CDTN, através dos Drs. Ailton Fernando Dias e Sérgio Almeida Cunha Figueiras. Agradeço ao professor Ricardo Brant Pinheiro as informações sobre o grupo do Tório e aos professores Marcio Quintão Moreno e Omar Campos Ferreira pela leitura atenta e freqüente correção do texto; o último pela co produção do Gráfico III. Ao doutor Carlos Feu Alvim e à equipe de *Economia e Energia* agradeço por suas valiosas sugestões e freqüentes discussões do assunto. Muitos dados utilizados provêm do Relatório de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro 1986 (referência 15). As informações bibliográficas sobre a produção científica do CDTN foram coligidas gentilmente pela sua bibliotecária, Lenira Santos, a quem sou muito reconhecido. Sou grato ao professor José Domingos Fabris pelas informações relativas à produção científica realizada no Departamento de Química do ICEX da UFMG bem como no departamento de pesquisas fundamentais do Centro de Estudos Nucleares de Grenoble, França. Agradeço também ao engenheiro Mateus Vargas Garzon a elaboração dos Gráficos I, II, IV, V, VI, VII, VIII e IX. Meus agradecimentos, por fim, a Patrícia Bastos Leão pela sua competência e paciência, que foram inestimáveis na redação deste trabalho.

11- Gráficos, Figuras e Tabela

Figura I – Estrutura do Setor Nuclear Brasileiro.



Gráfico I - Número Cumulativo de Trabalhos Publicados pelo IPR (1953 - 1972).

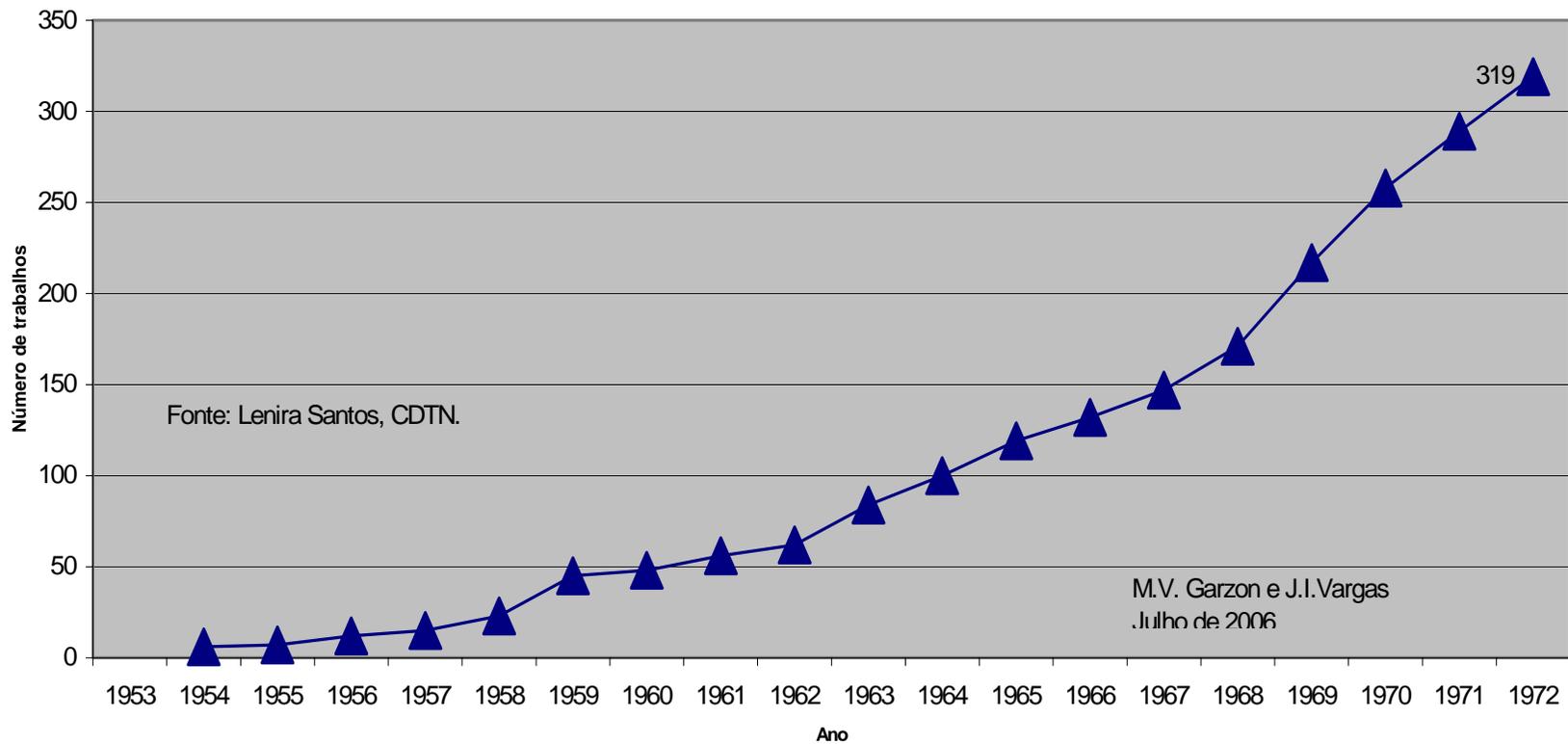


Gráfico II - Tratamento logístico da evolução da produção técnico-científica do IPR entre 1953 e 1972.

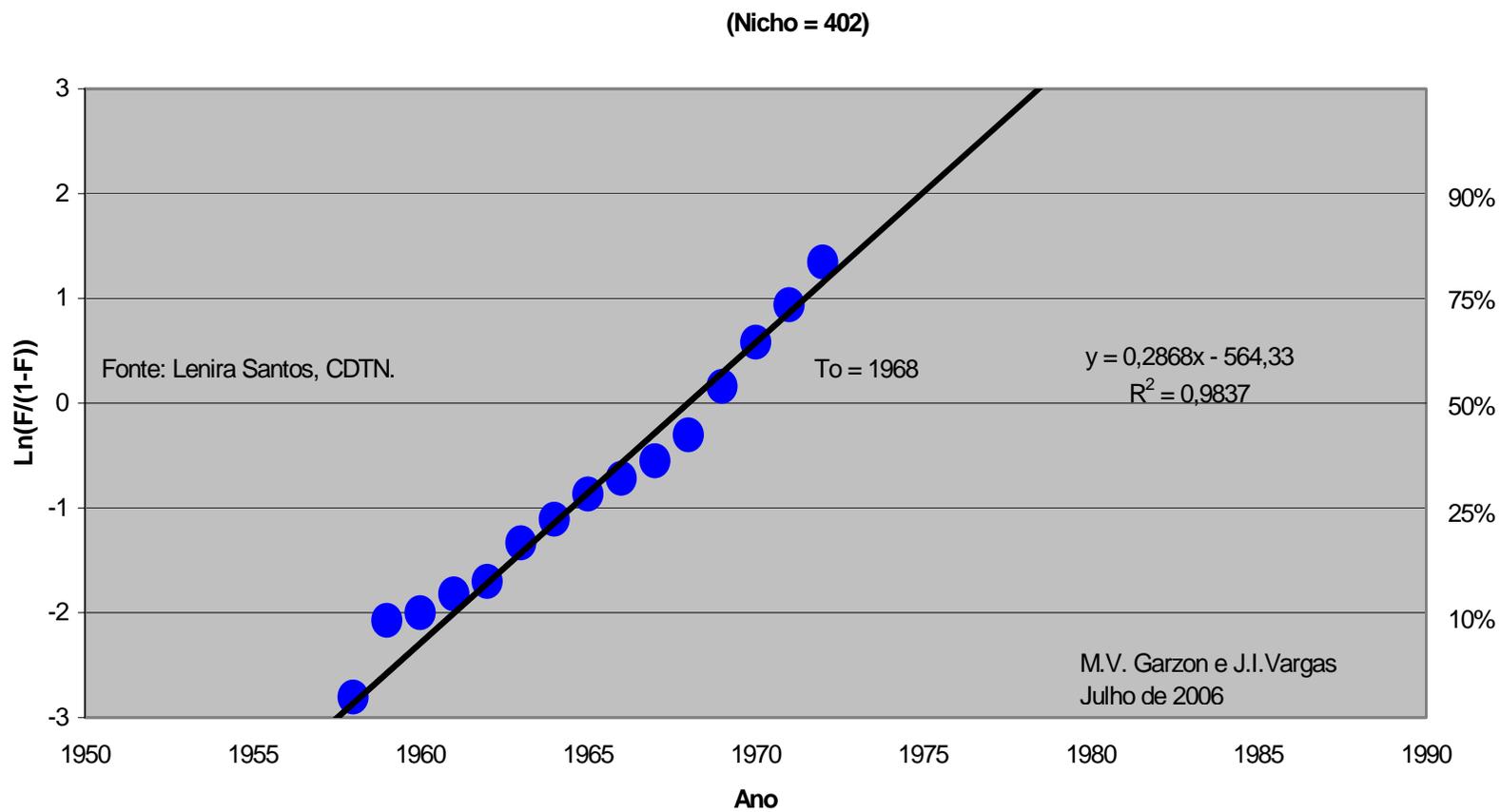


Gráfico III - Análise de pulso do tratamento logístico da evolução da produção técnico-científica do IPR entre 1953 e 1972.

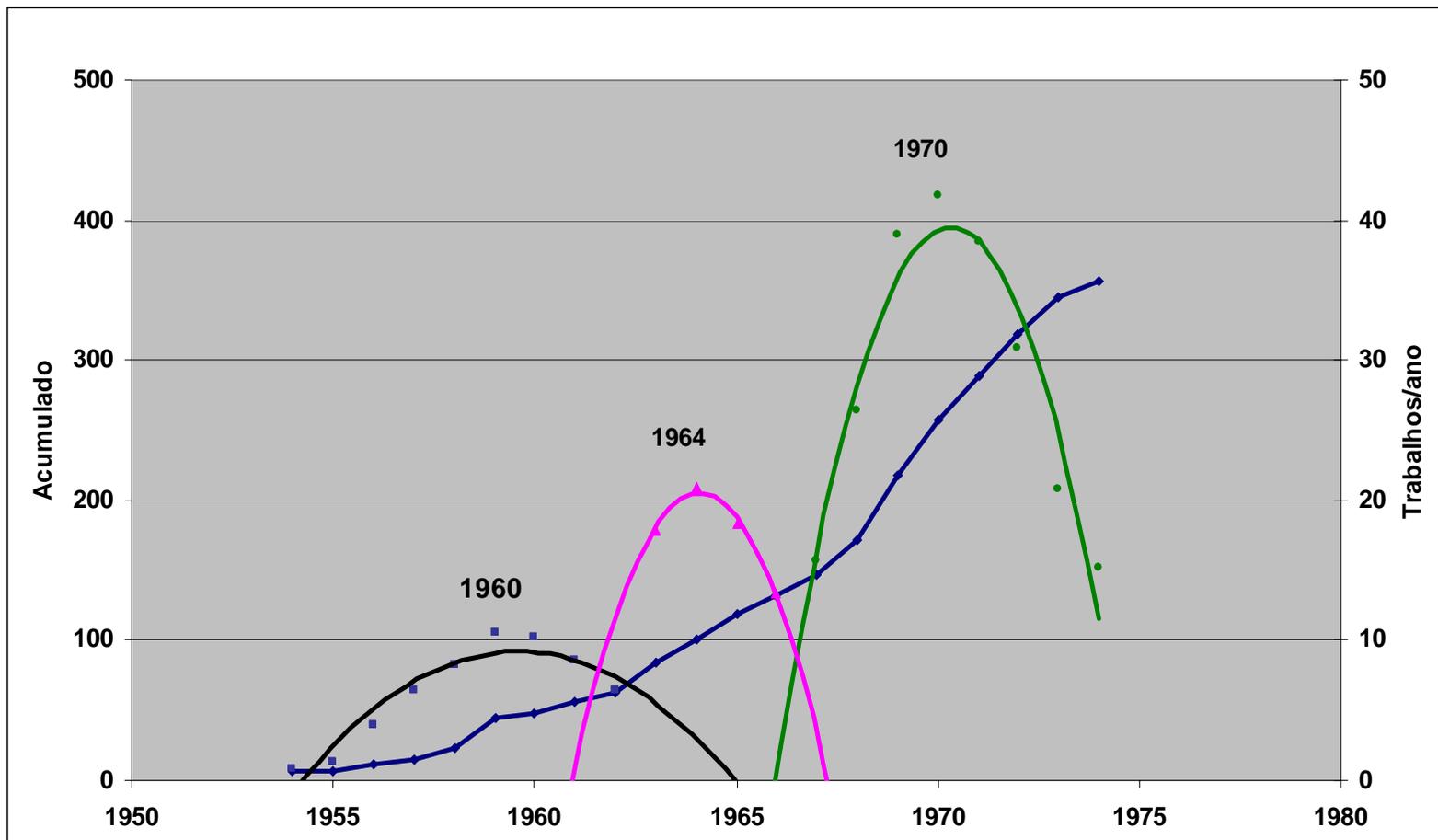


Gráfico IV - Número cumulativo de trabalhos publicados pelo CDTN (1973-2005).

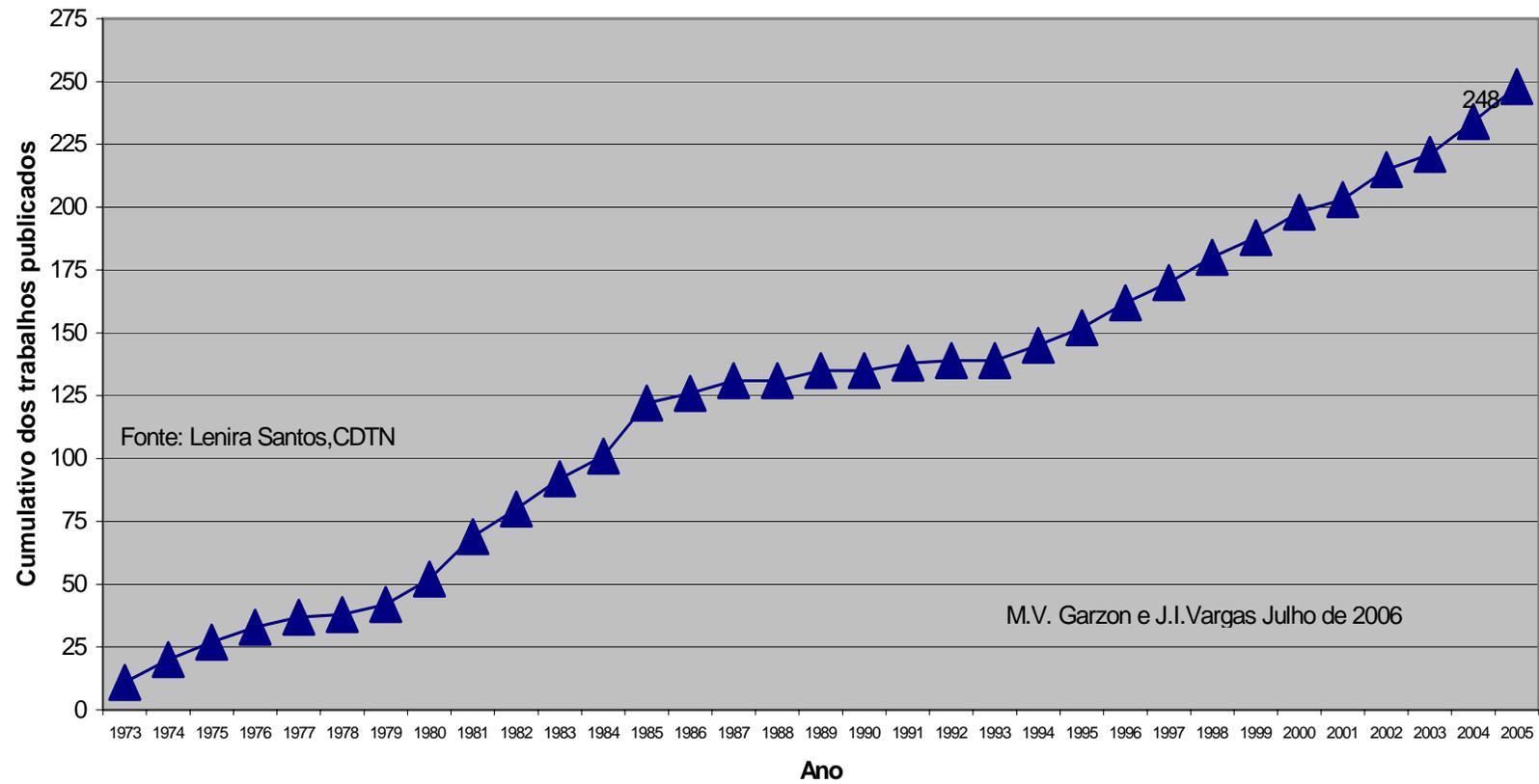


Gráfico V - Número cumulativo de trabalhos publicados pelo IPEN (1958 - 2005).

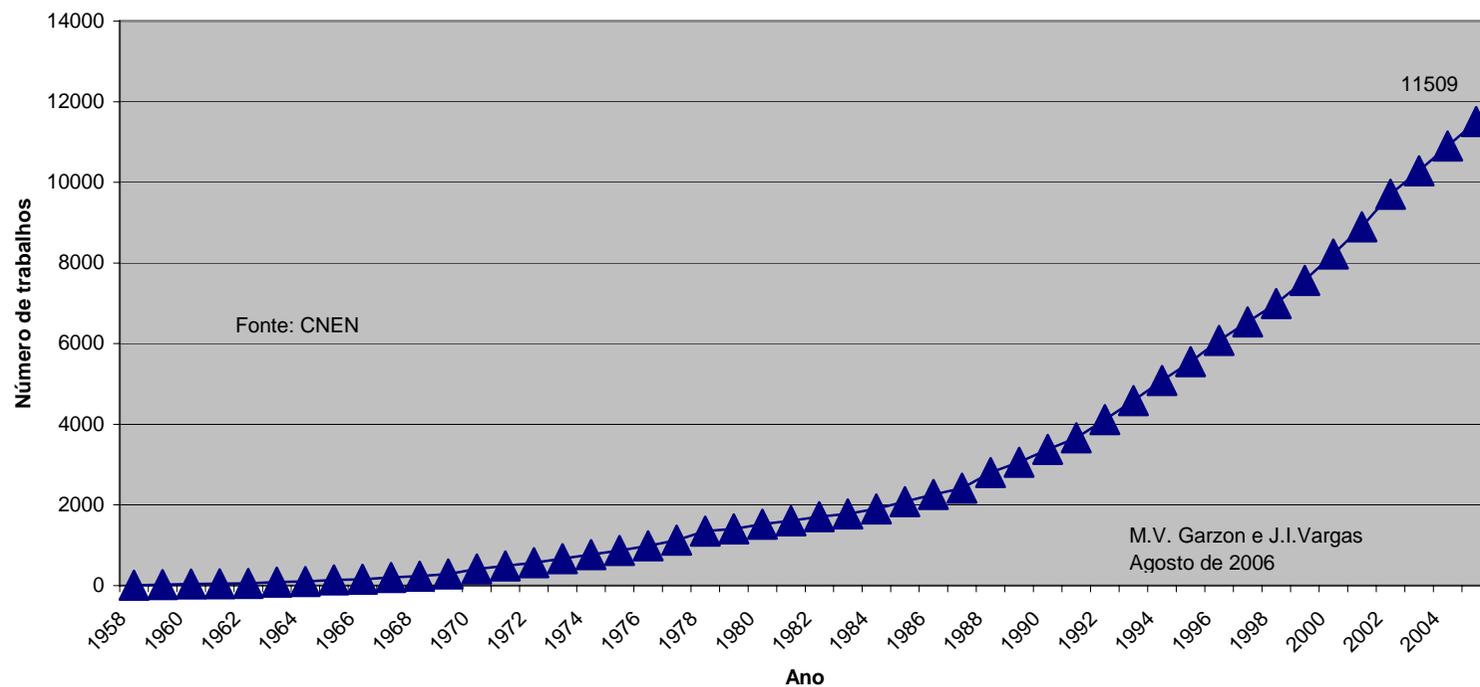


Gráfico VI - Tratamento logístico da evolução da produção técnico-científica do IPEN entre 1958 e 2005.

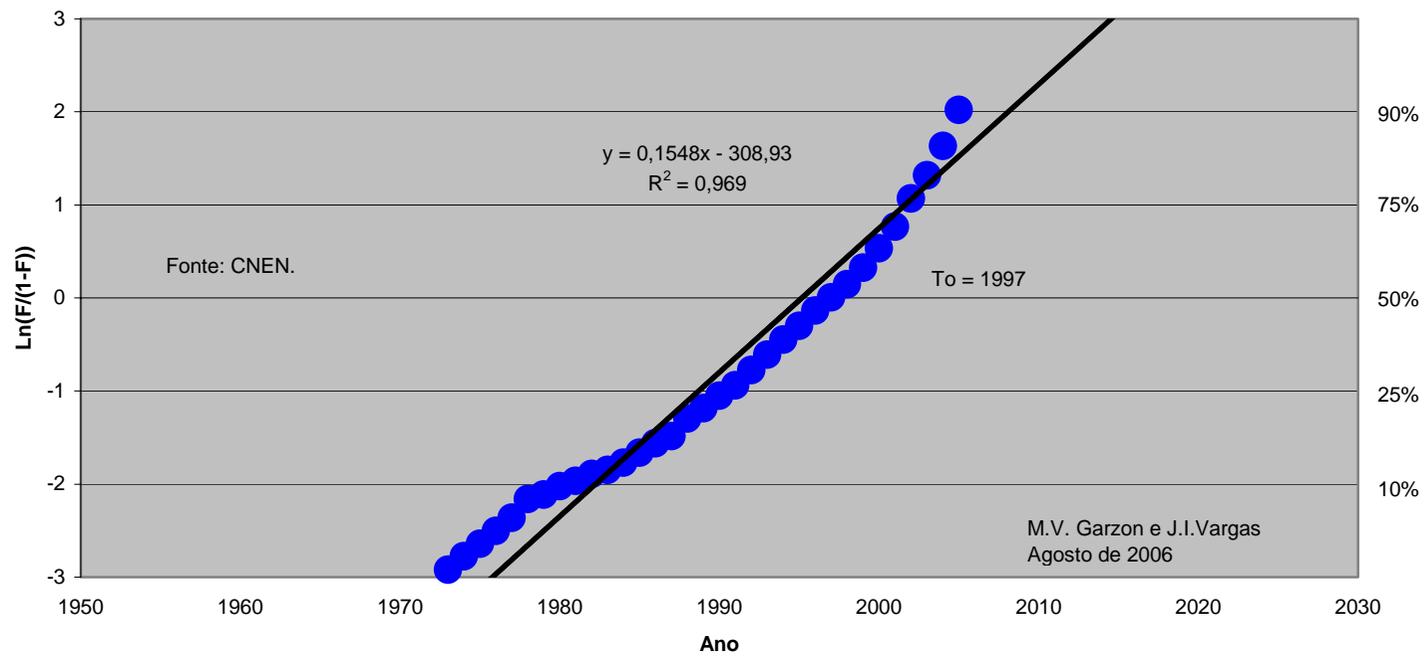


Gráfico VII – Número cumulativo de trabalhos publicados pela CNEN (IEN) entre 1958 e 2005.

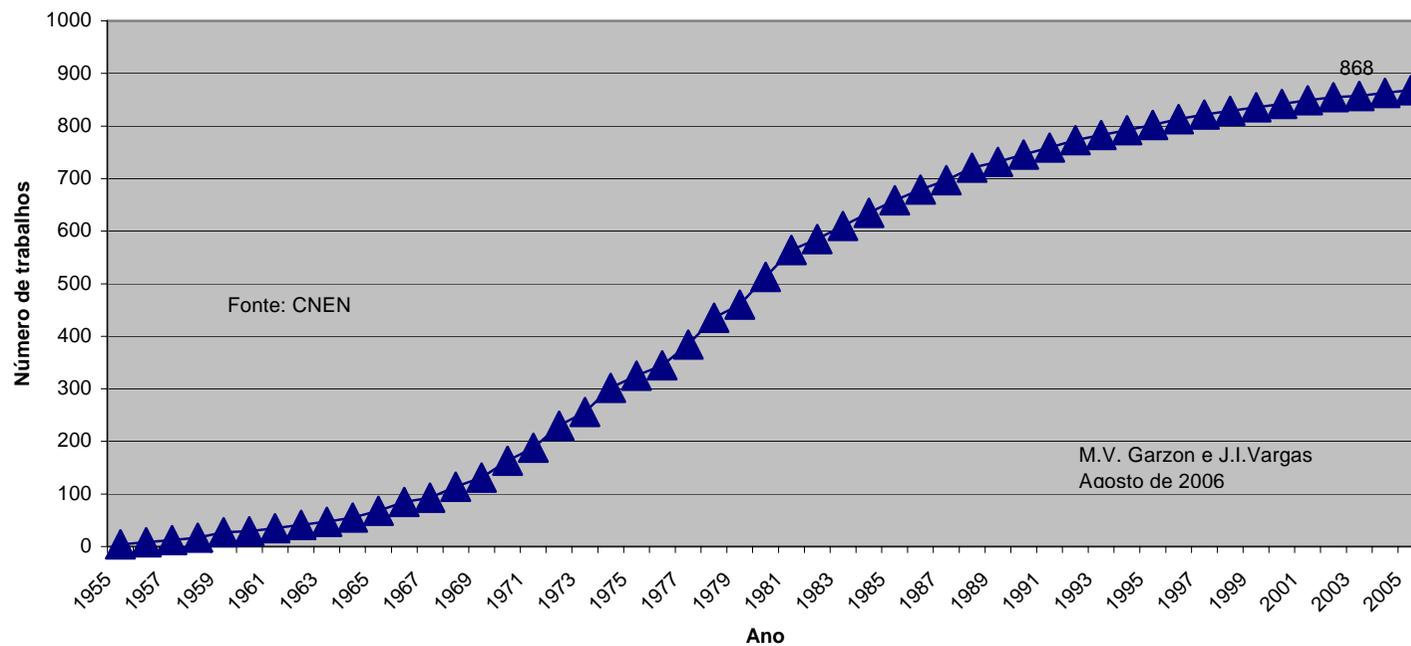


Gráfico VIII - Tratamento logístico da evolução da produção técnico-científica da CNEN (IEN) entre 1958 e 2005.

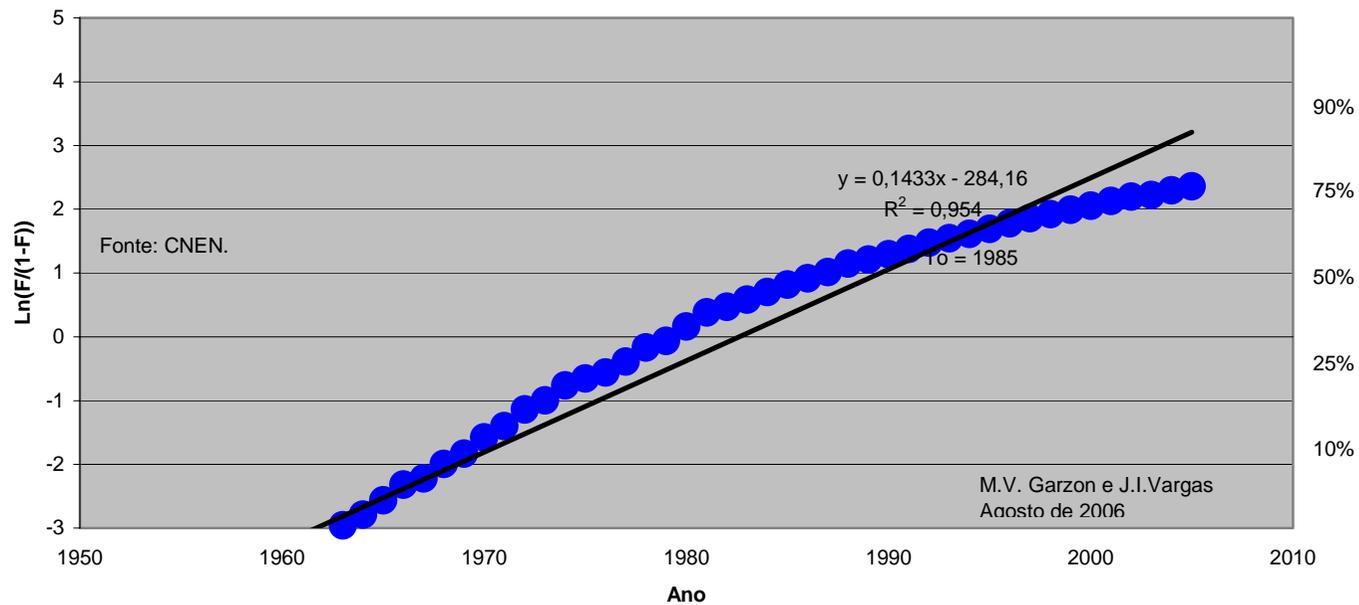


Gráfico IX - Tratamento logístico da evolução da produção técnico-científica da CNEN (IEN) entre 1958 e 1979.

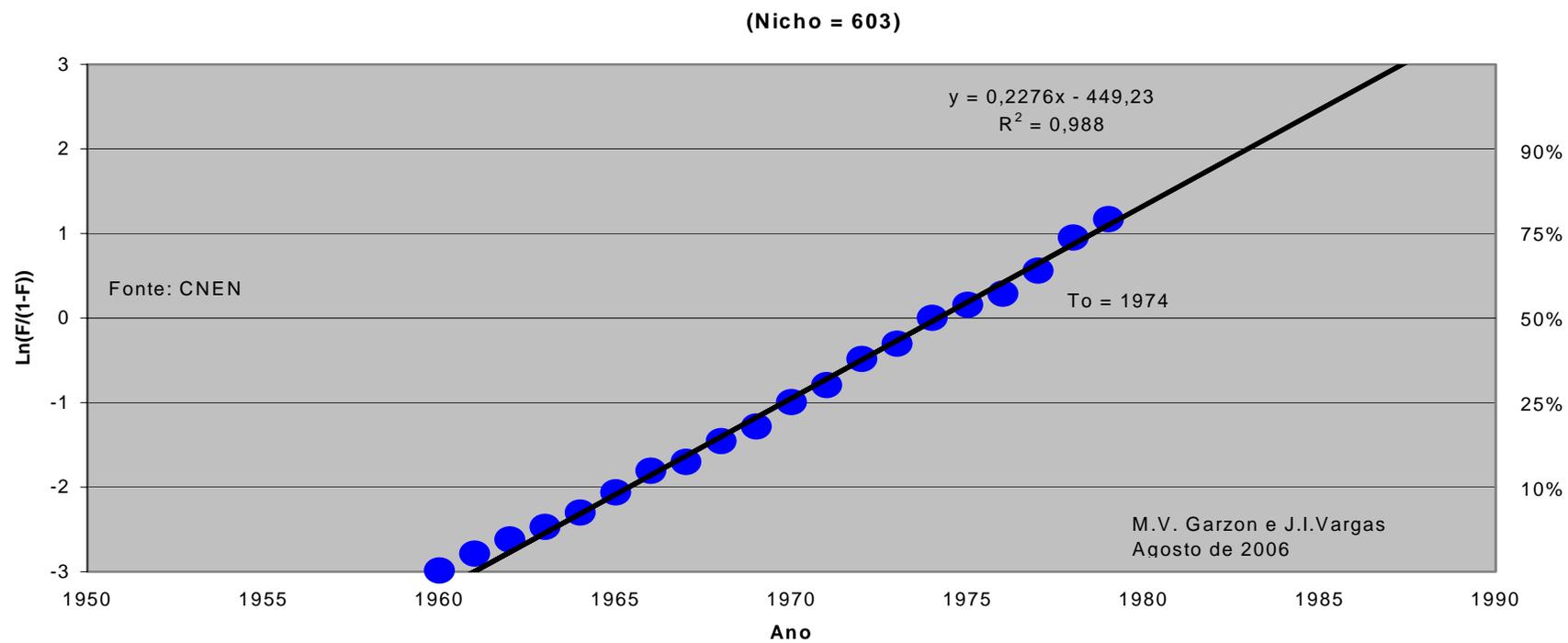


Figura II – Visita André Giraud ao Projeto Tório.



(Fotografia: Acervo do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear)

Gráfico X - Participação das Fontes Energéticas Primárias no Consumo Mundial: (a) até 1985 e (b) atualizado.

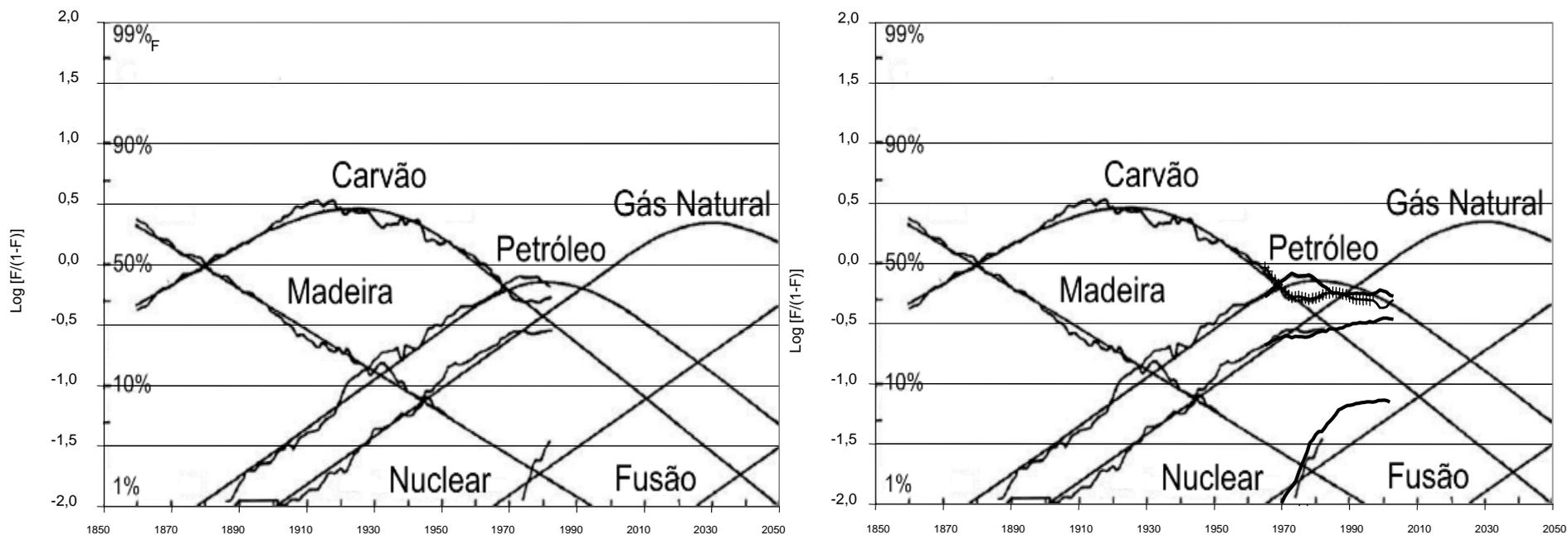


Tabela I – Capacidade Instalada e Produção de Eletricidade por Tipo de Central.

<u>Capacidade Instalada GW (Centrais de Serviço Público)</u>	<u>Ano</u> 2000	2003	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Hídrica	60,1	66,6	89,3	113,4	147,6	193,4	244,5	270,0
Térmica Convencional	6,6	11,7	13,8	16,2	21,3	31,6	51,2	90,5
Nuclear	2,0	2,0	2,0	3,3	5,9	11,1	18,9	35,8
Reatores Nucleares de 1,3GW	2	2	2	3	5	9	15	28
TOTAL	68,7	80,3	105,1	132,9	174,8	236,1	314,7	396,4
<u>Produção Eletricidade TWh (Centrais de Serviço Público)</u>	<u>Ano</u> 2000	2003	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Hídrica	299	297	407	517	673	882	1156	1490
Térmica Convencional	19	22	52	57	66	79	121	293
Nuclear	6	13	11	19	30	45	63	149
TOTAL	324	329	469	593	769	1006	1339	1931

Gráfico XI – Energia Nuclear no Mundo: Parque instalado de Geração Nuclear.

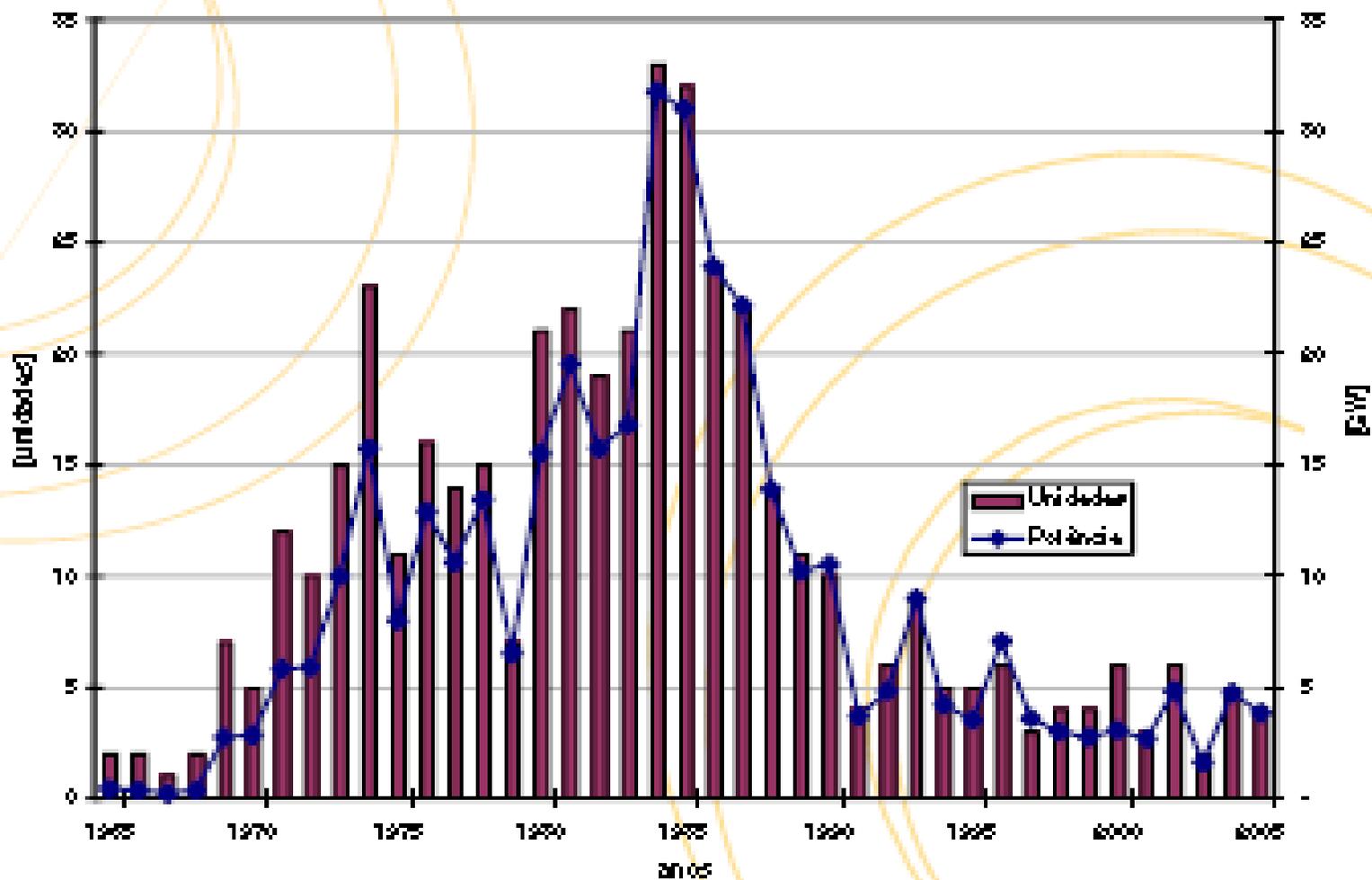
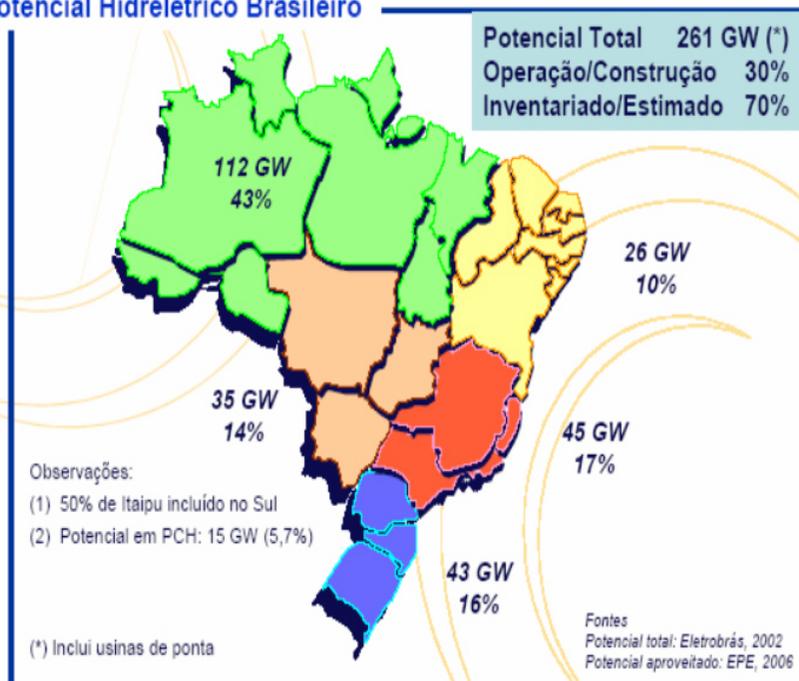
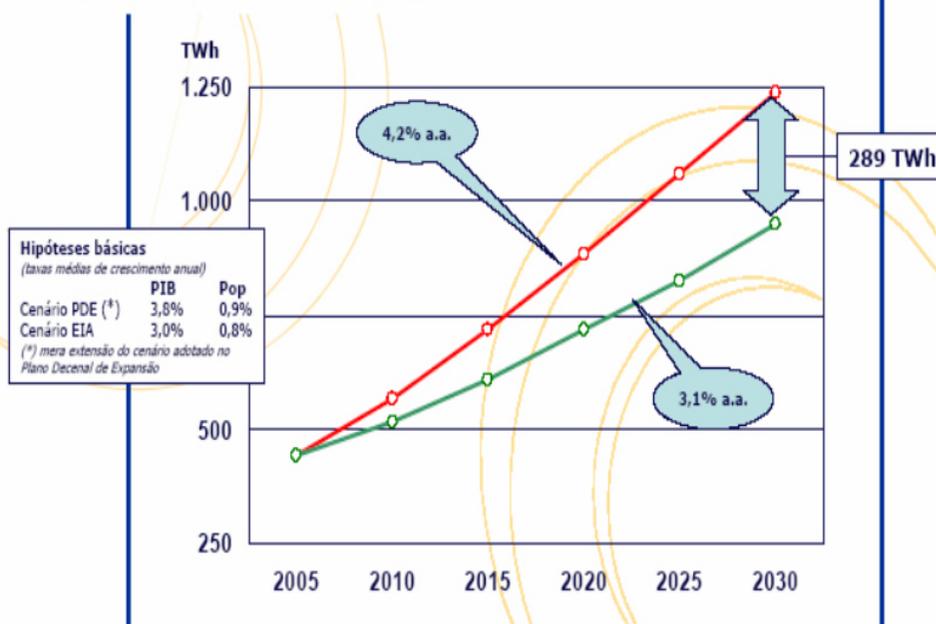


Figura III – A Hidroeletricidade no Brasil e seu crescimento planejado (Plano 2030).

Potencial Hidrelétrico Brasileiro



Crescimento do oferta interna



12- Referências

- (1) BECQUEREL, Henri. **Académie des Sciences**, 24 Fev; 3,9,30 Mars et 18 Mai, 1896.
- (2) HERTZ, H. **Ann. Phys.**, v. 31, p. 983 ,1887. Ver também : HUGHES , A.I. ; DU BRIDGE, I.A.. **Photoelectric phenomena**. New York: McGraw Hill, 1932.
- (3) LEONARDOS, Othon H. In: AZEVEDO, Fernando de. **As Ciências no Brasil**. São Paulo: Edições Melhoramento, 1955. v. 1, cap. 6, p. 276. Ver também PRADO, Luiz Cintra do. In: **A radioatividade nas águas hidrotermais brasileiras**. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, USP, 1938.
- (4) RIBEIRO, J. Costa . In: AZEVEDO, Fernando de. **As ciências no Brasil**. São Paulo: Edições Melhoramento, 1955. v. 1, cap. 3, p. 163.
- (5) GUIMARÃES, Djalma. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, I, n.4, p. 198-200, 1929..
- (6) DUTRA, C. V. **REM: Revista da Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 55, n.3, p. 185 – 192, 2002.
- (7) LATTES, C. M. G., MUIRHEAD, H., OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. Processes involving charged mesons. **Nature**, v. 159, p.694 - 697, 1947.

- (8) SMYTH, Henry de Wolf. **Atomic energy for military purposes**. Disponível em: <<http://www.atomicarchive.com/docs/Smith/Report>>. Acesso em: 16 jun. 2006.
- (9) VARGAS, J. I. **Science in Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2002.
- (10) FARIA, Ninon Machado de. **Direito Nuclear**. Revista da Associação Brasileira de Direito Nuclear, v. 3, n. 2, p. 29, 1981.
- (11) GIROTTO, A. **Direito Nuclear**. Revista da Associação Brasileira de Direito Nuclear, v. 3, n. 2, p. 33 – 37, 1981.
- (12) FORMAN, John M. A. **Direito Nuclear**. Revista da Associação Brasileira de Direito Nuclear, v. 3, n. 2, p. 45-67, 1981.
- (13) LATTES, C.M.G., FUJIMOTO, Y. ; HASEGAWA, S. **Physics Reports**. A review section of Physics Letters, v. 65, n.3, p. 151- 229, Oct. 1980.
- (14) STUDY GROUP MEETING ON UTILIZATION OF RESEARCH REACTORS, 4-8 Nov. 1963, São Paulo. **Proceedings**. Vienna: IAEA, 1965. 2 v.
- (15) AVALIAÇÃO do Programa Nuclear Brasileiro. Relatório ao Presidente da República. Brasília, 17 abr. 1986.
- (16) SANTOS, J.C.; BRITO, S.S. ; MELLO, J.C.; URBAN, C.W. Thorium-cycle possibilities in the Brazilian nuclear programme. In: IAEA. **Utilization of thorium power reactors**. Vienna, 1966. (Technical Reports Series, 52).

- (17) INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS. Thorium Group. **The INSTINTO Project** : a status and progress report on the thorium reactor development program. Belo Horizonte, 1966. (IPR/DER-2) Summary report of the meeting Working Group on Thorium Utilization, IAEA, Vienna, 12-14 Dec., 1966.
- (18) BRITO, S. Salvio; LEPECKI, W.P.S. Preliminary assessment of heavy-water thorium reactors in the Brazilian Nuclear Programme. In :SYMPOSIUM ON HEAVY-WATER POWER REACTORS, 11-15 Sept. 1967., Vienna. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 1968. p. 451-466.
- (19) VARGAS, J. I., The technological prospective: prediction with a simple mathematical modeling. **Economy & Energy**, nrs. 45-46, 2004. Edição em inglês de Economia e Energia.
- (20) SILVA, Othon Pinheiro da; MARQUES, André Luiz Ferreira. O enriquecimento do urânio no Brasil. **Economia & Energia**, n. 54, p.3-9, 2006.
- (21) BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Geração termonuclear. In:__. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília, 14 jun. 2006.
- (22) VARGAS, J. I. **The Brazilian energy scenario and the environment**: an overview. Ciência e Sociedade Séries, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasil, 1992. (CBPF -CS-003/92).
- (23) ALVIM, Carlos Feu ; VARGAS, José Israel Vargas; SILVA, Othon Pinheiro da; FERREIRA, Omar Campos ; EIDELMEN, Frida. Um porto de destino para o sistema elétrico brasileiro - Características dos sistemas elétricos integrados do Brasil e sua projeção até o horizonte de 2005. **Economia e Energia**, n. 49, p. 5, 2005.

- (24) VARGAS, J.I. A Prospectiva tecnológica: previsão com um simples modelo matemático. **Economia e Energia**, n. 45, p. 24, 2005. Gráfico V do presente trabalho, devido a Carlos Feu Alvim e J. I. Vargas.

13- Notas

Nota 1 (p. 8)– É surpreendente que já tivessem sido conhecidas as funções do lítio, elemento usado para a futura produção da bomba de hidrogênio; do chumbo 208 e do cádmio, elemento usado na barra de controle da potência dos reatores. É possível que a referência ao lítio prenda-se à sua utilização como alvo de prótons, produzidos num ciclotron como fonte de nêutrons 3.600 vezes mais intensa do que a da fonte de rádio-berilo, até então a única disponível para a determinação de k , o coeficiente de multiplicação da pilha de urânio-grafite, estudada por Fermi e Szilard.

Nota 2 (p. 9) - A comissão era constituída por: Bernardino de Mattos, como presidente, e Arthur Moses, Bernardo Geisel, Carlos Chagas Filho, Elisiário Távora, Ernani de Motta Rezende, Francisco Maffei, Joaquim Costa Ribeiro, José Leite Lopes, Luiz Cintra Prado, Marcello Damy de Souza Santos e Luiz Pilla.

Nota 3 (p. 12) - A CNEN, desde sua criação há 47 anos até os dias atuais, esteve subordinada a várias instâncias administrativas. Até 1967, à Presidência da República; entre 1967 e 1986, ao Ministério de Minas e Energia (Decreto nº 60.900/67); de 1986 a 1999 à Presidência da República (Secretaria de Assessoramento da Defesa Nacional, SADEN/PR, Secretaria de Assuntos Estratégicos, SAE/PR e Ministério Extraordinário de Projetos Estratégicos, MEPE/PR, conforme os decretos nº 93.337/86 e nº 2.823/99 e Lei nº 8.028/90); e finalmente, a partir de 1999, ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MP nº 1.911/99). É claro que tão variada vinculação não deixa de refletir as grandes flutuações de nossa política nuclear.

Nota 4 (p. 14) - A Cooperação com a França intensificou-se com a visita do autor deste trabalho àquele país em 1961, a convite de Jean Debièsse, então diretor do Laboratório de Saclay, vinculado ao Comissariado de Energia Atômica francês, que nos visitara naquele ano. A par de missões de dezenas de técnicos e cientistas brasileiros à França, seguiu-se a vinda de especialistas franceses em todas as áreas envolvidas com o projeto de construção de centrais nucleares, a serem alimentadas por urânio natural metálico como combustível, moderadas a grafite e refrigeradas a gás carbônico. Essa cooperação no domínio dos reatores de potência foi interrompida em 1964 e retomada, com muito menor intensidade, no âmbito do Projeto Tório, concebido no IPR, que durou até fins de 1973, quando o Brasil optou pela aquisição de um reator a água pressurizada e urânio enriquecido (PWR) dos Estados Unidos (Angra I). Ver também nota 8.

Nota 5 (p. 16) – A comissão encarregada da formulação do regime de salvaguardas, de que participava o Brasil, permaneceu bloqueada: a URSS manifestava-se contra o sistema de inspeção, que inquinava ser mero instrumento de espionagem; a França abstinha-se, alegando prejuízos ao desenvolvimento de seu próprio programa; os países em desenvolvimento, como a Índia, o Brasil e o Irã, opunham-se aos referidos mecanismos por considerá-los discriminatórios e prejudiciais aos seus interesses. Recordo que, em consequência da explosão da

série de bombas atômicas chinesa, tanto a França quanto a URSS vieram a aderir à maioria dos dispositivos do sistema de salvaguardas. Superou-se, pois, a dificuldade criada à implantação do sistema de inspeções, ao mesmo tempo eximindo-se deles as potências do clube atômico. Esse privilégio beneficia tanto as pioneiras do sistema como, em seguida, os países não signatários do Tratado de não Proliferação Nuclear (TNP), como a Índia, o Paquistão e Israel.

A junta de governadores da AIEA era constituída de três grupos de países: os membros do Clube Atômico, possuidores de armas nucleares; os países detentores de importantes reservas de minérios atômicos em seu próprio território ou em suas colônias; e os países mais adiantados de cada continente. O Brasil fazia parte do último grupo, devido a sua participação ativa e independente, bem como seu grau de desenvolvimento, desde os primórdios da era nuclear. Nosso País, entretanto, teve contestada pelos Estados Unidos sua condição de *país mais avançado* da região; o governo dos EUA propôs que nossa participação na AIEA fosse em rodízio com a Argentina. Para isso, a Junta de Governadores da AIEA designou um comitê de três membros, presidido pelo físico Gunnar Randers, para ouvir as delegações: a argentina, dirigida pelo Almirante Quihillalt, assistido por três especialistas, e a brasileira, chefiada pelo professor Marcelo Damy de Souza Santos, assessorado por F. B. Franco-Netto, Luiz Cintra do Prado e pelo presente autor. A comissão reuniu-se com os interessados em Paris, durante um mês, para formular recomendação conclusiva sobre a questão à Junta de Governadores. Como era fácil prever, a comissão técnica não chegou a qualquer resultado, devolvendo o assunto à Junta. Segundo o regimento da Agência, a decisão seria obtida através de votação. A avaliação dos votos sugeria provável vitória do Brasil, que, no entanto, foi impedida de efetivar-se pela renúncia à nossa candidatura, na última hora, por instrução do governo. Desde então o Brasil participa da junta de governadores em rodízio com a Argentina. (Board of Governors, International Atomic Energy Agency, GOV/INF/ 74, 2 Jul 1962.)

Nota 6 (p.16) – Os diversos acordos destinados ao controle da produção, uso e testes nucleares foram os seguintes:

1º) Agosto de 1963: Tratado que proíbe testes com armas nucleares na atmosfera, no espaço exterior e nos oceanos.

2º) Fevereiro de 1967: tratado de Tlatelolco, que proíbe armas nucleares na América Latina e no Caribe, somente efetivado, após várias peripécias, em 1994.

3º) Julho de 1968: Tratado sobre a não proliferação de armas nucleares (TNP), que proíbe os cinco detentores oficiais de armas nucleares de repassar material e tecnologia a outros países. Estes, por sua vez, se comprometem a não produzir bombas nucleares.

4º) Fevereiro de 1971: Proíbe testes de armas nucleares e armas de destruição em massa no fundo dos oceanos e nos subsolos.

5º) Maio de 1972: Acordo entre Estados Unidos e União Soviética sobre limitação dos sistemas de mísseis anti-mísseis balísticos.

6º) Junho de 1973: Acordo entre Estados Unidos e União Soviética sobre a prevenção da guerra nuclear.

7º) Junho de 1979: Estados Unidos e União Soviética assinam acordo que limita o crescimento qualitativo e quantitativo de armas nucleares estratégicas.

8º) Abril de 1995: O Conselho de Segurança da ONU garante assistência às nações não-nucleares signatárias do TNP que sejam objeto de ameaça ou ataque nuclear.

9º) Setembro de 1996: Tratado de proibição de testes nucleares, ao qual aderiram 155 países recusaram-se a aderir a Índia, o Paquistão e a Coreia do Norte.

10º) Maio de 2000: As cinco grandes potências nucleares assinam um acordo destinado a realizar “esforço para eliminar totalmente seus arsenais nucleares”.

11º) Dezembro de 2003: O Irã assina o “protocolo adicional” ao TNP; a Líbia anuncia ao mesmo tempo que renuncia ao desenvolvimento de armas de destruição em massa.

12º) Fevereiro de 2004: A Coreia do Norte anuncia que possui bomba nuclear.

Nota 7 (p.21) – Em consequência dessa visita e de minha posição favorável ao desenvolvimento autônomo do ciclo de combustível no Brasil, utilizando o tório, segundo informação fidedigna o Conselho de Segurança Nacional propôs e

obteve um decreto secreto que proibiu a Comissão Nacional de Energia Nuclear de manter relações com o presente autor.

Nota 8 (p. 22) - Equipe do Grupo do Tório em dezembro de 1966: Wiltold Piotr Stefan Lepecki, Carlos Márcio Mascarenhas Dale, Sérgio de Salvo Brito, Jair Carlos Mello, Carlos Alberto Ferreira Lima, Fernando Antônio Nogueira Carneiro, José Mendonça de Lima, Ricardo Brant Pinheiro, Carlos Werth Urban, Walkírio Ronaldo Andrada Lavorato, Paulo de Carvalho Tófani, Paulo Márcio Furtado, João Luiz Campos, Juarez Távora Veado, Paulo M. Guedes, Serafim M. Lages, Guido Afonso Lages e Borisas Cimberis. Em 1967, a equipe era constituída dos seguintes profissionais: Jair Carlos Mello, Ricardo Brant Pinheiro, Carlos Alberto Ferreira Lima, Fernando Antônio Nogueira Carneiro e José Mendonça de Lima, Carlos Márcio Mascarenhas Dale, Carlos Werth Urban e Walkírio Ronaldo Andrada Lavorato, Paulo Márcio Furtado e Paulo de Carvalho Tófani, João Luiz Campos, Juarez Távora Veado, Paulo M. Guedes, Serafim M. Lages, Guido Afonso Lages e Borisas Cimberis. Participaram também, os estudantes de pós-graduação: M.S.B. Faria, L.F.B.M. Campos, M. E. L. Torres, G.P. Guimarães, Eustáquio Van Petten Machado e José Eduardo Morais Filho.

Nota 9 (p. 22) - Por pior que tenha sido a política então implantada pela CBTN, ao provocar a migração de muitos técnicos e cientistas para a Universidade, permitiu que eles liderassem a criação de 6 cursos de pós-graduação de alto nível em Metalurgia, Física, Ciência da Computação, Ciências e Técnicas Nucleares, Engenharia Térmica e Química. Um bom número de especialistas dessas áreas desempenharam importantes papéis no desenvolvimento dos setores de tecnologia industrial básica (qualidade industrial, sob a liderança do professor Juarez Távora Veado, originário da área de Metalurgia da Universidade Federal de Minas Gerais e do IPR), bem como na formulação de políticas públicas para a área do Meio Ambiente (criação da COPAM, Comissão de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais). Também foi notável a participação dos engenheiros egressos do setor nuclear no desenvolvimento do Programa Nacional do Álcool; ironicamente, eles contribuíram, como membros da Fundação João Pinheiro, para

a formulação de um programa de formação de pessoal para a área nuclear (o Pró Nuclear), atendendo a apelo do próprio Presidente Ernesto Geisel, realizado durante almoço ocorrido no Clube do Congresso Nacional, durante os trabalhos da Comissão de Inquérito do Senado Federal sobre o Programa Nuclear Brasileiro. Essa comissão foi presidida pelo então senador Franco Montoro. O Pró Nuclear, gerido pelo CNPq, foi bastante bem sucedido e constituiu-se em importante auxílio ao atendimento da grande demanda de pessoal criada pelo futuro acordo nuclear com a Alemanha.

Nota 10 (p. 24) - Provavelmente o IPEN escapou dessa medida arbitrária não tanto por ser autarquia estadual, mas por já estar envolvido em outros projetos excluídos das imposições das regras de salvaguardas da AIEA, aplicadas à NUCLEBRÁS e logo ao CDTN e ao IE, que se tornaram partes integrantes dessa empresa. Isso permitiu ao IPEN, que permaneceu ligado à CNEN, estabelecer cooperação com a Marinha Nacional, a partir de 1978, para o desenvolvimento da tecnologia de ultracentrifugação. Segundo o acordo com a Alemanha, o CDTN destinava-se à absorção da tecnologia de enriquecimento prevista no acordo, que era, como se sabe, muito limitada. (Ver referência 15, onde é também relatada a iniciativa do Centro Técnico da Aeronáutica de obter o enriquecimento isotópico do urânio pelo uso de lasers).

Nota 11 (p. 28) - A Comissão de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro foi presidida pelo autor deste trabalho, ocupando a vice presidência o professor Oscar Sala. Compunham-na os senhores: Alberto Pereira de Castro (IPT), Caspar Erich Stemer (UFSC), Eduardo Penna Franca (UFRJ), Fernando Cláudio Zawislak (UFRGS), José Ephim Mindlin (Metal Leve), José Pelúcio Ferreira (FINEP), Luiz Renato Caldas (UFRJ), Paulo Francini (FIESP), Marcelo Damy de Souza Santos (IEA e USP), Ramayana Gazzinelli (UFMG), José Leite Lopes (CBPF e representando o MCT), José Guilherme Araújo Lameira Bittencourt (IBQN), Luiz Augusto de Castro Neves (Secretaria do CSN), Roberto Rodrigues Krause (MRE), José Wanderley Coelho Dias (Nuclebrás). Foram ainda convidados para acompanhar os trabalhos da comissão, como observadores, representantes da

Secretaria do Planejamento da Presidência da República, do Ministério da Fazenda e do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.

A comissão alertou, em sua recomendação número 4, que “À vista do adiantado estágio de avanço dos programas nacionais de aplicações pacíficas da energia nuclear no Brasil e na Argentina, que são largamente equivalentes, buscar intensificar a cooperação nuclear bilateral visando, *inter alia*, a promoção de empreendimentos conjuntos no campo dos usos pacíficos da energia nuclear, bem como o estabelecimento gradual de um mecanismo de inspeção mútua de tais atividades, nos dois países”.

NOTA 12 (p. 36) – Três quadros de consolidação de investimentos no ciclo de combustível nuclear e nas usinas nucleares.

QUADRO I				
CONSOLIDAÇÃO DOS INVESTIMENTOS				
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR				
(US\$ 10 ³)				
Instalação	Realizado	A realizar	Total	% Realizada
Complexo Industrial de Poços de Caldas	235.985	*	235.985	100
Complexo Industrial de Itataia	36.340	194.070	30.410	16
Complexo Industrial de Lagoa Real	19.940	16.000	181.940	11
Usina de Conversão	11.500	57.00	68.700	17
Fábrica de Elementos de Separação	13.177	3.186	16.363	81
Usina de Enriquecimento	280.920	47.930	328.850	85
Fábrica de Elementos Combustíveis	3.804	22.159	54.963	60
Usina de Reprocessamento	66.648	338.631	405.279	16
Total Ciclo de Combustível	697.314	825.1761	522.490	54

Fonte: CAPNB (1986)

*Excluídos os Custos Financeiros

QUADRO II		
CONSOLIDAÇÃO DOS INVESTIMENTOS		
USINAS NUCLEARES		
(US\$ 10³)		
Usina	Realizado até 12/1985	A realizar após 12/1985
Angra I		
Total	2.752	-
Direto	1.670	-
Financeiro	1.082	-
Angra II		
Total	1.961	2.428
Direto	1.401	776
Financeiro	560	1.652
Angra III		
Total	665	2.842
Direto	4801.180	-
Financeiro	185	1.662

QUADRO III			
CONSOLIDAÇÃO DOS INVESTIMENTOS			
(US\$ 10³)			
Atividade	Realizado	A Realizar	Total
Ciclo do Combustível Nuclear	697.314	825.176	1.522.490
Angra I, II e III	3.551.000	1.956.000	5.507.000
Total	4.248.314	2.781.176	7.029.450

14 –Anexos

Anexo I

Como sabemos, o Professor Magalhães Gomes gerou vasta prole, tanto biológica como intelectual e moral. Incluo-me entre seus “filhos” intelectuais e, como outros, alegro-me de ter gerado um grande número de “netos” científicos daquele eminente Mestre.

Está discriminada a seguir a lista, provavelmente incompleta, pela qual sou responsável e que inclui alguns de seus “bisnetos” intelectuais. A relação contém pesquisadores em química dos sólidos, química nuclear e física.

Teses de Mestrado e de Doutorado decorrentes da criação do IPR, especialmente em

Físico-Química dos Sólidos e Química Nuclear (*)

	Nome	Instituição	Título	Ano
[1]	José Israel Vargas	Cambridge University	The annealing reaction of irradiated chromates	1959
[2]	Elias Mansur	UFMG	Contribuição ao estudo de Sr-90 em materiais biológicos	1962
[3]	José Israel Vargas	UFMG	Contribuição ao estudo das conseqüências físico-químicas da captura radiativa de nêutrons térmicos nos sólidos (Tese Catedrático)	1964
[4]	Pierrette Odru	USMC	Étude de méthodes de mesure absolue de sources radioactives	1967
[5]	Ruy Magnane Machado	USMG	Considérations sur les transitions électroniques dans les gaz	1968
[6]	Geraldo Aurélio Cordeiro Tupynambá	UFMG CNEN	Análise de rotina de urânio e tório pelo método dos nêutrons retardados	1969
[7]	Gilles Duplatre	USMG	Conséquences chimiques de la capture radiative des neutrons sur le séléniate de potassium	1969
[8]	Annie Tissier	USMG	Étude des conséquences chimiques de la capture neutronique dans le tropolonate d'hafnium , par les corrélations angulaires perturbées	1970
[9]	Elzi de Oliveira Fantine	UFMG	Estudo de isomerização do trifluoroacetilacetato de cromo: cinética, termodinâmica e mecanismo	1970
[10]	Jesus de Oliveira	USMG	Applications des corrélations angulaires perturbées à l'étude des composés solides du hafnium et du selenium	1970

[12]	Paul Vulliet	USMG	Etude des conséquences chimiques de la capture neutronique dans quelques chelates solides neutres du hafnium, par la méthode radiochimique et par les corrélations angulaires perturbées.	1970
[12]	Alexandre O. R. Sette-Câmara	USMG	Étude par corrélation angulaire perturbée du couplage statique et dynamique du ^{181}Ta dans quelques composés fluorés du hafnium	1971
[13]	Pierre Boyer	USMG	Application de la corrélation angulaire perturbée à l'étude du couplage quadrupolaire dans les solides.	1971
[14]	Afonso Celso Guimarães	UFMG	A decomposição térmica do trisacetilacetato de cobalto(III)	1972
[15]	Amélia Maria Gomes do Val	UFMG	Estudo espectroscópico e comportamento térmico dos dipivalometanatos de zircônio (IV), urânio (IV) e uranila	1972
[16]	Constantin Dimitropoulos		Contribution à l'étude des effets d'irradiation sur des cristaux ioniques et moléculaires	1972
[17]	Heloiza Helena Ribeiro Schor	UFMG	Consequências físico-químicas da captura radiativa de nêutrons térmicos no tris-N-benzoil N-fenil hidroxilaminato de cromo(III) sólido	1972
[18]	José Caetano Machado	Universite Catholique de Louvain	Le comportement du dimethylsulfoxyde sous l'action des radiations ionisantes	1972

[19]	Alain Chappe	USMG	I: Structure électronique moléculaire et propriétés de transport à l'état solide des trisacétylacétonates des métaux de transition. II: Covalence et transfert de charge dans les cristaux purs et mixtes de chlorates alcalins	1973
[20]	Ana Maria Pimenta R da Luz	UFMG	Estudo da decomposição térmica e radiolítica do tris-N-benzoil-N-fenilhidroxilaminato de cromo (III)	1973
[21]	Helion Vargas	USMG	Étude de effect impurité dans les solides ioniques par la resonance quadrupolaire nucléaire	1973
[22]	Jane Maria Netto de Magalhães Alves	UFMG	Análise diferencial de urânio e tório por um método de nêutrons retardados	1973
[23]	Antonio Marques Netto	ULPS	Effet Szilard-Chalmers sur quelques complexes de hafnium: étude radiochimique et application de la méthode des corrélations angulaires perturbées	1974
[24]	Armando Lopes de Oliveira	UFMG	Estudo de fluorohafnatos de amônio e de sódio por correlação angular perturbada	1974
[25]	Christian Jeandey	USMG	Utilisation de l'effet Mössbauer en ligne pour une contribution à l'étude des défauts de recul dans les solides	1974
[26]	Gilles Duplâtre	USMG	Étude des conséquences physico-chimiques de la capture radiative des neutrons das les séléniates alcalins	1975

[27]	Jean-Paul Mathieu	USMG	Étude de défauts dans les solides. I-effets chimiques associés à la réaction (n, gamma) et à la capture électronique; II-déshydratation du chlorate de baryum monohydrate	1975
[28]	Milton Francisco Jesus Filho	UFMG	Estudo da influência de impurezas nas consequências físico-químicas da captura de nêutrons térmicos no selenato de potássio.	1975
[29]	Pierre Auric	USMG	Etude de l'interaction monopolaire noyau-cortège électronique par la méthode des variations du taux de désintégration d'un isotope radioactive	1975
[30]	Carlos Feu Alvim	USMG	Messure des distributions en masse et en charge dans la fission à moyenne énergie par une méthode d'émanation.	1975
[31]	Fernando Lobo Vaz de Mello	USMG	Contribution à l'étude d'une structure pour l'amplification et la localisation de photoelectrons associant un tube à vide et une cible à semiconducteurs.	1975
[32]	Mauro Mendes Braga	UFMG	Decomposição térmica do sistema N-benzoil-N-fenilhidroxilaminato de Cr(III) – benzanilida	1976
[33]	William George Dodd	UFMG	Físico-química da interação soluto-solvente em cristais moleculares: difusão de pequenas moléculas polares nos tetratropolonatos de háfnio e zircônio	1976
[34]	Rubem Braga	UFMG	Difusão do hélio em algumas pedras semi-preciosas: parâmetros cinéticos e implicações crono-geológicas	1976

[35]	Clotilde Otília Barbosa de Miranda Pinto	UFMG	Estudo físico-químico de alguns complexos de molibdênio – estruturas molecular e cristalina de complexos de cobre, níquel e molibdênio	1977
[36]	José Domingos Fabris	UFMG	Correlação angular perturbada: aplicação ao estudo de complexos do háfnio 181.	1977
[37]	Benedito Francisco Rodrigues	UFMG	Cinética da decomposição térmica dos complexos N-benzoil-N-fenilhidroxilaminatos de Fe(III) e In(III) no estado sólido	1978
[38]	Dorila Pilo Veloso	USMG	Etude par résonance paragnétique életctronique de l'association em solution d'espèces neutres ou chargées marquées par des nitroxydes. Synthèse d'hétérocycles azotés.	1978
[39]	Heloisa de Oliveira Beraldo	UFMG	Comportamento térmico do quelato tris-N-benzoil-N-fenilhidroxilaminato de ferro(III)	1979
[40]	Fausto Mafra Neto	UFMG	Utilização da fluorita natural como dosímetro	1980
[41]	Paul Vulliet	USMG	Applications physico-chimiques de la méthode des corrélations angulaires gamma-gamma	1980
[42]	Armando Lopes de Oliveira	USMG	La diffusion de l'oxygène dans la zircone et la cérine dopées. Étude à l'aide d'une sonde locale : la corrélation angulaire gamma-gamma du ^{181}Ta	1981
[43]	Hyedda Nancy Sander Mansur	UFMG	Comportamento radiolítico e estabilidade térmica de n,n,-leis(2-aminoetil)malondiamida de cobre(II) e níquel(II)/	1981

[44]	Lilavate Izapovitz Romanelli	UFMG	Estudo do efeito da substituição de Fe e Cr por Mg e Al na estabilidade estrutural de cromitas sintéticas	1983
[45]	Mauro Mendes Braga	UFMG	Estudo do comportamento térmico, no estado sólido, de alguns complexos de Cr(III), Fe(III) e Co(III): testes de modelos cinéticos	1989
[46]	Regina Simplício Carvalho	UFMG	Influência da natureza do ligante e dos defeitos extrínsecos sobre o comportamento do pósitron em complexos metálicos em fase sólida	1998

CNEN = Comissão Nacional de Energia Nuclear

UFMG = Universidade Federal de Minas Gerais

ULPS = Université Louis Pasteur (Strasbourg, France)

USMG = Université Scientifique et Médicale de Grenoble (France)

(*) Os trabalhos datados de 1975 em diante foram concluídos após o meu regresso ao Brasil, em 1972, havendo eu, todavia, participado das respectivas comissões examinadoras de tese. Os srs. Boyer, Chappe, Jeandey e Vuillet, bem como a sra. Auric, fizeram parte de seus trabalhos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Anexo II
Carta ao Presidente da República

Em 29 de maio de 1992
E-009/92

Excelentíssimo Senhor
Doutor FERNANDO COLLOR DE MELLO
M.D. Presidente da República Federativa do Brasil
Palácio do Planalto
70159 – 970 – Brasília, DF

Senhor Presidente,

A imprensa tem veiculado noticiário de que o Governo Federal brevemente editaria Medida Provisória reestruturando o setor nuclear, em particular, transferindo a Comissão Nacional de Energia Nuclear e suas empresas controladas, para o âmbito do Ministério de Minas e Energia.

Permita-me V. Excia. recordar que a Comissão de Avaliação do Programa Nuclear, criada pelo Decreto nº 91.606 de 2 de setembro de 1985, e que tive a honra de presidir, ao examinar detidamente a estrutura institucional do setor, recomendou que a Comissão Nacional de Energia Nuclear, a vista de sua atribuição legal de normalizar, fiscalizar e licenciar todas as atividades e instalações nucleares, deveria adquirir autonomia plena no Ministério de Minas e Energia, de seu lado a autoridade executora, a que ficaria inconvenientemente subordinado todo o setor. Nestas condições as atividades normativas licenciadoras e fiscalizadoras ficariam a nosso juízo afetadas a novo Órgão, vinculado a Presidência da República, que se denominaria Comissão Nacional de Radioproteção e Segurança Nuclear.

Além disso, este Órgão teria Presidente nomeado pelo Presidente da República, com aprovação do Senado Federal e com mandato não coincidente com o do Poder Executivo e contando ainda com um Conselho Deliberativo, composto de representantes tanto do Governo quanto da Sociedade, paritariamente.

Em diversas oportunidades expressivas vozes da Sociedade Civil – notadamente na área científica – tem manifestado apoio a essa recomendação. Trata-se da aplicação do princípio elementar de administração de que quem executa não fiscaliza.

A aplicação deste princípio é especialmente oportuna no Setor Nuclear a vista da possibilidade de graves acidentes na área tornando pois indispensável o exercício de fiscalização independente.

Cabe ainda recordar que o Congresso Nacional através da Comissão Mista criada pela Resolução 001/90, de 19 de abril de 1990, igualmente recomendou desmembramento das atividades da atual CNEN, reservando à Secretaria de

Assuntos Estratégicos o caráter normativo e fiscalizatório e, à Secretaria de Ciência e Tecnologia a execução de programas de pesquisa e desenvolvimento,

Vice-Presidente no
Exercício da Presidência

de maneira a resguardar a independência exigida universalmente, pelas razões apontadas.

Cabe pois reiterar respeitosamente a recomendação para que sejam ponderadas positivamente as sugestões da Comissão de Avaliação do Programa Nuclear, no sentido de adoção de estrutura institucional adequada a salvaguarda da independência de órgão próprio encarregado de velar pela segurança nuclear, para cuja criação conta a comunidade científica, com o alto discortínio de Vossa Excelência.

Na oportunidade apresento a Vossa Excelência protestos de estima e elevada consideração.

Atenciosamente,

JOSÉ ISRAEL VARGAS

**CONFERÊNCIA: Francisco de Assis Magalhães Gomes: Homem de
Ciência e Humanista**

Conferencista: Prof. Ramayana Gazzinelli

Tem uma carreira densa de realizações nas áreas científica e universitária. Foi chefe da Divisão de Física e integrante do Conselho Técnico-Científico do IPR, atual CDTN, professor do Departamento de Física do ICEx/UFMG, professor emérito da UFMG. Pelo conjunto de sua obra científico-tecnológica recebeu o título de pesquisador emérito do CNPq.

Francisco de Assis Magalhães Gomes: Homem de Ciência e Humanista

Ramayana Gazzinelli

G. H. Hardy, um dos principais matemáticos britânicos da primeira metade do século XX, muito conhecido com autor do admirável ensaio *Apologia de um Matemático*, comentou certa vez que achava esquisito que a palavra *intelectual* não se aplicasse a pessoas como J. J. Thomson, descobridor do elétron, Rutherford, que descobriu o núcleo atômico e ele próprio. C. P. Snow, que foi físico e romancista, aproveitou esse comentário de Hardy para escrever o perspicaz artigo *As Duas Culturas*, em que discute a tensão existente entre a cultura tradicional das humanidades e a cultura científica.

Francisco de Assis Magalhães Gomes, com domínio sólido da física clássica, tendo sido catedrático na Escola Nacional de Minas de Ouro Preto e na Escola de Engenharia e na Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais, pertenceu a essa categoria especial e rara de *homem das duas culturas*. Durante toda a vida leu e releu com prazer e afeto, entre muitos outros clássicos, os cronistas portugueses dos séculos XIV a XVI, o Padre Antônio Vieira, *Os Lusíadas* a *Divina Commedia*, *Don Quijote de la Mancha*, as *Memórias* de Saint Simon, *Le Rouge et le Noir* de Stendhal, seu romance preferido. Era capaz de citar trechos dessas obras, na língua original, graças a sua esplêndida memória.

Fui aluno de Magalhães Gomes na cátedra de física da Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais em 1952 e guardo a melhor lembrança dele como professor: o entusiasmo, a movimentação constante na sala de aula, que, às vezes interrompia para, muito de perto, fixando os olhos nos olhos de algum aluno, dirigir-se diretamente a ele com a voz fanhosa característica. Lembro-me sobretudo, da demonstração de vasta cultura que transbordava naturalmente nas aulas. Gostava de citar o aforismo: *engenharia é física mais bom senso*. No início de uma aula

encontrou o aforismo escrito no quadro negro, de forma matematicamente correta, porém com sentido deturpado: *física é engenharia menos bom senso*. A lição que nos dá essa historieta é que devemos ter cuidado no emprego da matemática!

Naquele ano em que o conheci, Magalhães Gomes entraria para a Academia Brasileira de Ciências, tendo sido eleito no ano anterior, e preparava um estudo sobre Leonardo da Vinci, que apresentaria na solenidade de posse. Lembro-me bem que em todas as oportunidades dissertava sobre esse notável homem do renascimento, que era mais artista e engenheiro do que cientista, como se costuma, às vezes, erroneamente descrevê-lo. Vale a pena lembrar a interessante carta de Leonardo ao Duque Ludovico Sforza de Milão, pleiteando uma posição na corte, na qual listava dez coisas que seria capaz de fazer. Nove delas se referiam a tecnologia de guerra e a décima a obras de paz, como aquedutos e edifícios públicos. Fora da lista de aptidões, acrescentava que era também capaz de pintar e esculpir. Na verdade, até a revolução científica dos séculos XVI e XVII, ciência e tecnologia percorreram caminhos separados. Catedrais, fortificações, moinhos e armas da idade média são obras de pura tecnologia.

Escolhera, talvez, Leonardo da Vinci como objeto de estudo por essa razão. Magalhães Gomes se orgulhava de sua formação técnica como engenheiro e, além de exercer a profissão por muitos anos, desempenhou funções relevantes em órgãos associativos e técnicos de engenharia: presidente da Sociedade Mineira dos Engenheiros, vice-presidente do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura, membro da Comissão Nacional de Metrologia e, mais tarde, membro da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Em entrevista publicada, no volume comemorativo do centenário de Magalhães Gomes, editado pela Universidade Federal de Minas Gerais, José Israel Vargas o classifica como *pioneiro das ciências físicas modernas em Minas Gerais* e em artigo, no mesmo livro, meu amigo há meio século Márcio Quintão Moreno, que foi seu aluno e colaborador, cognomina-o *fundador da física em Minas Gerais*. E como, não tendo sido um pesquisador – um cientista *stricto sensu* –, pôde ter Magalhães Gomes esse grande mérito de ser o fundador da física em nosso Estado? A razão é que a maior parte de sua vida profissional foi dedicada à criação do ambiente propício ao florescimento das ciências físicas em nosso Estado.

A atividade científica depende de uma estrutura complexa que envolve pessoas, laboratórios, bibliotecas, agências financiadoras, mas também certos hábitos e valores que são transmitidos de

geração a geração e que constituem a tradição científica de uma sociedade. A formação de cientistas só pode ser realizada de forma quase artesanal por outro cientista. É ilustrativo acompanhar no primeiro meio século de concessão do prêmio Nobel em física na Europa, como os agraciados pertenciam ao que podemos chamar *famílias* científicas – provinham de um mesmo laboratório famoso e, muitas vezes, tinham aprendido o ofício com outro agraciado. Não que haja a *escola*, no sentido que se dá a essa palavra nas profissões liberais e que é inadmissível na ciência, mas sim, uma forte liderança científica e a criação de ambiente adequado para que a ciência viceje.

A Escola de Minas de Ouro Preto, onde se diplomou Magalhães Gomes em 1928, não oferecia o ambiente a que nos referimos antes, nas, assim chamadas, ciências exatas, como também não oferecia, o país inteiro. Como primeiro aluno de sua turma foi agraciado o prêmio de viagem de estudos à Europa. Devido à situação política da época, a merecida viagem não foi concedida e ele não pôde realizar suas expectativas de aperfeiçoamento num centro de estudos avançado. Arguto, estava ciente da insuficiência de sua formação para realizar pesquisa científica e iria dedicar a parte mais produtiva de sua vida a criar nas ciências físicas e tecnologia nuclear o ambiente necessário a seu desenvolvimento em nossa terra. Diante da incompreensão e resistência que muitas vezes encontrava, dizia a seus colegas, conforme citação de Marcio Quintão Moreno: *não podemos condenar esses moços à mesma formação acanhada de que fomos vítimas.*

Numa visão rápida, sem preocupação de fazer um relato histórico preciso, as ciências exatas eram praticamente inexistentes no Brasil antes da criação, em 1934, da Universidade de São Paulo e de sua Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Podemos apontar raros nomes em matemática, física, química e astronomia, antes dessa época, mas, mesmo esses, não chegaram a deixar obra reconhecida internacionalmente e nem formaram discípulos que prosseguissem seu trabalho. Pesquisas em botânica, zoologia, geografia, geologia e mineralogia estiveram, de forma esparsa e limitada, presentes no país desde o século XVIII. Destaca-se nos começos de nossa ciência a notável e aventureira viagem exploratória do médico baiano Alexandre Rodrigues Ferreira, cujos resultados foram reunidos no livro *Viagem Philosophica*. Algumas instituições científicas nessas áreas do conhecimento foram criadas desde o período imperial, esparsas no país, de qualidade variável e muitas vezes efêmeras. A criação do Instituto Soroterápico de Manguinhos em 1900, com a participação de Osvaldo Cruz, representou um marco para as ciências da saúde e biológicas. Osvaldo Cruz, tendo tido formação no Instituto Pasteur de Paris,

associava o combate aos graves problemas de saúde pública do país à pesquisa em ciência básica. Seguiu a norma de Pasteur, segundo o qual não há ciência pura e ciência aplicada, mas apenas *ciência e aplicações da ciência*.

Pasteur é um dos melhores e raros exemplos de cientista que fez as duas coisas com êxito. Ele é conhecido, sobretudo, pelas aplicações da ciência: a pasteurização, a assepsia, a vacina anti-rábica. Mas começou sua vida científica, aos vinte e seis anos, com uma notável descoberta de ciência fundamental. Observou que a cristalização do ácido tartárico sintetizado no laboratório, se fazia em duas formas isômeras especularmente simétricas e que o ácido tartárico de origem orgânica só existia numa das formas, a dextra. Os seres vivos se comportam de forma diferente em relação aos dois isômeros – por exemplo, microorganismos se alimentam de uma das formas, mas não da outra. O fenômeno da vida faz uma escolha por esquerda ou direita. Com essa descoberta Pasteur uniu química, física e biologia numa única pesquisa.

O Instituto de Manguinhos teve uma vida de altos e baixos, mas conseguiu sobreviver às pressões políticas, que, como até hoje em nosso país, são indiferentes ou mesmo contrárias ao mérito. O Instituto criou filiais que ajudaram a implantar a ciência em outros locais do país, inclusive em Belo Horizonte e manteve-se como uma referência nacional.

A criação da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo marca um início para as ciências exatas no país. Uns poucos cientistas europeus, entre eles os físicos Gleb Wataghin e Giuseppe Occhialini, convidados a integrar o corpo docente da Faculdade, plantaram as sementes para o desenvolvimento dessas ciências no país. Depois da segunda guerra mundial, estudantes mais brilhantes daquela faculdade que tinham ido fazer sua pós-graduação nas melhores universidades americanas e inglesas, começaram a constituir, ao retornar, uma pequena comunidade de cientistas.

Um grupo de professores de Belo Horizonte procurou imitar a experiência paulista e fundou em 1939 a nossa Faculdade de Filosofia, que se juntou, alguns anos depois, à Universidade de Minas Gerais. Nela, Magalhães Gomes foi professor de Física Superior e Física Teórica. A Faculdade de Filosofia, no entanto, ao contrário de sua congênere paulista, funcionou de maneira bastante precária, porque o meio era mais acanhado. A Universidade de Minas Gerais era, de fato, uma federação de faculdades e os recursos federais eram quase totalmente dirigidos para as mais prestigiosas, de medicina, direito e engenharia. A Faculdade de Filosofia se dedicou nos

primeiros anos de sua vida à formação de professores para o magistério secundário; apenas gradualmente surgiram pesquisadores isolados numa ou outra ciência. De qualquer forma, até os anos quarenta a pesquisa nas ciências exatas continuava inexistente em todo o Estado. Podem ser citados alguns nomes, louváveis, sem dúvida, tendo em vista a agrura do meio, mas que, de fato, praticaram a ciência de forma bissexta e não constituíram grupos de pesquisa.

Se nos reportarmos ao fim da segunda guerra mundial em 1945, notaremos que três invenções, desenvolvidas pelos imperativos da guerra, tiveram participação destacada na vitória dos países aliados e iriam marcar profundamente os anos posteriores. A penicilina, descoberta em 1928 e desenvolvida durante a guerra para assistir o grande número de feridos em combate, teria imenso impacto na saúde pública e provocaria um salto na expectativa de vida. O radar, também inventado muitos anos antes, mas tornado operacional para a defesa antiaérea e para a guerra marinha, permitiu, nos anos seguintes à guerra a transformação do transporte aéreo em transporte de massa, encurtou a distância entre os continentes e deu um largo passo em direção ao fenômeno que hoje chamamos globalização. A terceira foi a fissão nuclear que, de um simples fato de laboratório em 1939, seria transformada seis anos depois, pela reunião nunca vista de ciência e tecnologia, numa inimaginável arma. A energia nuclear levou a uma vitória rápida dos americanos sobre o Japão e teve um imenso papel na política pós-guerra das grandes potências mas, infelizmente, não cumpriu as expectativas de uso pacífico.

Dessas três invenções a que teve maior impacto no Brasil foi a penicilina. A tuberculose foi reduzida drasticamente no país pela estreptomicina, um sucedâneo imediato. Mas foi a energia nuclear que mais afetou o imaginário público. A destruição das cidades de Hiroxima e Nagasaki por bombas atômicas e o conhecimento do complexo científico-tecnológico que tinha conseguido esse feito, em tão curto espaço de tempo, causaram imenso impacto e despertaram todo o mundo para a importância da ciência moderna para o desenvolvimento tecnológico e econômico. A energia nuclear era um símbolo do poder da ciência e trazia promessa de fonte inesgotável de energia. O almirante Rickover, líder do projeto e construção do submarino nuclear americano, acreditava que a energia nuclear tornaria o preço da energia tão barata que não valeria a pena emitir a conta de energia.

Sessenta anos depois de Hiroxima a energia nuclear ainda carrega esse fardo ambíguo: de salvação, para um mundo em que as fontes de energia se esgotam rapidamente, e de apocalipse num mundo inseguro pelo confronto de civilizações. Ainda recentemente a Toshiba do Japão

adquiriu a Westinghouse Electric, responsável pela fabricação de grande parte dos reatores de potência instalados no mundo, o que significa que a companhia japonesa tem elevada expectativa na utilização dessa fonte de energia no futuro próximo. Posso ainda citar um fato que me toca pessoalmente. Há uns vinte anos fiz parte de uma comissão presidida pelo Professor Vargas, encarregada pela Presidência da República de analisar o programa nuclear brasileiro. O relatório final apresentou críticas e propostas de reorientação, mas foi em geral positivo em relação à necessidade de dar continuidade ao programa. Eu era na ocasião presidente da Sociedade Brasileira de Física e fui muito criticado por vários de meus colegas físicos, que eram absolutamente contrários à utilização da energia nuclear. Hoje, vejo declarações e artigos dos mesmos críticos que agora se manifestam a favor de um programa de energia nuclear no Brasil.

Franklin Roosevelt, ainda durante a guerra, solicitou a Vannevar Bush, seu diretor do Bureau de Pesquisa Científica e Desenvolvimento de guerra, prospectar o futuro e examinar o papel que teria a ciência nos tempos de paz. Bush apresentou um notável relatório, *Science, the Endless Frontier*, onde relacionou o desenvolvimento tecnológico diretamente à pesquisa científica e propôs a criação de uma fundação para apoiar a ciência básica, que viria a ser a National Science Foundation. Para Bush, “*uma nação que depende de outras para seu conhecimento científico será lenta em seu progresso industrial e fraca em sua posição competitiva no comércio internacional*”. O grande prestígio internacional dos EUA no pós-guerra, fez que esse relatório disseminasse em todo o mundo o que chamamos hoje paradigma linear para a relação entre ciência básica e tecnologia, a saber: a pesquisa fundamental é a base da pesquisa aplicada, que suporta sucessivamente o desenvolvimento tecnológico, o produto e o marketing.

Esse modelo é considerado hoje excessivamente simplificado. De fato, ciência fundamental e tecnologia se entrelaçam numa malha complexa, difícil de desenredar; ora a ciência básica precede a tecnologia, ora o oposto. Utiliza-se uma comparação do desenvolvimento tecnológico com a evolução biológica. Como a natureza, a tecnologia tenta repetidamente novas formas e conserva aquelas que são bem sucedidas. Quase sempre, a natureza opera mudanças graduais que levam a pequenas modificações nas espécies, raramente saltos evolutivos que conduzam a novas espécies. Na tecnologia, essas grandes mutações, que também ocorrem, mas são raras, são propiciadas pela pesquisa fundamental; como exemplos considerem a energia nuclear, os semicondutores e a nanotecnologia.

No Brasil vários fatos relacionados às ciências ocorreram no pós-guerra. A *Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência* foi fundada em 1948, mais de um século depois de suas congêneres da Inglaterra, da Alemanha e dos EUA. No ano seguinte criou-se no Rio de Janeiro, o *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas*, instituição dedicada à física nuclear e física de partículas, independente da Universidade, que constituía, por suas tradições, um entrave à pesquisa científica. O *Conselho Nacional de Pesquisas* – o CNPq – foi fundado em 1951, sobretudo pela ação do Almirante Álvaro Alberto, homem de larga visão, com boa formação científica e representante brasileiro na Comissão de Energia Atômica do Conselho de Segurança da ONU. Estava a cargo do CNPq o apoio ao desenvolvimento da energia nuclear no país. No entanto, logo se percebeu que a coordenação desse tipo de pesquisa, de possível interesse para a segurança nacional, na qual os militares pretendiam ter poder de decisão, seria difícil num órgão de atuação ampla como se queria o CNPq. Criou-se então, em 1956 a Comissão Nacional de Energia Nuclear com função específica.

Foi nesse contexto histórico que Magalhães Gomes liderou, em 1952, na Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, a organização do Instituto de Pesquisas Radioativas, instituição de pesquisa dirigida para as ciências e tecnologias na área da energia nuclear. O Instituto deveria de certa forma integrar essas diferentes ciências e técnicas com o objetivo de desenvolver no Estado a produção e utilização da energia nuclear: desde o levantamento geológico dos depósitos de urânio, sua exploração, purificação e metalurgia até, possivelmente, projeto de reatores nucleares. Podemos perceber nessa organização a visão – hoje se diria holística – de Magalhães Gomes. A utilização de radioisótopos em técnicas nucleares diversas, como hidrologia, viria a ser nos anos seguintes parte importante do trabalho do Instituto.

Magalhães Gomes teve nos primeiros anos grande apoio do governador Bias Fortes – o que é realmente de se admirar numa província, como a nossa, tão vinculada, até hoje, por seus vícios e atrasos – e iniciou com seus companheiros a organização do Instituto. Além da construção de laboratórios, no começo e, por um longo período, muito pobres em equipamentos, iniciou-se um programa de formação de pessoal. Não só foi criado um curso de especialização em engenharia nuclear, sendo os estudantes bolsistas em tempo integral, como se incentivou a ida de vários membros do quadro para estudos e estágios em outros centros mais avançados no país e no exterior. Fui aluno da primeira turma do curso de Engenharia Nuclear que era ministrado por professores locais, entre eles o Professor José Israel Vargas, e professores de fora do Estado. O

curso era dado com o rigor necessário e dos doze estudantes iniciais apenas três terminaram: Jair Mello, Maurício Mendes Campos e eu.

O Instituto se consolidou pela instalação em 1960 de um reator nuclear de pequena potência (30 kilowatts) para treinamento de engenheiros nucleares e limitada produção de radioisótopos. Há uma história interessante a contar a respeito desse reator, segundo instalado no país, tendo sido precedido pelo do Instituto de Energia Atômica de São Paulo. No verão de 1956 a General Atomics, reuniu um grupo de consultores, alguns expertos e alguns não especializados nos detalhes de engenharia de reatores, para tentar criar modelos possíveis de reatores. Quem narra a história é o físico teórico Freeman Dyson, que estava entre os não expertos, em seu livro *Infinite in All Directions*. A empresa era nova e não tinha laboratórios ou instalações industriais, nem produtos. Os consultores podiam apenas pensar, discutir e rascunhar no quadro negro. A companhia prometia pagar aos inventores de um reator um dólar pelos direitos de patente. Em troca dessa enorme quantia a empresa recebeu no fim do verão, três projetos preliminares promissores, um deles foi denominado TRIGA, acrônimo de *Training, Research and Isotope Production, General Atomics*. O TRIGA apresentava a importante característica de ser intrinsecamente seguro em relação a mau manejo por ter reatividade decrescente com o aumento da temperatura do caroço.

Isso aconteceu em 1956. Em 1958/1959, escassos dois anos após, Magalhães Gomes contratava a aquisição de um TRIGA para o Instituto. Deve ter sido o primeiro ou um dos três primeiros reatores fabricados pela General Atomics; não tenho informações de como Magalhães Gomes descobriu o TRIGA tão rapidamente. Há nessa história um detalhe pouco conhecido. Logo depois, a GA lançou um segundo modelo do TRIGA, com caroço acima do piso do laboratório, que permitia extrair lateralmente o feixe de nêutrons, para utilização em experiências físicas. Cheguei a tentar convencer Magalhães Gomes das vantagens do novo modelo, no entanto, o processo de aquisição já estava adiantado ou os recursos não eram suficientes para o novo modelo e nada pôde ser feito. Por pouco não tivemos um reator mais versátil.

Magalhães Gomes era um homem de visão. Alguns diriam que era visionário; talvez o fosse, mas seria difícil realizar alguma coisa no meio em que vivia, sem esse traço de caráter. Lembro-me que quando consegui uma bolsa da fundação Fulbright para fazer pós-graduação em física nos EUA ele me chamou a atenção para as relações da física de estado sólido com a metalurgia nuclear e pediu-me para dirigir meus estudos nessa direção. Naquele tempo a física do estado

sólido era um campo menor da física e a maioria dos estudantes de física brasileiros pensava em se dedicar à física de partículas ou à física nuclear que estavam na fronteira do conhecimento. Hoje a denominada física da matéria condensada, é o maior campo da física no Brasil, com mais de metade dos físicos brasileiros.

Magalhães Gomes foi membro da Comissão Nacional de Energia Nuclear de 1962 a 1965, quando, desgostoso com atos arbitrários da ditadura militar, que tomara o poder no país, afastou-se das atividades relativas à energia nuclear. Isso, no entanto, acabou dando-lhe oportunidade para prestar um outro serviço à ciência de Minas Gerais, tão importante quanto o primeiro. Fez parte do pequeno grupo de catedráticos que apoiou o reitor Aluísio Pimenta em sua luta para instalar os institutos básicos de biologia, física, química, matemática e ciências humanas e assim dar início à reforma universitária na Universidade de Minas Gerais. As congregações das antigas faculdades pretendiam que esses institutos ficassem limitados à pesquisa e que o ensino fosse integralmente tarefa delas. Propunham assim um corte entre ensino e pesquisa inimaginável numa universidade moderna. Houve todo tipo de resistência à transferência de laboratórios e acervos bibliográficos, que precisava ser vencida com argumentação paciente. Somente em 1968 esses problemas acabaram sendo resolvidos por meio de decretos que aboliram as cátedras, reorganizaram as universidades em departamentos, declararam a inseparabilidade de ensino e pesquisa, criaram um sistema formal de pós-graduação, e realizaram finalmente a reforma universitária num modelo bem próximo do que, há muito, era defendido por setores mais avançados do magistério superior. É admirável que essa ditadura atípica, onde havia rodízio do ditador por eleição de uma casta – qualquer coisa imaginável apenas no Brasil, como disse Paulo Francis –, fosse capaz de dar um passo tão progressista na organização da universidade brasileira.

Magalhães Gomes foi indicado para organizar e dirigir o Instituto Central de Física, que depois foi reunido com os Institutos Centrais de Matemática e de Química, como departamentos do novo Instituto de Ciências Exatas, também sob sua direção. Ele costumava esboçar um meio sorriso de ironia a respeito desse nome, porque nenhuma das ciências abarcadas pelo Instituto era de fato, exata: seria melhor, segundo ele, o nome Instituto de Ciências Inexatas.

Foi uma época difícil, não só pelas oposições internas à própria Universidade, mas principalmente, por causa do ambiente de constrangimentos e perseguições a professores e alunos pelo aparelho policial ligado a setores militares. Magalhães Gomes, com sua autoridade

moral, firmeza e paciência conseguiu reunir em torno de si os corpos docente e discente e pôde sobrepujar os empecilhos sem danos maiores à instituição

Foi posto em prática um programa análogo ao realizado no Instituto de Pesquisas Radioativas para formar o pessoal, talvez com maior vigor ainda. Para exemplificar, o Departamento de Física, de um único pesquisador com grau de doutor em física em seu quadro, em 1964, já contava em 1990 com cerca de trinta, a maioria deles com graus obtidos em instituições estrangeiras de renome. Agora, em 2006, são setenta professores com doutorado ou pós-doutorado em diversas universidades européias ou norte-americanas.

Comecei essa palestra com a observação de que Magalhães Gomes era um homem das duas culturas – homem de ciências e homem de letras – membro da Academia Brasileira de Ciências e da Academia Mineira de Letras. Mas era um humanista completo, não apenas no plano intelectual: engajado politicamente, democrata com elevado sentido de justiça social, foi um dos signatários do chamado *Manifesto dos Mineiros*, contra a ditadura Vargas, e sofreu perseguições por causa disso. Opôs-se também à ditadura militar de 1964, como já relatei, garantindo um ambiente de relativa liberdade no Instituto que dirigia.

Diz-se há humanistas que amam o gênero humano e desprezam os seres humanos. Magalhães Gomes não era desse tipo; não se pode falar dele sem levar em conta seu caráter amigável na vida diária: esposa e filhos o adoravam e os amigos mais próximos tinham grande afeição por ele; nos cargos que ocupou na universidade sempre demonstrou ser a tolerância um de seus valores mais elevados e era por isso muito estimado por professores e alunos. As conversas com ele eram sempre agradáveis, porque mesmo tratando de assuntos sérios, eram entremeadas com casos e citações de suas variadas leituras. Os êxitos de professores mais jovens ou de estudantes eram sempre ampliados por seu julgamento generoso.

O eixo da ética de Magalhães Gomes relativa a sua visão do mundo como humanista e homem da ciência e da técnica, revela-se no pequeno trecho de um artigo de sua autoria, publicado sob o título *Humanismo e Tecnologia*, que aqui repito para terminar esta palestra:

“O filósofo, o humanista, o cientista podem continuar na sua torre de marfim para contribuírem com as meditações que façam no seu gabinete, na sua biblioteca, no seu laboratório, para aumentar e enriquecer a inteligência e o

espírito do homem. Essa torre porém, deve ter uma janela de onde se observa o mundo e uma porta para, quando a ocasião o exija, eles participem das agruras de seus irmãos e os sirvam com sua sabedoria e seus conselhos. Compete a todos correrem o risco e a responsabilidade da condição humana. No convulsionado mundo de hoje, o engajamento não é só um imperativo moral, é também uma contingência”.

SESSÃO 2

Presidente da Mesa: **Dr. Silvestre Paiano Sobrinho**

Realizou estágios no Centre d'Études Nucléaires de Grenoble, França e na Universidade da Flórida, Estados Unidos. Foi professor colaborador do Curso de Mestrado em Ciências Nucleares do IPEN/USP e do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear, CCTN/UFMG. Exerceu o cargo de Diretor do CDTN de 1997 a 2003.

CONFERÊNCIA : O Programa Brasileiro de Centrais Nucleares**Conferencista e autor: Dr. Witold Piotr Stefan Lepecki**

Tem uma carreira dedicada às atividades de pesquisa e de engenharia. Foi Chefe da Divisão de Reatores e, nesta qualidade, Chefe do Grupo do Tório e membro do Conselho Diretor do IPR, atual CDTN , professor da COPPE, Superintendente Geral de P&D da NUCLEBRAS, Superintendente Geral de Engenharia da NUCLEN, hoje Eletronuclear.

Autor: Carlos Syllus Martins Pinto

Formou-se engenheiro eletricitista e desde então vem dando contribuições importantes para as atividades de desenvolvimento tecnológico do País. Foi Professor do IME, Diretor de Planejamento e Desenvolvimento da CNEN, Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da NUCLEBRAS, Diretor de Desenvolvimento Industrial da NUCLEN, Consultor da International Atomic Energy Agency (Viena).’

O PROGRAMA BRASILEIRO DE CENTRAIS NUCLEARES^{*}

C. SYLLUS e W. LEPECKI

INTRODUÇÃO

A implantação de um Programa de Construção de Centrais Nucleares, com transferência de tecnologia, é tarefa de grande complexidade e que envolve decisões e opções extremamente importantes, pelas repercussões que as mesmas acarretam, não só para o programa nuclear, mas sobretudo, para a política e a economia do país, como um todo.

Em nosso país, por muitos anos, desenvolveu-se um programa desta natureza, com resultados extremamente satisfatórios, em termos de transferência de tecnologia, até que se reduzisse o mesmo a um ritmo mínimo de execução, o que praticamente paralisou todo o processo em desenvolvimento.

Este trabalho pretende, de uma forma muito sucinta, ressaltar a Concepção do Programa em consideração e as suas realizações mais significativas.

Neste contexto, apresentaremos as Decisões Fundamentais que consubstanciam a Concepção do Programa, os estudos iniciais que os precederam e, em seqüência, as Políticas e Estratégias estabelecidas.

Finalmente, vamos descrever como o programa foi concretizado, segundo os parâmetros acima, e os seus resultados mais importantes, em termos de Transferência de Tecnologia.

ESTUDOS INICIAIS

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), começou a realizar estudos, desde o início da década de 60, sobretudo no que se refere à disponibilidade de recursos

^{*} Trabalho convidado para o Simpósio “ÁTOMOS PARA O DESENVOLVIMENTO”, comemorativo do Centenário do Professor Francisco de Assis Magalhães Gomes, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Belo Horizonte, 21-22 de agosto de 2006.

minerais (urânio e tório) e à dimensão do Programa de Implantação de Centrais Nucleares, estes últimos descritos a seguir.

O GTRP. O primeiro esforço sistemático e coordenado, no País, de implantação de uma central nuclear acompanhada da respectiva tecnologia, foi o Grupo de Trabalho do Reator de Potência, instituído pela CNEN (Portaria nº 131 de 23/4/62), no âmbito da cooperação com o CEA da França. Foi presidido trabalhando no por Jonas Correia dos Santos e teve as suas atividades orientadas pelo Eng^o Paul Birien do CEA. Desenvolveu uma série de estudos sobre várias opções e alternativas relativas aos reatores de potência do tipo U-natural - Grafita - CO₂. Estes estudos foram consubstanciados em uma série de monografias.

Foi nesta ocasião que os discípulos de Francisco Magalhães Gomes, trabalhando no IPR, passaram a participar do de centrais nucleares, sob orientação de José Israel Vargas.

Ao fim dos trabalhos, em 10/3/64, o Presidente do GTRP oficiou ao Presidente da CNEN apresentando os resultados atingidos:

- 2 locais escolhidos, na Região Centro-Sul, Região Rio - Guanabara. Um deles foi Mambucaba, muito próximo do local onde seriam construídas as usinas nucleares Angra 1, 2 e 3.
- Minuta do Edital de Concorrência (baseado em trabalho anterior da Kennedy e Donkin).
- Recomendação da criação de uma subsidiária da ELETROBRÁS, Sociedade de Economia Mista, com controle efetivo pela CNEN, para construir e operar a primeira usina nuclear brasileira. Para tanto, recomenda a criação imediata de uma Comissão Incorporadora (CNEN, ELETROBRÁS, MME, BNDE).
- Recomendação da linha do reator: Urânio natural, moderado a Grafite ou a Água Pesada.

O GTRP teve ainda, como importante resultado, a formação de pessoal através de estágios no CEA da França, entre eles vários discípulos de Magalhães Gomes.

O Grupo do Tório. O problema da viabilidade da introdução de uma linha nacional de reatores apta a satisfazer as necessidades do mercado nacional nas próximas décadas, foi equacionado, estudado e analisado por uma equipe especialmente organizada para este fim, em 1965, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Trata-se do Grupo do Tório, pertencente à Divisão de Engenharia de Reatores do Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte (hoje CDTN).

A missão precípua do Grupo do Tório foi a de analisar em detalhe a viabilidade do emprego do Tório no programa nuclear brasileiro. O estudo foi realizado em convênio com o Comissariado de Energia Atômica da França, em continuação aos trabalhos de cooperação entre o GTRP e o CEA, referidos anteriormente. O estudo foi dividido nas seguintes fases:

- a) Avaliação Preliminar (Projeto INSTINTO) - 1966-1967
- b) Pesquisa e Desenvolvimento (Projeto TORUNA) - 1968-1971
- c) Protótipo (eventualmente) - 1971- ...
- d) A parte (a), referente ao Projeto INSTINTO levou a um Relatório Final apresentando conclusões positivas, recomendando a continuação de programa através da parte (b), a partir de janeiro de 1968.

A parte (b) foi concluída através de um relatório final. A parte (c) não foi implementada em virtude das decisões sobre o Programa Nuclear expostos neste trabalho.

A filosofia adotada pelo Grupo do Tório foi a de basear a sua análise do emprego do tório em um conceito definido de reator, que pudesse ser desenvolvido, ao menos em princípio, pela indústria brasileira nos próximos 10 a 15 anos.

Consequentemente, o esforço principal do trabalho do Grupo se concentrou no desenvolvimento deste conceito particular de reator.

Os estudos levaram a um reator resfriado e moderado por água pesada sob pressão, contido em um vaso de pressão de concreto protendido. Tal escolha foi feita tendo em vista a experiência passada e as possibilidades futuras da indústria brasileira.

Verificou-se que tipos muito semelhantes de reatores estavam sendo desenvolvidos por outros países, a saber - a França, a Alemanha e a Suécia. Este fato veio corroborar as potencialidades deste conceito de reator e trazer a vantagem adicional de o País não se ver isolado nas suas pesquisas, podendo-se beneficiar do avanço técnico de outros países.

O tório não é, por si, um combustível nuclear. Para poder funcionar como tal, ele necessita de adição de material físsil e o seu suprimento constitui um dos principais problemas dos reatores a tório.

O reator do “Projeto INSTINTO” permitia teoricamente, resolver este problema de duas formas:

- misturando ao tório o urânio enriquecido; esta opção seria prática, mas teria a desvantagem de depender do fornecedor externo, já que o urânio enriquecido era então vendido de forma praticamente monopolística pela Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos;
- misturando-se ao tório o plutônio; esta ação não teria a desvantagem anterior, porque o plutônio poderia ser produzido em reatores do mesmo tipo, usando como combustível o urânio natural, que podia ser comprado no mercado internacional ou produzido no Brasil.

A segunda opção permitia a independência em relação ao suprimento de combustível. Os estudos feitos mostraram que ela seria tecnicamente viável.

Em conclusão, os reatores a tório não são recomendáveis para aplicação imediata, devendo ser precedidos de uma “geração” de reatores a urânio natural que funcionaria durante cerca de 10 a 20 anos gerando o plutônio para os futuros reatores a tório.

Em cerca de cinco anos de trabalho intensivo, (1966-71) o Grupo do Tório analisou minuciosamente os aspectos técnicos e econômicos da implantação de ciclo do tório no País, através de reatores a água pesada (HWR), funcionando inicialmente a urânio natural, segundo projeto próprio, porém que lançava mão de tecnologia existente no exterior e adaptável à indústria brasileira.

O estudo ofereceu à CNEN amplos subsídios para um programa de desenvolvimento nuclear a curto, médio e longo prazo, acenando com a perspectiva de introduzir no País uma linha de reatores nacionais a tempo de atender ao volumoso programa de construção de centrais nucleares então antecipado para as décadas de 80 e 90.

Esta linha seria desenvolvida paralelamente à dos reatores adquiridos pela ELETROBRÁS no exterior e começaria pela construção de um protótipo de potência reduzida que teria a dupla função de centro polarizador da incipiente indústria nuclear nacional e de instrumento de ensaio de componentes nacionais, que seria muito arriscado

incorporar em grande escala aos primeiros reatores estrangeiros adquiridos pela ELETROBRÁS.

Outro resultado extremamente importante do estudo foi a formação de uma equipe especializada nos vários aspectos relacionados com o projeto e análise de centrais nucleares, apta a fornecer consultoria no campo nuclear à ELETROBRÁS e empresas associadas, quando da compra da primeira central, bem como das que se lhe seguiriam.

Efetivamente, a experiência adquirida permitiu que a equipe realizasse, sob a forma de contrato de consultoria, e pela primeira vez no Brasil, um estudo de viabilidade técnico-econômica de introdução de central nuclear em um sistema elétrico. Trata-se do estudo encomendado em 1968 pela CELPA - Centrais Elétricas do Pará S.A. - que, face à ausência de quedas d'água na região de Belém, se viu obrigada a lançar mão de usinas térmicas, decorrendo daí o seu interesse pelas centrais nucleares.

No que se refere à continuação dos trabalhos relativos ao ciclo do tório, o ano de 1968 marcou o início da fase experimental. Os laboratórios de neutrônica e termo hidráulica então projetados e construídos operaram por longos anos, sobretudo formando pessoal.

A colaboração com a França deve ser ressaltada, tendo havido vários engenheiros em estágios de longa duração nos laboratórios franceses, inclusive em cursos de doutoramento, com teses referentes especificamente ao projeto do reator brasileiro.

O Grupo do Tório teve por principal função a formação de pessoal na área de projeto de reatores, nas várias disciplinas envolvidas. A partir das décadas de 70/80 muitos postos de responsabilidade na área nuclear foram preenchidos por ex-integrantes do Grupo do Tório. Outro resultado - talvez inesperado - do Grupo do Tório foi a conscientização da extrema dificuldade de se realizar a sua ambição inicial - o desenvolvimento de uma linha autônoma de reatores.

O Convênio CNEN-ELETROBRÁS. Em 22/6/67, foi criado pelo Decreto nº 60890 um Grupo de Trabalho Especial para analisar a questão da cooperação CNEN/ELETROBRÁS na área nuclear.

A 7/9/67 o Relatório foi apresentado pelo GT ao Ministro das Minas e Energia e a 2/10/67, aprovado pelo Presidente da República.

Os pontos relevantes do Relatório eram:

- a complementação térmica na Região Centro-Sul sofreria uma aceleração a partir de 1977;
- era imperativo que tecnologia nacional fosse preparada para participar de um programa nuclear em larga escala a se iniciar na década de 1980;
- a data da entrada na rede da primeira usina nuclear seria 1976/77;
- o intervalo de tempo entre esta data e o início do programa de larga escala era o mínimo necessário para se obter o “know-how” e a experiência operativa necessária para este programa;
- todas as medidas deveriam ser imediatamente tomadas para a instalação da primeira usina nuclear com uma capacidade estimada em 500 MWe;
- um Convênio deveria ser estabelecido entre a CNEN e a ELETROBRÁS para regular as suas atividades no programa de centrais nucleares;
- o planejamento, construção e operação da primeira usina nuclear deverá ser o principal objetivo do Convênio.

Em 26/4/1968 foi assinado o Convênio de Colaboração entre a CNEN e a ELETROBRÁS regendo a cooperação entre as duas entidades no planejamento, construção e operação de centrais nucleares para fins de produção de energia elétrica, com base nos estudos do Grupo de Trabalho especial referido acima.

Este Convênio se tornou necessário face ao fato que, pela Lei nº 4118 (27/8/62) competia à CNEN realizar estudos, projetos, construção e operação de usinas nucleares e, pelo Decreto-Lei 200 (25/2/67) competia à ELETROBRÁS o trato dos assuntos relacionados com a indústria de energia elétrica, inclusive de origem nuclear. Assim o Convênio:

- instituíu um mecanismo de cooperação entre a ELETROBRÁS e a CNEN, com vistas ao planejamento da utilização de usinas nucleares para fins de produção de energia elétrica.
- propunha o mecanismo de cooperação acima, com perfeita delimitação das responsabilidades de cada uma dessas entidades, pelo qual, resguardadas as atribuições específicas da CNEN, caberia à ELETROBRÁS a construção e operação de usinas nucleares que viessem a ser executadas pelo Governo Federal.

Neste ínterim, a 26/6/67, a CNEN foi transferida da Presidência da República para o MME, assim passando, tanto a CNEN como a ELETROBRÁS a ter um comando único.

O Convênio recomendado pelo GT acima referido foi assinado, portanto, já dentro desta nova estrutura (26/4/68).

Os principais acertos fixados foram:

- No planejamento e ante-projeto, a CNEN delegou uma série de atividades à ELETROBRÁS:
 - . escolha do sistema elétrico
 - . definição da potência da central e sua futura expansão
 - . tipo do reator (dentro da linha estabelecida pela CNEN)
 - . preparação e submissão à CNEN do Relatório de escolha do local
 - . seleção dos fornecedores da central
 - . esquema de financiamento
- No planejamento e ante-projeto, coube conjuntamente à CNEN e ELETROBRÁS:
 - . especificações de concorrências
 - . normas de julgamento das concorrências na parte nuclear
 - . medidas de incentivo da indústria nacional.
- A construção de centrais coube, por delegação da CNEN, à ELETROBRÁS, ou, mediante aprovação da CNEN a uma sua subsidiária.

Neste Convênio deu-se ênfase especial à primeira central nuclear, destacando a participação da CNEN, tendo em vista o seu papel como importante fator na formação de uma tecnologia nacional.

Uma vez aprovado o Convênio CNEN-ELETROBRÁS, o Governo houve por bem solicitar assessoria estrangeira de alto nível para estabelecer o seu programa nuclear.

O Grupo LANE. A assessoria mencionada acima foi solicitada à AIEA, que incumbiu uma equipe de especialistas internacionais chefiada pelo especialista americano James Lane, de renome internacional, em assistir às Autoridades Brasileiras em preparar planos para o desenvolvimento da energia nuclear no Brasil. O trabalho foi realizado entre Abril e Junho de 1968, no Rio de Janeiro, em cooperação com o Grupo de Trabalho

Brasileiro montado para tal finalidade, consistindo de representantes da CNEN, ELETROBRÁS e Institutos nucleares. Cumpre ressaltar a participação do Grupo do Tório, através do IPR (hoje CDTN).

Os objetivos atribuídos pelo Governo Brasileiro ao estudo foram:

- Possíveis tipos de reatores.
- Análise econômica da construção de centrais nucleares no Brasil, considerando, entre outros, dados do Estudo CANAMBRA.
- Programa preliminar de introdução de energia nuclear na Região Centro-Sul.
- Implicações financeiras e outras de um tal programa.
- Programa a longo prazo de utilização dos recursos de tório no Brasil.
- Participação da indústria nacional no programa a longo prazo.
- Programa de P&D dos Institutos em suporte ao programa acima.
- Programa de recursos humanos.
- Colaboração internacional em suporte ao Programa Brasileiro de centrais nucleares.

O estudo atendeu aos objetivos acima, detendo-se em particular, no caso da primeira usina nuclear.

O “Grupo Lane”, composto de técnicos da AIEA, da CNEN e seus Institutos e da ELETROBRÁS, produziu um Relatório, que foi de maior importância na definição dos próximos passos do programa nuclear brasileiro.

Um resumo das suas recomendações/ conclusões é o seguinte:

- a principal conclusão é que o requisito do Governo de introduzir um programa nuclear pode ser justificado para o início da década de 80
- a implementação de uma central nuclear de tipo comprovado para operação em 1976/77 é desejável como um meio de se iniciar o programa acima
- os únicos tipos de reatores a serem considerados foram: LWR, HWR, SGHWR e HTGR
- a primeira usina deve ser selecionada de modo a ser uma precursora da linha futura
- o Brasil não deve desenvolver um novo tipo de reator para esta primeira usina
- a participação da indústria nacional deve ser incentivada

- o planejamento de novas usinas hidráulicas deve levar em conta a integração progressiva de centrais térmicas (convencionais e nucleares)
- a operação integrada de todas as usinas interligadas de um despacho de carga central deve ser estabelecida
- cooperação internacional com fabricantes de reatores deve ser fortalecida e mantida
- a necessidade para um programa de desenvolvimento de reatores a tório não está clara
- refazer o planejamento a cada cinco anos

O programa nuclear de referência até 1990 para a Região Centro-Sul foi (Tabela 6.16 do Relatório LANE):

Ano	1976/77	1980	1985	1990
Capacidade instalada (MWe)	500	1500	6000	13000

São interessantes as recomendações de natureza geral. Assim, o despacho central e um planejamento sistemático (quinqüenal) hoje adotados rotineiramente pelo Setor Elétrico, foram originalmente, recomendados neste estudo, realizado em função da análise da introdução da energia nuclear no País.

A Decisão Sobre Angra 1. Considerando que o Relatório da AIEA (Relatório LANE) endossou de um ponto de vista técnico, a nível internacional - isento, portanto - a vontade do Governo Brasileiro de construir uma usina nuclear pioneira na Região Centro-Sul, o Governo decidiu, ainda em 1968, dar início ao empreendimento. A ELETROBRÁS delegou a tarefa à sua subsidiária FURNAS, nos termos do Convênio CNEN-ELETROBRÁS. Esta, a 1/1/69, criou o Departamento de Engenharia Nuclear (DN.T), e deu início à fase preparatória dos trabalhos, a saber:

- seleção de local
- licitação internacional
- licitação nacional da construtora civil.

O sítio (Itaorna) foi selecionado com assessoria americana (firmas NUS, Weston Geophysical Research Inc. e a Universidade de Cornell, Depto. de Geociências - Professor George Virsch).

O reator selecionado foi do tipo PWR, da Westinghouse. Concorreram os tipos PWR (Combustion, Westinghouse, KWU), BWR (ASEA, KWU) e SGHWR (TNPG - inglês).

A firma de construção civil selecionada foi a CNO. Outros contratos celebrados por FURNAS foram: engenharia, com a Gibbs & Hill americana e a PROMON brasileira; montagem, com a EBE brasileira; o vaso de contenção em aço com a Chicago Bridge & Iron Co. americana.

O conjunto de providências acima foi o coroamento da série de estudos e análises descritos nos itens anteriores e marcou o início da entrada do Brasil na fase industrial da energia núcleo-elétrica.

A Linha de Reatores. A década de 60 foi marcada por uma profunda discussão a respeito da linha de reatores que mais conviria ao Brasil para o seu programa nuclear a longo prazo.

A primeira metade da década foi marcada pela opção pela linha Unatural-gás-grafita francesa. O GTRP trabalhou em função desta opção, no âmbito do acordo nuclear Brasil-França. Um programa de treinamento de brasileiros na França e de assistência de técnicos franceses no Brasil foi estabelecido. Do lado francês, cumpre destacar os nomes de Pierre Tanguy e Pierre Bacher nesta fase, que, ao longo das próximas décadas, passaram a ser nomes de relevo internacional.

A partir de 1965/6, houve a predominância do interesse por uma linha de reatores a água pesada, inicialmente com Urânio natural e posteriormente com , Tório/Plutônio e Tório/U-233. Esta linha foi preconizada pelo Grupo do Tório, de que se tratou acima. O Grupo do Tório continuou a contar com a cooperação francesa, desta vez sob a chefia de R. Naudet e J.Chabrilac, que chegaram, ao longo do período subsequente, a importantes posições na ciência e indústria francesas.

A opção pela linha do Urânio natural decorria da vontade política de autonomia em relação ao combustível, face ao monopólio então exercido pelos EUA no mundo Ocidental

quanto ao suprimento do Urânio enriquecido, indispensável para uma opção pela linha LWR (PWR ou BWR).

Em uma importante reunião entre os Presidentes da CNEN e da ELETROBRÁS a 15/5/68, ainda foi registrada essa preferência pelo Urânio natural, com reator a água pesada, embora não tivesse havido uma decisão.

Ao longo de 1968, a CNEN debruçou-se sobre o problema da linha de reatores, iniciando sua análise pelo documento “Opções para um Programa de Reatores da CNEN” de janeiro de 1968 elaborado pela ASPED (Assessoria de Planejamento e Desenvolvimento), órgão que teve papel crucial na definição dos rumos do programa nuclear ao longo dos anos 1968/72, trabalho que culminaria com a criação da CBTN. O documento foi submetido à análise de técnicos da CNEN e dos Institutos.

Por exemplo, o IPR em sua análise de Março de 1968 considerou “excelente a exposição sistemática feita no documento do difícil problema da opção por uma linha de reatores”.

O IPR, nesta análise, preconizava uma linha de reatores a água pesada, a sua adoção para o primeiro reator comercial (a futura Angra 1) e a construção em paralelo de um protótipo nacional da mesma linha.

Por outro lado, o Relatório LANE, acima referido, analisou a questão da linha de reatores, como se vê nas recomendações deste Relatório, acima citadas.

Diante da dificuldade do problema e do clima polêmico criado pelos grupos defensores das diversas linhas (sobretudo água pesada e água leve), o Governo decidiu desvincular as questões de curto e longo prazo.

Para o curto prazo, o Governo seguiu a recomendação do Relatório LANE quanto às linhas aceitáveis, exceto a linha HTGR, considerada insuficientemente desenvolvida.

Para o longo prazo, o Governo continuou com as análises, em particular as realizadas pelo Grupo do Tório do IPR e pela ASPED da CNEN. O problema é da maior complexidade, tendo sido um desafio inclusive para as nações mais avançadas como a França e a Suécia, entre outras. A França lançou uma linha nacional, a partir de protótipos e reatores comerciais, de Unatural-gás-grafite, tendo sido um sucesso técnico, mas não econômico. Na mesma época em que o Brasil analisava a sua opção, a França resolveu abandonar a sua linha nacional e optar pela Linha PWR, apoiada em tecnologia americana -

por razões essencialmente econômicas. A Suécia, mais próxima do caso brasileiro, se limitou a construir um protótipo de Urânio Natural e água pesada, abandonando-o antes de mesmo entrar em operação por razões de segurança nuclear. Optou por uma linha LWR (PWR e BWR) baseada em tecnologia americana.

ESTUDOS DETALHADOS E CONCLUSIVOS

Em decorrência de sugestão dos estudos da ASPED, o Brasil acabou por criar, em 1972, uma empresa, especificamente para equacionar esta complexa questão de implantação da energia núcleo-elétrica no País. A empresa recebeu o nome de CBTN - Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (posteriormente rebatizada como NUCLEBRAS) e foi instituída como subsidiária da CNEN, pelo então Ministro de Minas e Energia, A.Dias Leite

Os estudos da CBTN levaram à conclusão, fundamental, de que o Programa de Instalação de Centrais Nucleares deveria ser desenvolvido conjuntamente e em perfeita harmonia com os Programas de Formação de Pessoal, de Transferência de Tecnologia e de Capacitação da Engenharia e Indústria Nacionais, especialmente nos seus aspectos de Garantia da Qualidade.

Nos itens que se seguem, apresentaremos, de maneira resumida, a Concepção do Programa de Implantação e as Políticas e Estratégias decorrentes da mesma. Apresentaremos também as principais ações desenvolvidas para a concretização do Programa e os resultados mais significativos atingidos.

CONCEPÇÃO DO PROGRAMA

Considerações Preliminares. A consideração das experiências de outros países, na implantação de seus programas nucleares, indicava, claramente, que era necessário estabelecer uma concepção global para esta implantação, sob a coordenação do governo, sem o que o mesmo não teria êxito.

Desde logo ficou evidente que seria necessária uma vontade política forte e um planejamento global compatível com a complexidade e abrangência do empreendimento.

De outro lado, havia-se concluído que a construção de centrais, considerando apenas o seu ocasional preço mais conveniente, através de concorrências sucessivas (a exemplo da concorrência isolada para Angra 1), nos levaria a uma multiplicidade de tipos de centrais e tecnologias, que tornaria inviável o estabelecimento de uma infra-estrutura de engenharia e industrial, que assimilasse todas elas

Razões de ordem técnica e econômica, e mesmo políticas, indicavam que se impunha estabelecer um Programa de Implantação, numa dimensão e ritmo que permitissem a transferência de tecnologia, a participação crescente da engenharia e da indústria nacionais e a implantação do ciclo do combustível.

Os estudos realizados pela CNEN, referidos adiante, indicavam a importância de se fixar uma linha de reatores para o Programa e enfatizavam as dificuldades e mesmo inviabilidade técnico-econômica de se desenvolver uma linha própria de reatores.

Era importante, portanto, que se estudassem, com profundidade, as Condições de Contorno e a viabilidade do empreendimento e se tomassem as Decisões Fundamentais que definissem uma Concepção Política e Estratégica para o Programa.

Condições de Contorno. Um Programa de Centrais Nucleares, com transferência de tecnologia, está sujeito a um conjunto enorme de injunções, entre as quais destacaremos as de ordem política, técnica, econômico-financeira, de segurança e social.

Politicamente, no âmbito interno, se faz necessário, em decorrência da complexidade do programa e de seus longos prazos de maturação, uma vontade política muito forte e persistente, que se faça presente em todas as áreas do governo, especialmente a energética e a econômica. Externamente, é importante contar com o apoio dos países com liderança mundial, o que significa considerar as suas preocupações em termos de segurança e de proliferação da tecnologia nuclear, especialmente em seus aspectos sensíveis.

Tecnicamente, a primeira grande opção a fazer é pela própria transferência de tecnologia, ou, em contraposição, pelo desenvolvimento, desde o início, de uma tecnologia própria. Esta é, surpreendentemente, uma questão com implicações políticas e ideológicas muito fortes e que tem se mostrado muito sensível e de difícil implementação, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento.

Outro condicionante, na área técnica, diz respeito ao nível de qualificação do país, em termos de recursos humanos, engenharia, indústria e infra-estrutura tecnológica em geral. Estes são os parâmetros que definirão o ritmo da transferência de tecnologia.

Neste contexto, impõem-se conciliar a disponibilidade e formação de pessoal com o ritmo da transferência de tecnologia e deste com a capacidade da engenharia e industrial e, ainda, com os aspectos de segurança.

No que se refere ao parâmetro econômico-financeiro, deve-se considerar que o mesmo fixa os limites da nacionalização dos serviços e da produção industrial. O limite superior em função, sobretudo, dos custos e o inferior em decorrência da escala de produção.

É de se ter em conta, ainda, os custos de importação, em moeda forte, que decorrem de um amplo programa de transferência de tecnologia.

Faz-se necessário, também, analisar os limites estabelecidos pelas considerações de segurança, que definem o ritmo em que é possível assumir responsabilidade e gerência das atividades, bem como a realização direta dos serviços e dos fornecimentos de materiais e equipamentos.

Finalmente, as considerações de ordem social, que são talvez as de maior importância e que têm inviabilizado muitos programas em diferentes países. Não se pode subestimar as condições de contorno estabelecidas pela sociedade em decorrência das preocupações ambientais e de segurança.

O aprofundamento da análise das Condições de Contorno, sobretudo aquelas de caráter técnico e econômico-financeiro, exige a realização de estudos de viabilidade que permitam fixar, quantitativamente, as suas dimensões e seus limites.

ESTUDOS DE VIABILIDADE

Costuma-se criticar muitos dos grandes programas empreendidos no país, por não terem sido precedidos de um competente estudo de viabilidade. Este não é o caso do Programa de Centrais Nucleares, com a respectiva transferência de tecnologia, que foi objeto de diversos estudos de viabilidade. Na realidade, chegou-se a criar uma empresa com a denominação de Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), com o fim

específico de promover a tecnologia nuclear e que iniciou seus trabalhos pela realização ao longo de mais de 2 (dois) anos de estudos de viabilidade sobre a implantação do programa.

Após os estudos iniciais relatados acima, foi, sobretudo, a CBTN que produziu estudos técnicos e de viabilidade extremamente competentes, entre os quais destacamos:

- Dimensionamento do Programa e sua Integração ao Plano de Geração Elétrica da ELETROBRÁS (Fig. 1).
- Participação da engenharia e indústria nacionais no Programa (Fig. 2).
- Estratégia de transferência de tecnologia (Fig. 3).
- Implantação do ciclo do combustível em consonância com o Programa de Implantação de Centrais Nucleares.
- Necessidade de Recursos Humanos para o Programa (Fig. 4).
- Necessidades de Recursos Financeiros para o Programa (Fig. 5).

Com base na análise das Condições de Contorno, que delimitavam o programa, e os estudos de viabilidade, acima citados, é que se tomaram as decisões fundamentais relativas ao mesmo e se estabeleceram as políticas e estratégias de execução.

É importante ressaltar que - como registrado acima, o Setor Elétrico, através da ELETROBRÁS, sempre participou da definição e execução do Programa de Centrais Nucleares. Também, os trabalhos fundamentais da CBTN, abaixo relatados, foram realizados em estreita cooperação com a ELETROBRÁS.

DECISÕES FUNDAMENTAIS, POLÍTICAS E ESTRATÉGICAS

Chamamos de decisões fundamentais aquelas que consubstanciaram a concepção política e estratégica do Programa de Centrais Nucleares, com a correspondente transferência de tecnologia.

Estas decisões fundamentais podem ser resumidas como se segue:

- Decisão de empreender um “Programa de Implantação de Centrais Nucleares” numa dimensão e ritmo que permita:
 - . a transferência de tecnologia
 - . a participação crescente da engenharia e indústria nacionais
 - . a implantação do ciclo do combustível.

- Decisão de implantar as usinas do Ciclo do Combustível, gradativamente, na medida da nossa qualificação técnica e da viabilidade econômica.
- Decisão de implantar uma engenharia e indústria nucleares com capacidade crescente, a cada central do Programa.
- Opção por uma tecnologia que seria a que melhor atendesse aos interesses nacionais, a médio e longo prazos.
- Opção pela transferência de tecnologia.
- Opção pela estandardização, isto é, por construir por um prazo determinado, usinas em série, tanto quanto possível, segundo o mesmo padrão tecnológico.
- Definir, no Programa de Implantação um nível de participação nacional, crescente a cada central do programa, em termos de equipamento, engenharia e gerenciamento do empreendimento.
- Negociar, globalmente, com o transferidor de tecnologia, ao nível de país, a participação conjunta em uma série de centrais (quatro, como foi posteriormente definido), em contrapartida à total transferência de tecnologia no que diz respeito à engenharia, construção e ao gerenciamento das centrais e ao ciclo do combustível, sobretudo as tecnologias sensíveis.
- Estabelecer empresas mistas, em conjunto com o transferidor da tecnologia, com o objetivo de otimizar a transferência de tecnologia e garantir a disponibilidade e a segurança das centrais nucleares. Dessas, a empresa encarregada de absorver a tecnologia de centrais nucleares foi a NUCLEN. Sobre ela concentraremos nossa atenção.

As decisões fundamentais acima deram origem às políticas e estratégias de execução do Programa, que estão resumidas no quadro da Fig. 6.

CONCRETIZAÇÃO DO PROGRAMA E SEUS RESULTADOS QUANTO À TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

No item anterior, apresentamos as políticas e estratégias segundo as quais foi conduzido o programa. Vamos agora detalhar, apenas, as ações referentes ao objeto principal deste trabalho ou seja, a Transferência de Tecnologia.

A estratégia para transferência de tecnologia. A estratégia adotada compreende duas linhas de ação, desenvolvidas paralelamente. De um lado, as ações desenvolvidas pela NUCLEN, em conjunto com o transferidor da tecnologia e, de outro, as atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas autonomamente, com eventual assistência técnica. Esta última, a linha autônoma de ação, se desenvolveu com a coordenação da NUCLEN, com base, sobretudo, nos Institutos de Pesquisas, especialmente o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN, ex-IPR), na engenharia e na indústria nacionais (Fig. 7).

Estas duas vertentes inter-reagem e devem se somar, objetivando a meta final, que é o desenvolvimento de uma tecnologia própria.

No início do programa, as ações em conjunto com o transferidor de tecnologia têm mais ênfase mas, gradativamente, o esforço principal irá se deslocando no sentido das realizações autônomas.

O processo de transferência de tecnologia, com a participação das duas linhas de ação acima mencionadas, se realiza em três fases, que se desenvolvem simultaneamente, e que são: a assimilação da tecnologia em transferência; a adaptação às condições locais; e a criação autônoma da tecnologia. Também aqui o processo tem, no início, a sua ênfase na primeira fase, a transferência de tecnologia, mas esta ênfase se desloca, no tempo, na direção da criação.

As ações desenvolvidas em conjunto com o transferidor, que é a primeira linha de ação, tem uma participação fundamental na assimilação da tecnologia e subsidiária, como assistência técnica, na adaptação e criação de uma tecnologia própria.

As atividades autônomas, que se constituem na segunda linha de ação, capacitam as equipes na fase de assimilação, beneficiando-se do processo de transferência; e tem a sua maior relevância ao promover as fases de adaptação e criação.

Vamos descrever, a seguir, com mais detalhe, a linha de ação desenvolvida conjuntamente com o transferidor da tecnologia (a Alemanha, em função do Acordo Nuclear de 1975 com este país). Neste contexto, o parceiro alemão da NUCLEN foi a KWU.

Segundo o esquema adotado, a transferência se fez segundo três fluxos. O primeiro se efetivou da KWU para a NUCLEN, num fluxo de transferência através dos seguintes instrumentos: (Fig. 8 - 1º Fluxo).

- completa transferência de documentos, projetos, cálculos, especificações, manuais, normas, instruções, etc.;
- transferência de Programas de Computador e do Banco de Dados;
- treinamento de técnicos brasileiros, na KWU e outras organizações de pesquisa e industriais na Alemanha;
- missões de especialistas alemães, no Brasil, para assistência técnica específica;
- treinamento em serviço de técnicos brasileiros em projetos alemães;
- treinamento em serviço proporcionado pelos alemães, trabalhando na NUCLEN, em conjunto com brasileiros;
- realização em conjunto, no Brasil, do projeto, construção, comissionamento e operação de centrais nucleares.

Um segundo fluxo de transferência de tecnologia, segundo a estratégia adotada, se processava da empresa mista, no caso a NUCLEN, na direção das empresas de engenharia e industriais nacionais. Esta transferência se realizava, principalmente, através de: (Fig. 8 - 2º Fluxo)

- Transferência de dados, especificações, normas e engenharia básica;
- Promoção de capacitação das empresas;
- Suporte para o desenvolvimento dos programas e manuais de garantia da qualidade;
- Assistência técnica e coordenação da assistência técnica com o eventual transferidor da tecnologia.

Finalmente, um terceiro fluxo de tecnologia se estabelecia das empresas de engenharia e industriais, de países tecnologicamente desenvolvidos, na direção das empresas de engenharia e indústria nacionais.

Esta transferência se efetivava através de (Fig. 8 - 3º Fluxo):

- Assistência técnica para a execução da engenharia de projeto básico e de detalhe, técnicas de planejamento e execução da produção;
- Envio de delegados para realização de missões técnicas específicas;

- Organização dos programas e manuais de garantia de qualidade;
- Treinamento de pessoal, inclusive nas instalações do transferidor.

As fases de adaptação da tecnologia e a de criação de uma tecnologia, que se seguem à fase de transferência de tecnologia, se processaram a partir dos institutos de pesquisa e das firmas de engenharia e industriais, sob coordenação da NUCLEN. A ênfase das atividades, segundo as diferentes fases, se modifica ao longo do tempo, como já foi descrito anteriormente.

As Fig. 7 e 8 ilustram toda a estratégia de transferência de tecnologia, como foi, sucintamente, descrita nos parágrafos anteriores.

Como se pode ver, trata-se de um processo sistêmico muito complexo e que objetiva, finalmente, a efetivação da transferência de tecnologia nas áreas de engenharia, industrial e de gerência de projetos.

Para que se efetive a transferência de tecnologia, é necessário, entretanto, que se configurem certas condições básicas para essa transferência. Não cabe nesta análise uma dissertação mais extensa sobre estas condições básicas e de como as mesmas foram preenchidas pela estratégia adotada. Não obstante, resumidamente, vamos citar as condições mais significativas que devem ser satisfeitas.

- Vivência de um caso real e atual;
- Acesso às instalações, patentes, documentação, banco de dados do transferidor;
- Transferidor competente e interessado;
- Receptor competente e interessado;
- Inter-relacionamento técnico prolongado e efetivo de transferidor e receptor;
- Estabelecimento de uma infra-estrutura que, detenha a tecnologia; mantenha, ordenadamente, o acervo tecnológico e se responsabilize por sua atualização e aplicação continuada.

A Fig. 9 apresenta as condições acima citadas, discriminando, em paralelo, as medidas mais importantes adotadas para assegurar essas condições.

Pelo exame das medidas tomadas, se compreende que as empresas mistas e as estratégias de transferência de tecnologia adotadas têm papéis decisivos para propiciar a existência das condições básicas necessárias à transferência.

Transferência de Tecnologia na Engenharia. A transferência de tecnologia no setor da engenharia, se fez, principalmente, para a NUCLEN e para as empresas privadas nacionais de engenharia, envolvidas no processo.

Coube à NUCLEN empreender a transferência de tecnologia de projetar e construir centrais nucleares para si mesma e promover esta transferência, no que for pertinente, diretamente, ou através de fornecedores de know-how à engenharia e indústria nacionais privadas. A responsabilidade direta da NUCLEN limitava-se ao domínio do que é essencial para que tivéssemos um programa integrado, com um padrão tecnológico único, ou seja: o conceito tecnológico, o projeto básico e a gerência técnica global do empreendimento.

À engenharia e indústria nacionais privadas, coube a responsabilidade por tudo o mais, ou seja: a engenharia de detalhe, de sistemas, de produto; o gerenciamento técnico e a execução direta das atividades.

Os resultados dos esforços despendidos no sentido da transferência de tecnologia, pode ser resumido pela capacidade que temos hoje de realizar, no país, com técnicos e empresas nacionais, cerca de 75% de todos os serviços e suprimentos necessários à construção de uma central nuclear, assim discriminados: 100% da construção civil; 75% do projeto; 60% dos equipamentos; 70% da montagem.

Podem-se citar, entretanto, outros fatos que, claramente, indicam que a transferência de tecnologia se tem processado, extensamente, e de forma competente.

- *O treinamento na KWU de grande número de engenheiros, nas diversas fases da engenharia e da construção de centrais nucleares (Fig. 10).*

Cerca de 240 engenheiros da NUCLEN foram treinados em serviço na KWU e em instalações industriais alemãs. Este treinamento abrangeu 526 homens x ano. A Fig. 10 mostra a distribuição do treinamento realizado nas diversas áreas de atividade da NUCLEN, essencialmente já na primeira década do Programa.

- *Inter-relacionamento técnico diário, em serviço, entre os engenheiros alemães e brasileiros, como empregados da NUCLEN.*

A Fig. 11 mostra a evolução, nessa primeira década, das equipes de engenheiros alemães e brasileiros nas Diretorias Técnicas e de Construção. Ao longo do tempo, o número de alemães permaneceu, praticamente, constante e o número de brasileiros cresceu, de maneira que, a NUCLEN passou a ser uma companhia com

predominância quase total de engenheiros brasileiros (96%). Hoje, transformada em ELETRONUCLEAR, este número é de 100%.

- *A crescente participação de engenheiros brasileiros nas funções de chefia.*
Paralelamente ao desenvolvimento do projeto de ANGRA 2 e 3 e à crescente capacitação de pessoal técnico brasileiro, foram sendo estabelecidas, na NUCLEN, novas capacitações técnicas, com a conseqüente criação de departamento e divisões, predominantemente sob a chefia de pessoal técnico brasileiro. Em 1977, para 13 chefias alemães, havia apenas 1 chefe brasileiro, já em 1988 existiam 115 chefes brasileiros e 15 alemães.
- *Assistência técnica de engenheiros da KWU e da indústria alemã, através de delegados junto a engenheiros brasileiros, na NUCLEN e na indústria brasileira.*

Além dos engenheiros alemães que trabalham na NUCLEN como empregados, com contratos de trabalho com a duração mínima de 3 anos, outros engenheiros da KWU e da indústria alemã realizam missões de assistência técnica, geralmente, de curta duração, na NUCLEN, com o objetivo de transferir tecnologia em setores específicos. De 1981 até maio de 1988, recebeu a NUCLEN 200 especialistas nas condições acima citadas.

No caso da indústria brasileira, estas missões se realizavam no âmbito dos contratos de transferência de tecnologia celebrados com seus parceiros alemães. A Fig. 12 relaciona as principais empresas receptoras e cedentes e a tecnologia envolvida nos respectivos contratos de transferências de tecnologia. Ainda no contexto de tais contratos, são realizadas missões de engenheiros brasileiros das companhias receptoras nas instalações de seus parceiros estrangeiros.

- *Transferência, para a NUCLEN, do acervo técnico através da documentação de projeto, especificações, normas, manuais, relatórios técnicos, programas de computador, procedimentos de gerência e de operações, etc.*

A Fig. 13 quantifica tal transferência no período de 1977 - 1988, envolvendo um total de mais de 68.500 documentos.

- *Implementação do programa de Garantia da Qualidade na indústria nacional, visando atingir os elevados padrões de qualidade requeridos pela tecnologia*

nuclear. A introdução desses programas permitiu a diversas indústrias brasileiras competirem no mercado de exportação, assim como também se qualificarem como fornecedoras de equipamentos nucleares.

Graças a estes esforços, várias companhias nacionais passaram para a situação privilegiada estarem capacitados a fornecerem equipamentos nas áreas de petróleo e nuclear, atendendo aos requisitos da “American Petroleum Institute (API)” e da “American Society of Mechanical Engineering (ASME)”.

- *Participação importante da engenharia nacional para fornecer serviços de engenharia na instalação das centrais nucleares do programa.*

A participação da NUCLEN e empresas de engenharia brasileiras contratadas ficará acima de 75% do total de serviços de engenharia de projeto necessários para Angra 2 e 3 e tem aumentado, ano a ano, em virtude de sua crescente capacitação. Já em 1985, dos 113 sistemas da central, 108 passaram a ser projetados pela NUCLEN e apenas 5, referentes ao circuito primário, permaneceram sob a responsabilidade da KWU, porém com parte do projeto sendo feito pela NUCLEN (Fig.14).

- *Aceitação externa da competência e qualificação dos engenheiros e das empresas do Grupo NUCLEBRÁS para fornecimento de serviços e equipamentos.*

A KWU contratou a NUCLEN para prestar serviços de engenharia em projetos da KWU, referentes a centrais que não Angra 2 e 3. Estes serviços são executados mediante o envio à Alemanha de engenheiros qualificados da NUCLEN. Na Figura 15 discrimina-se as áreas de serviços prestados e os Homens x mês empregados, entre 1980 e 1988.

Cursos de treinamento em simulador, ministrados por instrutores brasileiros, foram contratados com a NUCLEBRÁS/NUCLEN para operadores de centrais alemãs e da Espanha, bem como para pessoal de outras empresas européias (não operadoras de centrais nucleares). A utilização destes serviços está indicada na Fig. 16. Nesta mesma linha de prestação de serviços, a empresa espanhola responsável pela construção da central nuclear de Trillo contratou a

NUCLEBRÁS para a realização de cursos, em Madrid, ministrados por engenheiros brasileiros, sobre sistemas de reatores PWR-KWU.

A Argentina contratou à NUCLEBRÁS/NUCLEP (subsidiária responsável pela fabricação dos componentes pesados do circuito primário da usina) o fornecimento de componentes pesados do circuito primário do reator ATUCHA 2. Engenheiros brasileiros passaram a ser convidados, cada vez com maior frequência, pela Agência Internacional de Energia Atômica, para servir como consultores ou assessores nas questões de transferência de tecnologia para países em desenvolvimento, ou em áreas técnicas, mesmo de ponta.

- *Utilização crescente de serviços de engenharia e fornecimento de materiais e equipamentos para atividades nucleares não vinculadas ao Programa Nuclear com a RFA.*

A NUCLEN tem fornecido serviços a FURNAS relativos a Angra 1. Estes serviços dizem respeito ao projeto e fornecimento de elementos combustíveis, à instalação de grupos Diesel geradores adicionais, à instalação de um sistema de limpeza contínua dos condensadores, à análise de testes não-destrutivos de geradores de vapor e ao fornecimento de mão-de-obra especializada para inspeções em serviço durante a parada da Central.

Também nesse contexto, a NUCLEN estabeleceu instrumentos de cooperação com a empresa argentina ENACE (Empresa Nuclear Argentina de Centrais Eléctricas), através dos quais os seus engenheiros prestaram serviços remunerados de engenharia na referida empresa.

Transferência de Tecnologia na Indústria. A Transferência de Tecnologia, na área industrial, se faz na direção da NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados) no que se refere aos equipamentos do Sistema Nuclear de Suprimento de Vapor, e em favor da indústria privada, no que se refere aos equipamentos restantes, chamados “Suplemento da Usina”. A Fig.17 indica um exemplo.

- Pode-se avaliar, facilmente, o grau de transferência de tecnologia havida quando se constata que, presentemente, a indústria nacional está em condições de fornecer 60% dos equipamentos de uma central nuclear.

Entretanto, existem muitos outros indicadores que apontam, claramente, no sentido de que houve uma acentuada transferência de tecnologia na área industrial, entre os quais destacamos:

- Cursos de Garantia da Qualidade, oferecidos às indústrias participantes do Programa, e que conferiu os primeiros certificados, o Brasil, de “Engenheiros da Qualidade” conferidos, em exame, pelas ASQA (Fig. 18).
- Transferência de tecnologia para as indústrias brasileiras participantes do programa da tecnologia de fabricação dos equipamentos de uma central nuclear, através de contratos de licença e assistência técnica (Fig. 12).
- Qualificação técnica de cerca de 400 empresas industriais para participação no programa de centrais nucleares (Fig. 19).
- Desenvolvimento dos métodos e técnicas de controle de qualidade, sobretudo no que diz respeito a testes não-destrutivos.
- Implantação da filosofia de Garantia de Qualidade e a de todo um sistema de qualidade, o que inclui a criação do Instituto Brasileiro da Qualidade Nuclear (IBQN).
- Aprimoramento do planejamento industrial e das técnicas e processos de fabricação, em função dos severos requisitos de qualidade dos produtos.
- Elevação da qualidade dos produtos, em decorrência da aplicação de novas técnicas e, sobretudo, da implantação dos Programas e Manuais de Garantia de Qualidade (Fig. 20).
- Crescimento da capacidade de exportação da indústria, em função dos aprimoramentos técnicos e de garantia da qualidade implantados, o que permitiu a várias indústrias obterem certificados tipo ASME (American Society for Mechanical Engineers), e outros, que as habilitaram a competir no mercado internacional.
- Desenvolvimento e disseminação de procedimentos técnicos específicos, não comuns na indústria, como sejam testes não-destrutivos, trabalhos em condições ambientais controladas, tecnologia de soldagem e qualificação técnica de soldadores e procedimentos de soldas, procedimentos de garantia de qualidade, cálculos sísmicos para equipamentos.

- Desenvolvimento e fabricação de novos materiais e equipamentos que não eram, anteriormente ao programa, produzidos no país, devendo-se destacar a criação de uma capacidade de fabricar equipamentos de grande peso e volume com alto padrão tecnológico e tolerâncias extremamente severas. (Fig. 21, 22 e 23)
- Crescimento acentuado da nacionalização dos equipamentos de uma central nuclear que se elevou de 7% (sete por cento), em Angra 1, a 35% (trinta e cinco por cento) em Angra 2 e é hoje, potencialmente, de 60%.
- Estabelecimento de um mercado interno de equipamento para Centrais Nucleares que permitiu encomendar à indústria nacional, centenas de milhões de dólares, correspondentes à Angra 2, e que na próxima usina poderá atingir encomendas ainda maiores.

CONCLUSÕES

A análise dos fatos e dados apresentados demonstram, claramente, que o Programa de Centrais Nucleares, concebido entre 1972 e 1974 pelo CBTN e precedido por uma série de estudos de viabilidade da CNEN na década anterior, trouxe, direta e indiretamente, expressivos resultados, sobretudo em termos de Transferência de Tecnologia.

Primeiramente, é importante ressaltar o nível de acerto alcançado na Concepção Política e Estratégica do programa. Este fato cresce de significação quando se considera o grau de complexidade do mesmo, os vários parâmetros envolvidos e as diversas condições de contorno que se fazia necessário atender. É preciso reconhecer a propriedade da concepção adotada e o acerto das decisões fundamentais que foram tomadas.

Também as políticas e estratégias, estabelecidas a partir daquela concepção, se demonstraram extremamente eficazes no atingimento dos objetivos pretendidos.

A decisão de negociar o programa a nível de governo se evidenciou como extremamente pertinente, quando, posteriormente, fortes pressões internacionais tentaram anulá-lo.

A opção por uma única tecnologia e a construção de centrais padronizadas veio a ser confirmada, como a mais adequada, pela prática internacional. A tecnologia escolhida

caracterizou-se como a mais econômica e segura, vindo a predominar, em mais de 80%, nos programas mundiais.

A opção por um Programa de Implantação, bem definido e integrado, viabilizou a participação da engenharia e da indústria nacionais, como os fatos vieram a demonstrar.

O estabelecimento de uma empresa mista, coordenando a construção das centrais e a transferência de tecnologia, se revelou muitíssimo eficaz, quer do ponto de vista técnico quer quanto à segurança das centrais.

De outro lado, a execução do programa, como se pode concluir de seus resultados, foi conduzida com correção e eficácia, sobretudo no que diz respeito à transferência de tecnologia.

A avaliação global dos resultados se evidencia quando se verifica que, presentemente, estamos capacitados a realizar 75% do projeto de uma central nuclear e a fornecer 60% dos seus equipamentos.

Esta capacitação, em nível extremamente significativo, compreende o treinamento de centenas de técnicos e a qualificação técnica de uma centena de empresas de engenharia e de indústrias nacionais.

O engajamento dessas empresas no programa representou, para um segmento das mesmas, um aperfeiçoamento técnico importante, um salto tecnológico que lhes permitiu posicionar-se em um patamar mais elevado de qualidade e capacitação.

O excelente desempenho das usinas de Angra, em particular de Angra 2, é um testemunho eloqüente e concreto do sucesso do Programa nesta sua primeira fase de implantação, a mais difícil.

Estes resultados, a par de permitirem a concretização do programa nuclear, significaram um avanço no sentido das metas estratégicas do país, da independência energética e tecnológica. Da mesma forma, representaram um alavancamento no aperfeiçoamento industrial do país, na sua emancipação da condição de subdesenvolvimento.

Pode-se concluir, portanto, que o Programa de Centrais Nucleares foi concebido e executado correta e eficazmente e tem contribuído para a estratégia maior de desenvolvimento tecnológico e sócio-econômico de nosso país, essenciais à elevação do padrão de vida de nosso povo e ao bem-estar social.

OS AUTORES

Os autores são ligados direta ou indiretamente à obra pioneira iniciada por Francisco de Assis Magalhães Gomes. Carlos Syllus, quando Diretor da NUCLEBRÁS, elevou o IPR, legado - mór de Magalhães Gomes, à condição de Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear do Grupo NUCLEBRÁS e lá concentrou o trabalho de P&D de suporte ao Programa de Centrais Nucleares. Witold Lepecki, além de ter sido aluno do Professor Magalhães, iniciou sua carreira no IPR, onde permaneceu por uma década. O presente artigo representa uma síntese e atualização de inúmeros trabalhos anteriores dos autores, em conjunto ou separadamente, apresentados em congressos nacionais e internacionais sobre o tema do planejamento e implantação do programa brasileiro de centrais nucleares, no qual tiveram participação ativa. Tem, portanto, a natureza de um importante registro histórico.

FIGURAS

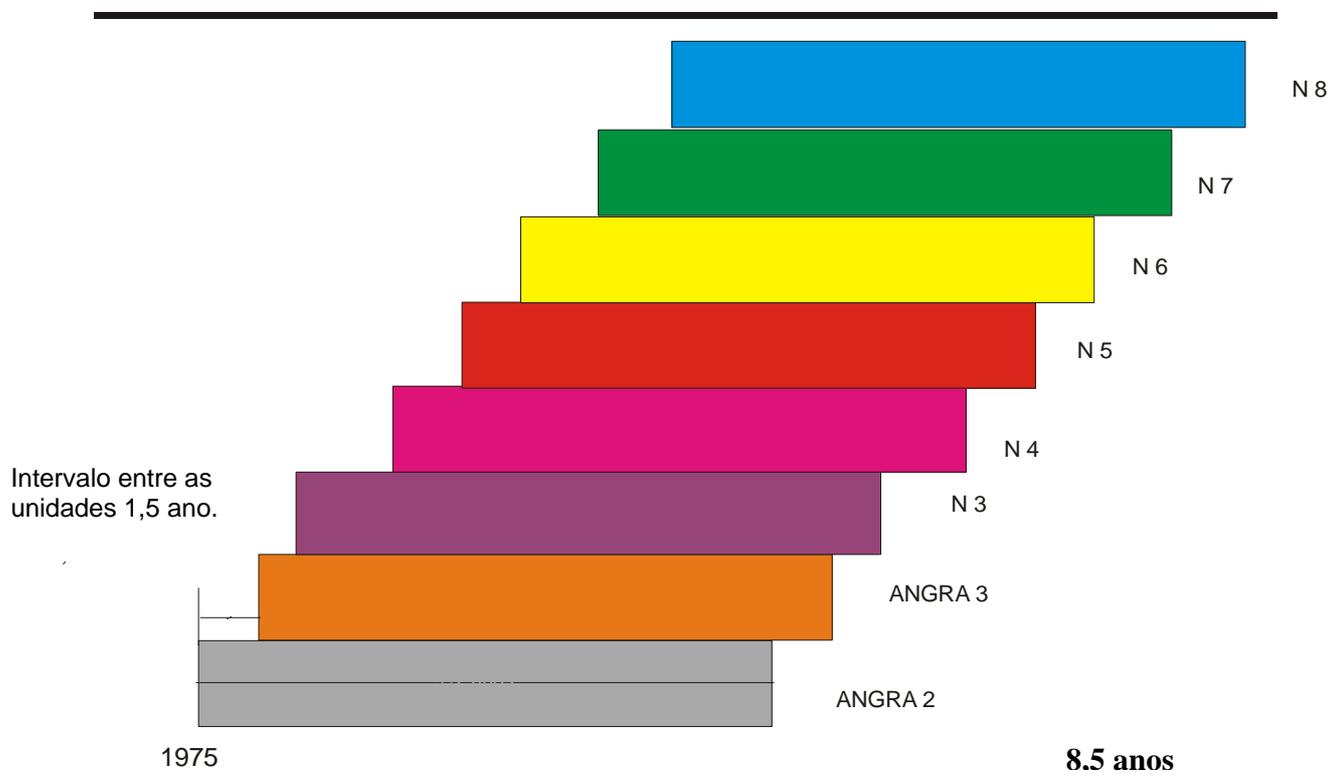
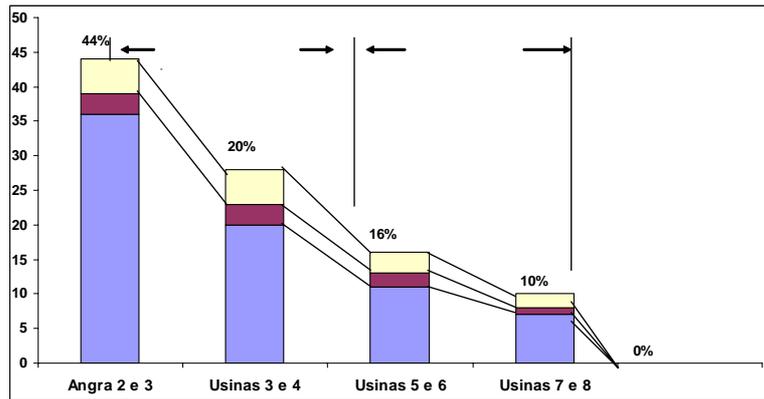
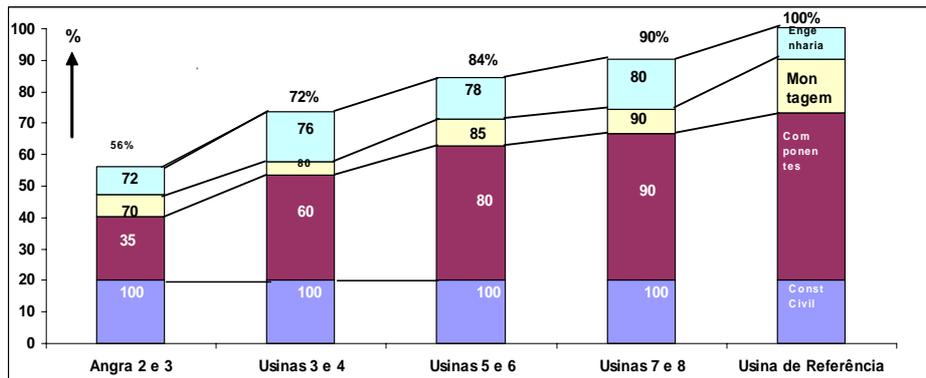


FIG.1-PROGRAMA NUCLEAR: 8 USINAS DE 1245 MWe (PLANEJADO)

**FIG.2 – EVOLUÇÃO DA NACIONALIZAÇÃO
PROGRAMA DE CONSTRUÇÃO DE USINAS NUCLEARES**



Participação Brasileira (média de 8 usinas 76%)



% de Nacionalização de Item a ser considerado.

**FIG.2 – EVOLUÇÃO DA NACIONALIZAÇÃO
PROGRAMA DE CONSTRUÇÃO DE USINAS NUCLEARES**

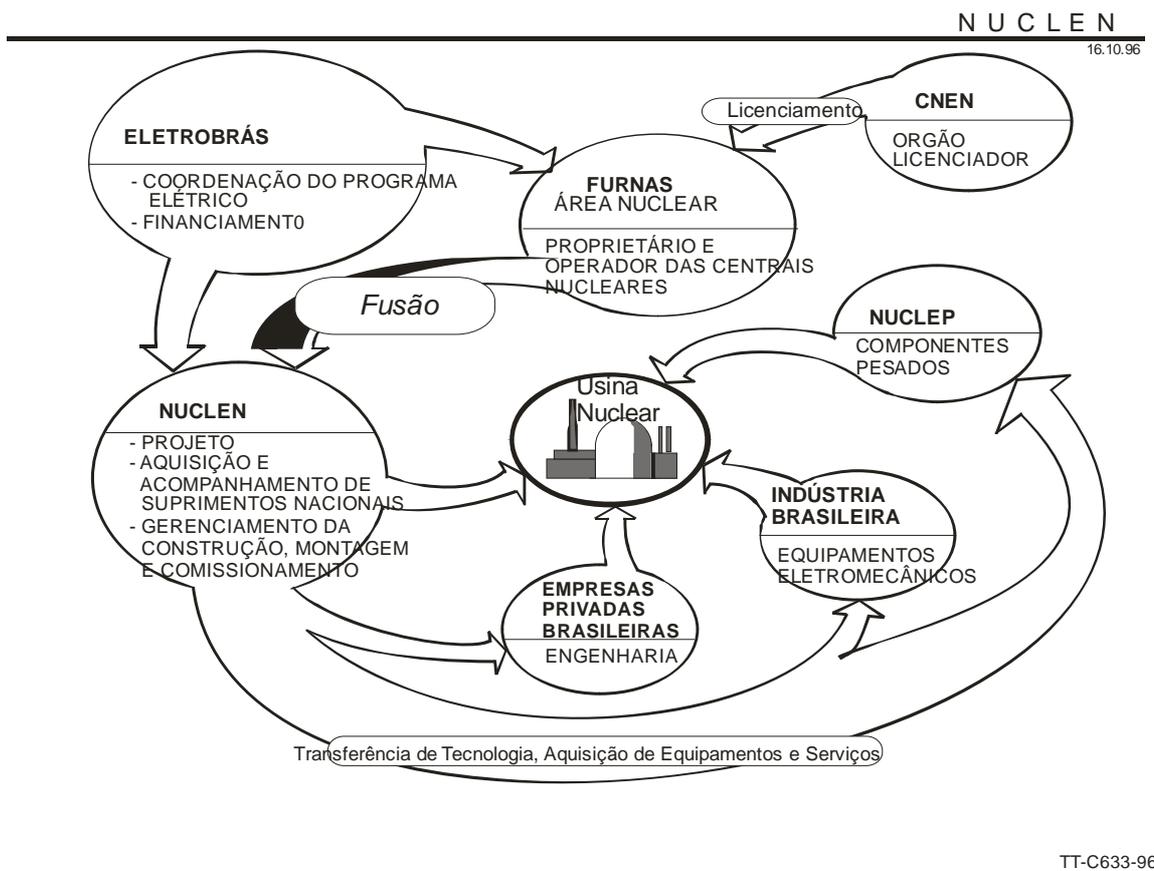


FIG. 3 – PAPEL DA NUCLEN NA CONSTRUÇÃO DE CENTRAIS NUCLEARES

S - Nível Superior
M - Nível Médio

SETOR		ANOS								
		1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	
INDÚSTRIA NUCLEAR	CIA. ENGENHARIA - PROJETO INSTALAÇÕES CENTRAIS NUCLEARES	S	120	45	75	50	55	125	105	120
		M	15	100	90	5	5	30	155	150
	OPERAÇÃO DE CENTRAIS NUCLEARES	S	15	0	0	10	5	10	5	20
		M	0	0	0	30	20	0	90	115
	FÁBRICA DE COMPONENTES PESADOS	S	40	5	20	0	5	15	5	15
		M	0	20	125	110	75	15	20	145
	PRODUÇÃO DE CONCENTRADOS DE URANIO	S	0	0	0	30	20	25	20	20
		M	0	0	0	55	45	45	45	40
	FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS	S	0	0	15	5	0	5	0	5
		M	0	0	15	25	0	5	20	20
USINA DE PROCESSAMENTO E TRATAMENTO DE REJEITOS	S	0	0	0	15	10	5	5	5	
	M	0	0	0	20	20	20	25	15	
USINA DE CONVERSÃO E ENRIQUECIMENTO	S	0	0	0	15	10	5	0	5	
	M	0	0	0	40	25	30	30	25	
TECNOLOGIA (P & D)	ENGENHARIA DE REATORES (P&D)	S	45	5	25	40	55	35	20	5
		M	1	3	1	5	20	0	20	25
	PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL	S	75	35	15	25	5	0	0	0
		M	90	150	205	10	0	0	0	0
	ELEMENTO COMBUSTÍVEL	S	15	10	0	0	0	0	0	0
		M	1	9	0	0	0	0	0	0
	REPROCESSAMENTO E TRATAMENTO DE REJEITOS	S	10	15	5	0	0	0	0	0
		M	10	10	25	0	0	0	0	0
	CONVERSÃO E ENRIQUECIMENTO	S	20	10	25	0	0	0	0	0
		M	5	15	55	0	0	0	0	0
PLANEJAMENTO E APOIO (P & D)	S	30	10	10	10	10	10	10	10	
	M	20	5	5	0	10	0	5	10	
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)	PLANEJAMENTO, COORDENAÇÃO E INFORMAÇÃO	S	30	0	0	0	0	0	0	0
		M	0	0	0	10	0	0	0	0
	LICENCIAMENTO, FISCALIZAÇÃO E NORMALIZAÇÃO	S	50	45	20	55	0	15	0	15
		M	15	0	5	0	0	0	10	0
	ENSINO E PESQUISA	S	15	10	0	0	20	0	0	10
		M	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTITUTOS DE PESQUISA	S	30	30	50	50	55	145	175	145	
	M	5	5	15	15	30	30	80	70	
INDÚSTRIA DE EQUIPA- MENTOS	CENTRAIS NUCLEARES	S	20	20	40	50	60	60	60	60
		M	40	40	90	90	115	115	115	115
	CICLO DO COMBUSTÍVEL	S	15	5	15	20	15	5	0	0
		M	20	15	30	50	25	5	0	0
	FÁBRICA DE COMPONENTES	S	20	0	0	5	0	0	5	0
		M	40	0	0	5	0	0	5	0
ENGENHARIA CONSTRUÇÃO MONTAGEM MANUTENÇÃO	CENTRAIS NUCLEARES	S	55	20	20	20	20	20	20	20
		M	50	50	50	15	5	5	40	80
	CICLO DO COMBUSTÍVEL	S	15	5	5	5	20	15	0	0
		M	5	20	25	25	20	15	0	0
	FÁBRICA DE COMPONENTES	S	35	5	0	5	0	0	5	0
		M	35	5	0	5	0	0	5	0
ENSINO E PESQ. EM UNIVERSIDADES E ESCOLAS TÉCNICAS	S	115	15	0	0	0	0	0	0	
	M	20	10	10	10	0	0	0	0	
TOTAL	S	770	290	340	410	365	495	435	455	
	M	372	457	746	525	415	315	665	810	

**FIG. 4 - INCREMENTO ANUAL DE RECURSOS HUMANOS POR SETOR
INCLUINDO AS PERDAS (PLANEJADO)**

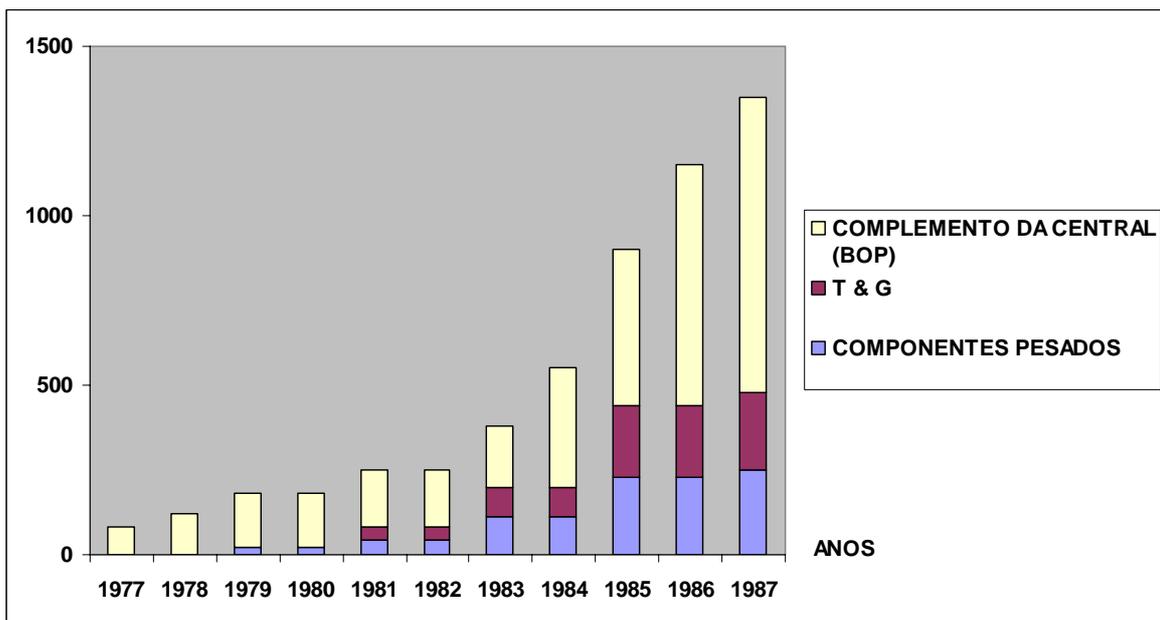


FIG.5 – PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO: PARTICIPAÇÃO DA INDÚSTRIA NACIONAL (DISPÊNDIO ANUAL EM DÓLARES)

POLÍTICA	ESTRATÉGIA
1. ASSEGURAR O MONOPÓLIO DO ESTADO PARA AS ATIVIDADES NUCLEARES	1.1. APROVAÇÃO DE INSTRUMENTOS LEGAIS DE INSTITUCIONALIZAÇÃO DO MONOPÓLIO. 1.2. CRIAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES NECESSÁRIAS À IMPLEMENTAÇÃO DO MONOPÓLIO. 1.3. DEFINIÇÃO DAS RESPONSABILIDADES DOS ÓRGÃOS PARTICIPANTES DO PROGRAMA.
2. UTILIZAR A ENERGIA NUCLEAR PARA FINS PACÍFICOS.	2.1. ACEITAÇÃO DE SALVAGUARDAS ESPECÍFICAS COM RELAÇÃO À TECNOLOGIA TRANSFERIDA. 2.2. ASSINATURA DE ACÓRDOS DE SALVAGUARDAS COM A AIEA E O PAÍS TRANSFERIDOR.
3. ASSEGURAR A DISPONIBILIDADE DE ENERGIA A MÉDIO PRAZO, PELA IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA NUCLEAR PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.	3.1. DEFINIÇÃO DAS RESERVAS MINERAIS NUCLEARES, ESPECIALMENTE URÂNIO. 3.2. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CENTRAIS NUCLEARES, INTEGRADO AO DE CENTRAIS HIDROELÉTRICAS. 3.3. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DO CICLO DO COMBUSTÍVEL COOMPATÍVEL COM O DE CENTRAIS NUCLEARES. 3.4. ESTABELECIMENTO DAS EMPRESAS NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO DO PROGRAMA. 3.5. ESTABELECIMENTO DE UMA INFRA-ESTRUTURA INDUSTRIAL (ENGENHARIA E INDÚSTRIA). 3.6. DEFINIR E IMPLEMENTAR UM PROGRAMA DE FORMAÇÃO E TREINAMENTO DE RECURSOS HUMANOS.
4. TRANSFERIR A TECNOLOGIA NUCLEAR DE PAÍSES TECNOLÓGICAMENTE DESENVOLVIDOS.	4.1. OPÇÃO POR UMA TECNOLOGIA EXCLUSIVA QUE MELHOR ATENDA OS INTERESSES NACIONAIS (PWR). 4.2. OPÇÃO PELA ESTANDARDIZAÇÃO DE CENTRAIS. 4.3. DEFINIÇÃO DE UM "MODELO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA". 4.4. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM "PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO" DA TECNOLOGIA NUMA DIMENSÃO E RITMO QUE SEJAM ECONOMICAMENTE VIÁVEIS E, EM PARALELO, PERMITAM: - A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA - A PARTICIPAÇÃO DA ENGENHARIA E INDÚSTRIA NACIONAIS - A IMPLANTAÇÃO DO CICLO DE COMBUSTÍVEL 4.5. NEGOCIAÇÃO DE GOVERNO DE UM PROGRAMA GLOBAL QUE COMPREENDA, EM CONTRAPARTIDA DA PARTICIPAÇÃO EXTERNA, A COMPLETA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NA ÁREA DE CENTRAIS E DO CICLO DE COMBUSTÍVEL. 4.6. NEGOCIAÇÃO DE LICENÇAS REFERENTES À TECNOLOGIA ATUAL E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS, COM LIVRE APLICAÇÃO NO PAÍS. 4.7. FIXAÇÃO, NOS CONTRATOS, DE METAS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PELA PARTICIPAÇÃO CRESCENTE DA ENGENHARIA E INDÚSTRIA NACIONAIS. 4.8. CRIAÇÃO DE EMPRESAS MISTAS. 4.9. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE TREINAMENTO DE PESSOAL NO PAÍS.
5. ALCANÇAR, NO MAIS CURTO PRAZO, A NECESSÁRIA INDEPENDÊNCIA DO EXTERIOR NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE COM BASE NA ENERGIA NUCLEAR.	5.1. DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE PARTICIPAÇÃO CRESCENTE DA ENGENHARIA E INDÚSTRIA NACIONAIS. 5.2. PROMOÇÃO DA ENGENHARIA E INDÚSTRIA NACIONAIS, 5.3. CRIAÇÃO DE UMA CAPACIDADE DE FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE GRANDE PESO E DIMENSÕES COM ALTO PADRÃO TECNOLÓGICO (SISTEMA PRINCIPAL DA CENTRAL). 5.4. GARANTIA DE MERCADO PARA INDÚSTRIAS DE CAPITAL NACIONAL. 5.5. INCLUSÃO, NOS ACORDOS DE GOVERNO A GOVERNO, E COMERCIAIS DECORRENTES, DE PROGRAMA OBRIGATÓRIO DE PARTICIPAÇÃO NACIONAL. 5.6. ASSESSORAMENTO À ENGENHARIA E INDÚSTRIAS NACIONAIS NO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA EXTERNA. 5.7. INTEGRAÇÃO DOS INSTITUTOS DE PESQUISAS AO PROGRAMA INDUSTRIAL. 5.8. INTEGRAÇÃO DA UNIVERSIDADE.
6. DAR PRIORIDADE À SEGURANÇA NO DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA NUCLEAR.	6.1. DEFINIÇÃO DE UMA FILOSOFIA E DE CRITÉRIOS DE SEGURANÇA. 6.2. ESTABELECIMENTO DE UM SISTEMA DE NORMALIZAÇÃO. 6.3. ESTABELECIMENTO DE UM SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE. 6.4. CRIAÇÃO DE EMPRESAS MISTAS. 6.5. ESTABELECIMENTO DA CO-RESPONSABILIDADE DO TRANSFERIDOR DE TECNOLOGIA NA SEGURANÇA DAS CENTRAIS. 6.6. ESTABELECIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA PARA O PROGRAMA NUCLEAR.

FIG.6 - ASPECTOS POLÍTICO-ESTRATÉGICOS DO PROGRAMA NUCLEAR

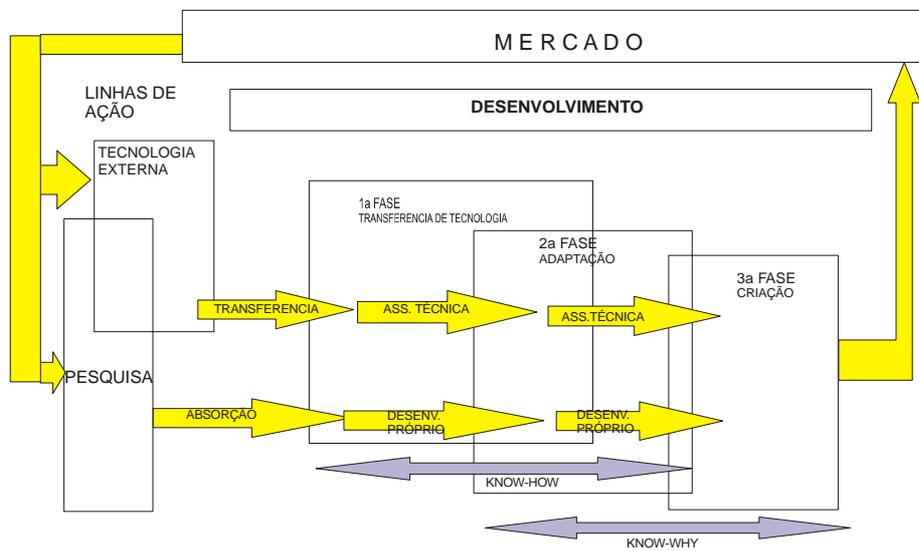


FIG.7 – DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

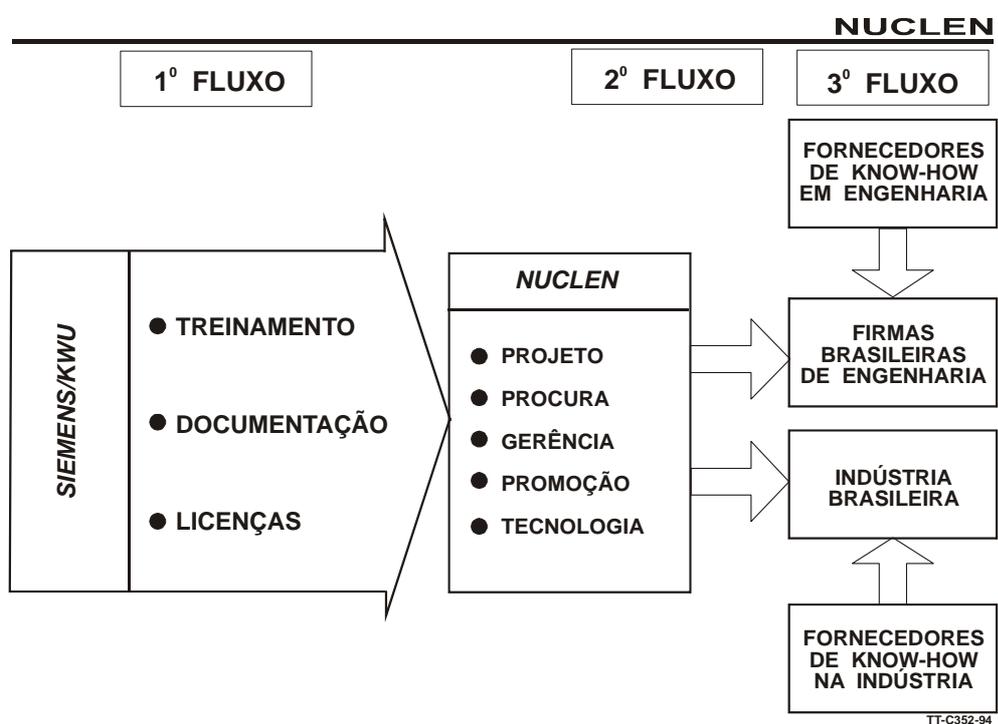
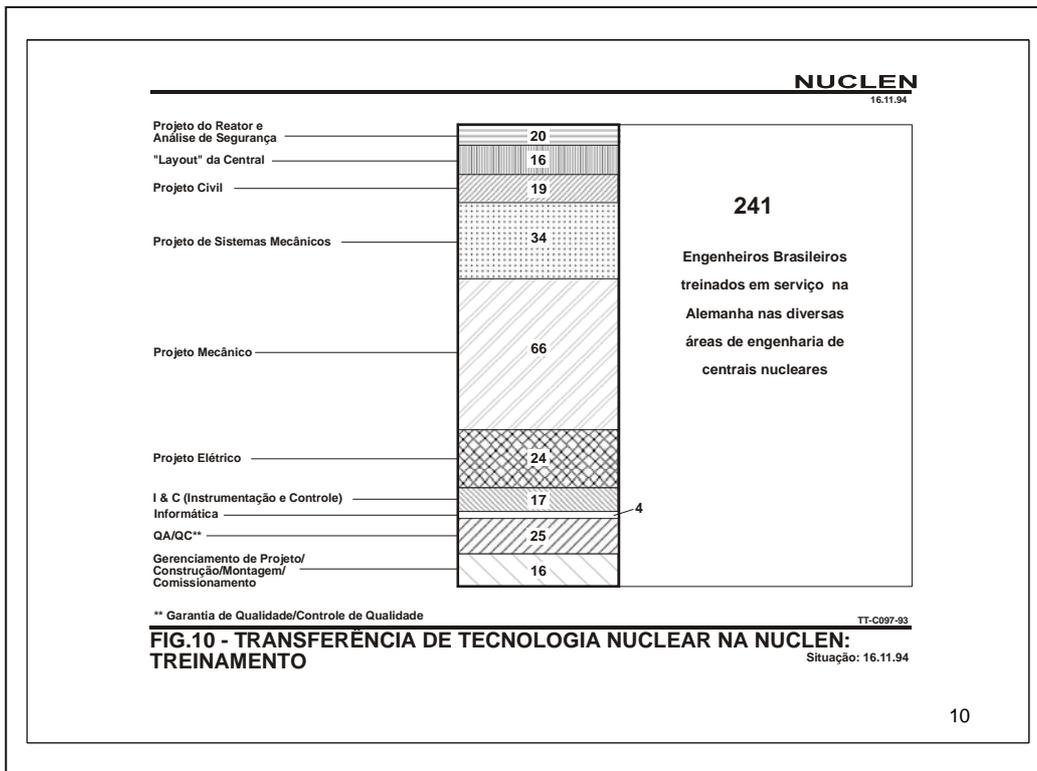
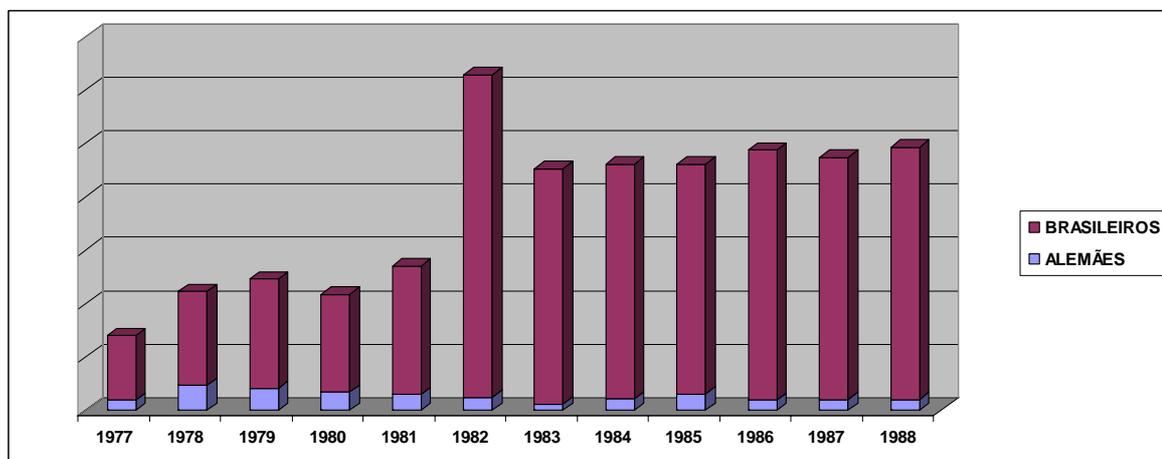


FIG.8 - TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA USINAS NUCLEARES: OS TRÊS FLUXOS DE "KNOW-HOW"

No.	CONDIÇÕES A SATISFAZER	MEDIDAS ADOTADAS
1	VIVENCIA DE UM CASO REAL E ATUAL	<ul style="list-style-type: none"> • PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS NUCLEARES EM EXECUÇÃO, ASSEGURANDO AS EQUIPES TÉCNICAS EM FORMAÇÃO UMA PRÁTICA PROFISSIONAL CONTINUADA
2	ACESSO ÀS INSTALAÇÕES, PATENTES, DOCUMENTAÇÃO, DA TECNOLOGIA DO TRANSFERIDOR.	<ul style="list-style-type: none"> • CONTRATOS DE LICENÇA, INFORMAÇÃO TÉCNICA, TREINAMENTO E ASSISTENCIA TÉCNICA ASSINADOS COM A KWU ASSEGURANDO: <ul style="list-style-type: none"> - ACESSO A DADOS, PROJETOS E PROGRAMAS, DOCUMENTAÇÃO, ETC. REFERENTES À TECNOLOGIA ATUAL E APERFEIÇOAMENTOS FUTUROS. - TRANSFERENCIA DO BANCO DE DADOS PARA O BRASIL. - COMPRA DE EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS CONDICIONADA, EM CONTRATO, À TRANSFERENCIA DA TECNOLOGIA.
3	TRANSFERIDOR COMPETENTE E INTERESSADO	<ul style="list-style-type: none"> • SELEÇÃO DO TRANSFERIDOR (KWU) APÓS NEGOCIAÇÕES COM POSSÍVEIS TRANSFERIDORES (KWU, CEA, WESTINGHOUSE). • SELEÇÃO DE GRANDES FIRMAS QUE PARTICIPAM DO PROGRAMA NUCLEAR ALEMÃO. • INTERFERENCIA NA ESCOLHA DOS EXPERTS/TRANSFERIDORES. • CRIAÇÃO DE COMPANHIAS MISTAS COMPROMETENDO RECURSOS E NOME DO TRANSFERIDOR.
4	RECEPTOR COMPETENTE E INTERESSADO	<ul style="list-style-type: none"> • SELEÇÃO CRITERIOSA DOS EMPREGADOS. • TREINAMENTO INTENSIVO NO PAÍS E NO EXTERIOR. • BOAS PERSPECTIVAS PROFISSIONAIS NA COMPANHIA MISTA. • INTERESSE COMERCIAL DA ENGENHARIA E INDUSTRIA NACIONAIS. • ACORDO DE GARANTIA DE MERCADO. • INTERESSE DAS COMPANHIAS E RESPECTIVOS TÉCNICOS NA AQUISIÇÃO DE "KNOW-HOW" AVANÇADO.
5	INTER-RELACIONAMENTO TÉCNICO PROLONGADO E EFETIVO DO TRANSFERIDOR E RECEPTOR	<ul style="list-style-type: none"> • TREINAMENTO EM SERVIÇO DO PESSOAL NA KWU E NA INDUSTRIA NA RFA. • TRABALHO TÉCNICO CONJUNTO DENTRO DA COMPANHIA MISTA, POR VÁRIOS ANOS. • TRANSFERÊNCIA GRADATIVA DAS ATRIBUIÇÕES TÉCNICAS E DE CHEFIA, DO TRANSFERIDOR PARA O RECEPTOR.
6	ESTABELECIMENTO DE UMA ESTRUTURA QUE DETENHA O "KNOW-HOW", SE RESPONSABILIZE POR SUA ATUALIZAÇÃO E APLIQUE CONTINUADAMENTE A TECNOLOGIA	<ul style="list-style-type: none"> • CRIAÇÃO DA COMPANHIA MISTA COM ESPECIALISTAS BRASILEIROS NOS DIVERSOS NÍVEIS. • SUPORTE DAS ORGANIZAÇÕES DE PESQUISAS, ESPECIALMENTE DO CDTN, VISANDO ADAPTAR A TECNOLOGIA TRANSFERIDA E INICIAR UM PROCESSO AUTÔNOMO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. • PROMOÇÃO DA PARTICIPAÇÃO CONTINUADA DA ENGENHARIA E INDÚSTRIA NACIONAIS.
7	PRÁTICA CONTINUADA DA TECNOLOGIA TRANSFERIDA	<ul style="list-style-type: none"> • PROGRAMA DE CENTRAIS SEM SOLUÇÃO DE CONTINUIDADE.

FIG. 9 – REQUISITOS PARA ASSEGURAR A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA





**FIG. 11 – DIRETORIAS TÉCNICA E DE CONSTRUÇÃO
ENGENHEIROS E TÉCNICOS DA NUCLEN**

NUCLEN

04.10.93

FORNECIMENTO	N° COMPONENTES	FORNECEDORES	KNOW-HOW
SEPARADOR DE UMIDADE E REAQUECEDOR	2	COBRASMA	BALCKE-DUERR
SISTEMA DE PREAQUECIMENTO	37	COBRASMA	BALCKE-DUERR
TANQUE DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO	1	CONFAB	BALCKE-DUERR
TANQUE DE ÁGUA BORADA	8	CONFAB	--
ACUMULADORES, CONDENSADORES	8/3	NUCLEP	VOEST / KWU
BOMBAS PRINCIPAIS DE REFRIGERAÇÃO	6	TREU	BALCKE-DUERR
SISTEMA DE PURIFICAÇÃO MECÂNICA	--	BARDELLA	DAVY BEMAG
BOMBAS REFRIGERAÇÃO EMERGÊNCIA (A3)	8	KSB	KSB
VÁLVULAS GAVETA E RETENÇÃO PORTINHOLA	347	--	PREUSSAG
VÁLVULAS BORBOLETA E RET. BASCULANTE	143	--	SCHMITZ+SCHULTE
PLANTAS DE EVAPORAÇÃO / DEGASIFICAÇÃO	23	CONFAB	LUWA
FILTROS, PENEIRAS, EQUIP. PROCESSO	181	TREU	ATLANTIC, THYSSEN
PLANTA DE ENCHIMENTO DE TAMBORES	17	CEC	THYSSEN
GRUA POLAR E GRUA PRÉDIO TURBINA	2	Situação em 16.11.94	NOELL
SUPORTES REATOR E CIRCUITO PRIMÁRIO	8	CONFAB	KWU
VASO DE CONTENÇÃO E ECLUSAS	4	CONFAB	NOELL
BOMBAS CENTRÍFUGAS HORIZONTAIS	53	SULZER	SULZER
TOTAL (APROXIMADO)	1.000 EQUIP. + 5.200 VALV.	30	

**FIG. 12 – ANGRA 2 E 3 – COMPONENTES MECÂNICOS –
PRINCIPAIS FORNECEDORES**

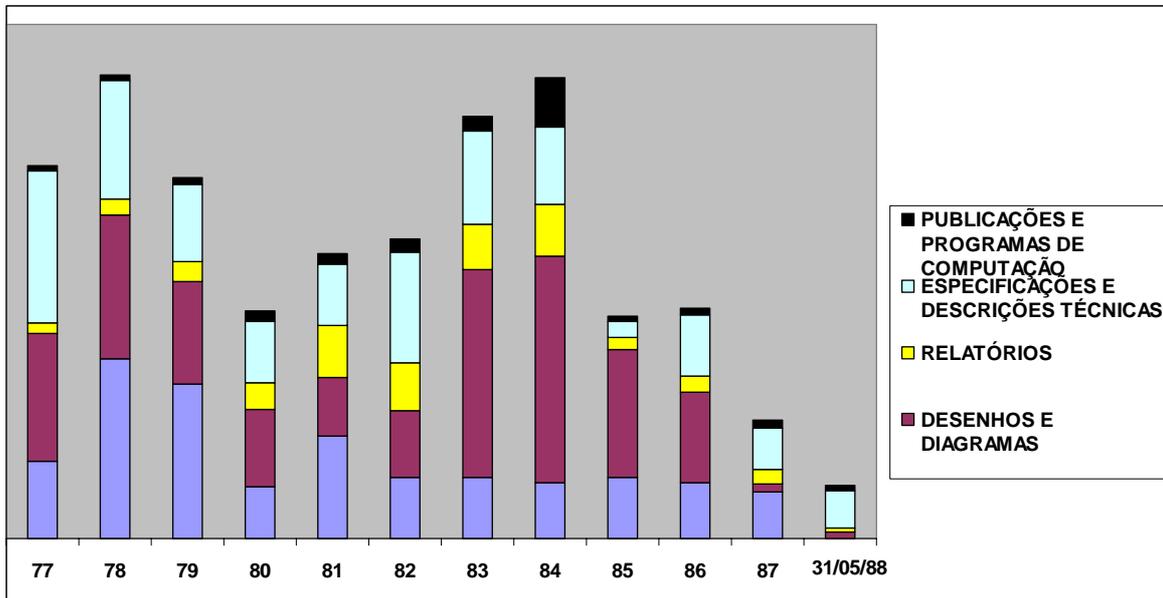
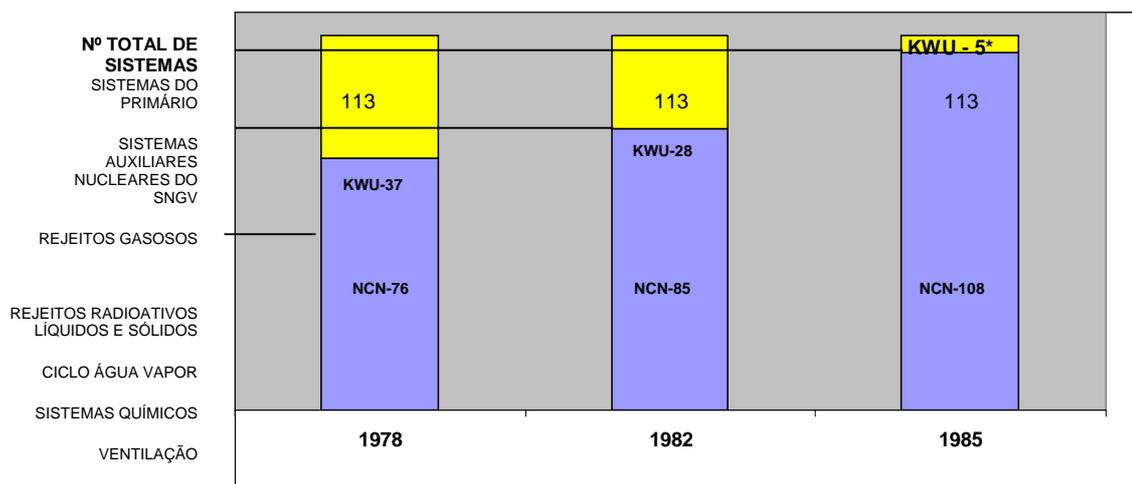


FIG. 13 - NÚMERO DE DOCUMENTOS RECEBIDOS VIA TIC (TECHNICAL INFORMATION CONTRACT) (TOTAL: 68.523)



ANO

*COM PARTICIPAÇÃO DA NCN

FIG. 14-TRANSFERÊNCIA DO PROJETO DE SISTEMAS DA KWU PARA NUCLEN ANGRA 2 E 3

(HOMENS-MÊS)

ÁREA	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	TOTAL
1)Layout e Projeto Civil	10,5	67	-	31,5	77	66	65,5	62	25	404,5
2)Projeto Elétrico	13	61,5	15	-	-	-	12	12	6	119,5
3)Projeto Mecânico	18	56	14,5	51	89	21	78	85,5	18,5	430,5
4) Sistemas	26	118,5	22	26,5	46	25,5	27	54,5	25	371,0
5) Montagem e Comissionamento	-	-	-	6	18	18	6	-	2,5	48,0
6)Garantia da Qualidade	4	7	-	8	14	-	-	19	10	60,0

FIG. 15-SERVIÇOS NA RFA EXECUTADOS PELA NUCLEN PARA PROJETOS DA KWU

I – PERÍODO ATÉ 1988

USUÁRIOS DOS CURSOS	PAIS	ANO					
		1983	1984	1985	1986	1987	1988
1) OPERADORES DE CENTRAIS							
-GROHNDE	RFA	43	9	-	12	4	-
-PHILIPSBURG	RFA	44	14	-	10	6	-
-BROKDORF	RFA	4	7	4	-	8	-
-ISAR	RFA	-	1	-	7	10	-
-NECKARWESTHEIM	RFA	-	-	-	-	12	-
-EMSLAND	RFA	-	-	-	-	44	-
-TRILLO	ESPANHA	32	44	-	15	12	7
-ATUCHA	ARGENTINA	-	-	-	-	11	6
2) PLANEJAMENTO/GERENCIAMENTO ENERGÉTICO							
-NUCLEBRÁS/ELETROBRÁS/CNEN	BRASIL	-	-	-	1	-	-
-FURNAS	BRASIL	-	-	4	-	-	4
-ELETROPAULO	BRASIL	-	-	-	-	-	2
3) PROJETO/COMISSONAMENTO/CONTROLE/ LICENCIAMENTO							
-TÜV	RFA	-	0,6	-	-	-	-
-CSN	ESPANHA	-	-	-	3	-	-
-KWU	RFA	12	52,4	4	3	22	8
-NUCLEN/NUCLEBRÁS	BRASIL	16	-	-	2	-	-
TOTAL DE CURSOS-SEMANA		151	128	12	53	129	27

UNIDADE=CURSO-SEMANA= 5DIASX4H/DIA NO SIMULADOR

II) – PERÍODO ATÉ 2005

	<u>Treinandos</u>	<u>Período</u>
Brasil	782	De 16/07/1985 até hoje
Alemanha	602	De 1986 até 1994
Espanha	515	De 1986 até 2002
Suíça	117	De 1990 até 1997
EUA	12	De 1987 até 1987
Argentina	327	De 1989 até hoje

Brasil

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)
 Nuclebrás S.A.
 Nuclebrás Engenharia S.A. (NUCLEN)
 Eletronuclear S.A.
 Furnas Centrais Elétricas S.A.
 Eletropaulo S.A.
 Eletrosul S.A.
 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)
 Coordenadoria de Projetos Especiais de São Paulo (COPEP)

Alemanha

Central Nuclear de Philippsburg
 Central Nuclear de Ensland
 Central Nuclear de Ghronde
 Central Nuclear de Brokdorf
 Central Nuclear de Isar
 Central Nuclear de Neckarwestheim I

Central Nuclear de Neckarwestheim II
 Central Nuclear de KraftwerUnion (KWU)

Espanha

Central Nuclear de Trillo
 Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

TECNATOM**Suíça**

Central Nuclear de Gösgen
 Däniken

EUA

INPO

Argentina

Centrais Nucleares de ATUCHA e EMBALSE

FIG. 16 – UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR EM TREINAMENTO

SUPRIMENTOS	LICENÇA	PESSOAL DA CONFAB NA ALEMANHA				ESPECIALISTAS ALEMÃES NA CONFAB			
		MISSÕES	SEMANAS-HOMEM			MISSÕES	SEMANAS-HOMEM		
			PROJETO	FABRICAÇÃO	MONTEGEM		PROJETO	FABRICAÇÃO	MONTEGEM
VASO DE CONTENÇÃO	NOELL	13	6,5	8	8,5	12	4,5	20,5	195,5
	THYSSEN	12	N.A.	10	N.A.	10	N.A.	11,5	N.A.
CÂMARAS DE ACESSO AO VASO	NOELL	3	7	-	2	2	26	-	-
TANQUE PRINCIPAL DE ALIMENTAÇÃO	BALCKE-DUERR	2	-	3,5	-	1	1,5	-	-
SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DO GÁS	LUWA	4	-	8,6	N.A.	10	12	6,5	N.A.
COMPORTA DO POÇO DE COMBUSTÍVEL	NOELL	7	10	0,5	7	11	33	2	15
SUPORTE DO REATOR SUPORTE EQUIP. PRIMÁRIO EQUIP. EQUALIZAÇÃO DE PRESSÃO	KWU	9	3,5	12,5	21	15	20,5	17	-
TREINAMENTO		6	3	1	9,5	-	-	-	-
TOTAL		56	30	44	48	61	77,5	57,5	216,5

SUMÁRIO

CONFAB NA ALEMANHA

Missões -56
Pessoal treinado -37
Semanas-homem -122

TÉCNICOS ESTRANGEIROS NA CONFAB

Missões -61
No. de instrutores -52
Semanas-homem -353,5

FIG. 17 - TREINAMENTO DE PESSOAL DA “CONFAB”¹

¹ A CONFAB é apenas um exemplo entre as várias empresas envolvidas.

NO BRASIL E NA ALEMANHA

<u>ÁREA DA QUALIDADE</u>	<u>ÁREA DA CONFIABILIDADE</u>
QUALIDADE INDUSTRIAL - FUNDAMENTOS - ORGANIZAÇÃO - SUPERVISÃO	
GARANTIA DA QUALIDADE PARA A INDUSTRIA NUCLEAR (*)	
INSPEÇÕES-METROLOGIA - CALIBRAÇÃO	
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INSPETORES	
FUNDAMENTOS DE ESTATÍSTICA - PROBABILIDADE	
ESTATÍSTICA AVANÇADA APLICADA AO CONTROLE DA QUALIDADE	
CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE	
CONFIABILIDADE DE SISTEMAS - FUNDAMENTOS	
ASQC/CQE CURSO DE ATUALIZAÇÃO	ASQC/CQE CURSO DE ATUALIZAÇÃO
	FUNDAMENTOS DE CONFIABILIDADE
	INTROD. CONFIAB., QUAL. DE MANUTENÇÃO E DISPONIBILIDADE
	INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS
	PROGRAMAS DE CONFIABILIDADE
	CONFIABILIDADE AVANÇADA

(*) OPTATIVO PARA ÁREAS NÃO-NUCLEARES

**FIG. 18-CURSOS DE TREINAMENTO NAS
ÁREAS DA QUALIDADE E
CONFIABILIDADE**

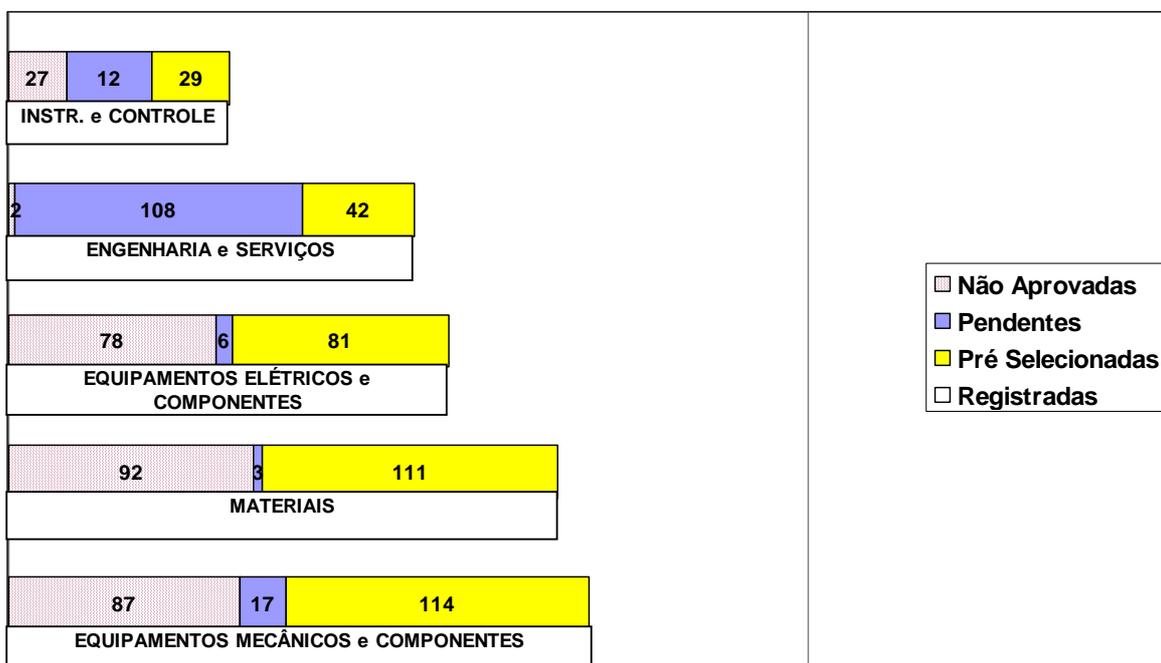


FIG. 19 – REGISTRO E PRÉ-SELEÇÃO DE EMPRESAS NACIONAIS



FIG. 20 - DOCUMENTOS DO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DA NUCLEN E CONTRATADOS

NUCLEN

04/10/93

SEMI-ACABADOS	COMPANHIA	MATERIAL
CHAPAS PLANAS	USIMINAS ELUMA	WStE26,36, RSt37-2, St37-3, 52-3 CuZn 39 Sn, WStE370
CHAPAS CONFORMADAS	NIKEN	WStE26,36, 1.4550
TUBOS SEM COSTURA	MANNESMANN ELUMA	St35.8 III, 15Mo3, 10CrMo 9 10 CuZn 21 Al
TUBOS E CURVAS C/ COST.	EBSE	WStE26, 36
FORJADOS	CONFORJA	WStE26, 36, C22.8, 10CrMo 9 10, 15Mo3, 15MnNi63, 1.4550, St35,8 III
	VILLARES	WStE26, 36, 15MnNi63, 20MnMoNi55, 1.4550, 1.4571
	VIBASA	20MnMoNi55
	ELETROMETAL	15MnNi63, Ck45, WStE26,36,1.4439, 1.4550,1.4571, 1.4541, 1.4057, 20MnMoNi55
	ANHANGUERA	C22,8, St52-3, St37-2, St37-3 WStE26, WStE36, 15Mo3
	N.S. APARECIDA ELUMA	RSt37-2, St37-3, WStE26, St52-3, 15Mo3 CuZn 21Al
FUNDIDOS	FUNDINOX	1.4439, 1.4552, GS-C25
	VILLARES	1.4552, GS-C25, 1.4439
	ZANINI	1.4552, GS-C25, GGG40.3,GGG35.3
	LIPS	G-CuAl 10 Ni
PARAFUSOS E PORCAS	FIBAM A. FRIEDBERG	AÇO CARBONO, AÇO A ALTA TEMPERATURA
MATERIAL DE ADIÇÃO	ESAB UTP BRASOX TORSIMA	OK 55,0, OK 74,55 UTP 68, UTP 653 F 6 N - BX 200 SIMAOURO 50
TOTAL (APROX.)	30	

TS-C236-93

**FIG. 21 – ANGRA 2: MATERIAIS BÁSICOS –
PRINCIPAIS FORNECEDORES**

<i>ITEM</i>	<i>UNIDADE</i>	<i>FORNECIMENTOS NACIONAIS PARA ANGRA 2 & 3</i>
TANQUES, VASOS	No.	100%
TROCADORES DE CALOR	No.	100%
COMPONENTES PESADOS	TON	6% (PARCIAL A3)
EQUIPAMENTO AUXILIAR DA TURBINA	No.	36%
EQUIPAMENTO ROTATIVO	No.	47%
VÁLVULAS	No.	34%
EQUIPAMENTO DE PROCESSO	No.	100%
VASO DE CONTENÇÃO E "LOCKS"	No.	100%
PONTES ROLANTES ESPECIAIS	No.	100%
PEQUENAS PONTES E GUINDASTES	No.	100%
SUORTE DO CIRCUITO PRIMÁRIO	TON	100%
ESTRUTURAS METÁLICAS	TON	95%
TUBULAÇÃO FERRÍTICA	TON	90%
TUBULAÇÃO AUSTENÍTICA	TON	-
SUORTES DE TUBULAÇÃO	TON	100%
PROJETO DE TUBULAÇÃO	%	92

FIG. 22 – ANGRA 2 & 3 : PROGRAMA DE NACIONALIZAÇÃO REALIZADO NA ÁREA MECÂNICA

DISCRIMINAÇÃO	SOBRE O TOTAL I&C (VALOR) %	NACIONALIZAÇÃO %
SALA DE CONTROLE	2,6	30
I&C PARA SISTEMAS PERIFÉRICOS	14,5	38
COMPUTADOR DE PROCESSOS	5,0	0
CONTOLE DE LOOP FECHADO	4,6	8
PROGRAMA DE AUTOMAÇÃO	2,0	10
LÓGICA DE PROTEÇÃO	7,3	10
SISTEMA DE ALARME	0,5	100
CONTROLE DE TURBINA	3,8	0
CONTROLE DO REATOR	3,0	0
INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR	1,6	0
PAINÉIS DE DISTRIBUIÇÃO	2,5	7
VÁLVULAS DE CONTROLE	10,9	12
CONTROLE DE INTERFACES	8,4	95
MEDIDAS LOCAIS	2,9	5
SINAIS ANALÓGICOS	9,2	5
TRANSMISSORES	9,2	70
SINAIS BINÁRIOS	8,5	6
SENSORES BINÁRIOS	3,4	90
TOTAL	100	

ÍNDICE MÉDIO DE NACIONALIZAÇÃO 22%

FIG.23 - ANGRA 2 & 3: INSTRUMENTAÇÃO & CONTROLE (NACIONALIZAÇÃO)

ANO	ANGRA 1	ANGRA 2	ANGRA 1 + ANGRA 2
1982	54.113	-	54.113
1983	183.730	-	183.730
1984	1.642.512	-	1.642.512
1985	3.412.087	-	3.412.087
1986	145.597	-	145.597
1987	973.302	-	973.302
1988	613.961	-	613.961
1989	1.845.374	-	1.845.374
1990	2.258.049	-	2.258.049
1991	1.441.597	-	1.441.597
1992	1.752.277	-	1.752.277
1993	441.770	-	441.770
1994	54.960	-	54.960
1995	2.520.685	-	2.520.685
1996	2.428.936	-	2.428.936
1997	3.161.440	-	3.161.440
1998	3.265.252	-	3.265.252
1999	3.976.943	-	3.976.943
2000	3.423.308	2.622.652	6.045.960
2001	3.853.499	10.498.433	14.351.932
2002	3.995.104	9.841.746	13.836.850
2003	3.326.101	10.009.936	13.336.037
2004	4.124.760	7.420.189	11.544.949
2005	3.730.000	6.120.000	9.850.000
OTAIS	52.625.358	46.512.956	99.138.314

FIG. 24-GERAÇÃO ELÉTRICA BRUTA DE
ANGRA 1 E 2 (MWH)

CONFERÊNCIA Cooperação Nuclear Brasil Alemanha em Pesquisa e Desenvolvimento

Conferencista: **Prof. Ricardo Brant Pinheiro**

O professor Ricardo se destaca pela capacidade em administrar e de aplicar conhecimentos em desenvolvimentos tecnológicos. Foi integrante do Grupo do Tório do IPR, atual CDTN, onde exerceu o cargo de Diretor de 1989 a 1992 e, atualmente, é professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da UFMG.

**Simpósio ÁTOMOS PARA O DESENVOLVIMENTO,
Comemorativo do Centenário de Nascimento do
Prof. FRANCISCO DE ASSIS MAGALHÃES GOMES
Belo Horizonte, 21-22 de agosto de 2006**

**Duas Décadas de Cooperação em
P. & D. do IPR/CDTN com Instituições
Alemãs nas Áreas de Tecnologia de
Reatores e do Combustível Nuclear**

Ricardo B. Pinheiro

Notas

Esta apresentação limita-se às atividades da cooperação Brasil-Alemanha em Pesquisa e Desenvolvimento (P. & D.) relacionadas com o IPR/CDTN e, especificamente, àquelas nas quais o apresentador teve participação direta.

Os relatos a seguir apresentados não puderam ser objeto de levantamento sistemático; muitos vieram da memória. Estão, sem dúvida, incompletos.

Nomes são citados, apesar do risco da omissão.

- O **enfoque da apresentação** é o de tentar mostrar, com fatos e alguns comentários :
 - os resultados para o IPR/CDTN e para o Brasil da cooperação em P. & D. com instituições alemãs do início da década de 1970 até o início da década de 1990;
 - quão vastos foram o *know-how* e o *know-why* adquiridos, por meio da cooperação e por desenvolvimento próprio do IPR/CDTN beneficiado pela cooperação, de diferentes tecnologias relacionadas com a geração nucleoeleétrica;
 - e a importância dada pela Alemanha aos acordos de cooperação em P. & D. assinados com o Brasil, demonstrada pelo alto nível dos participantes alemães envolvidos.

Sumário

- Introdução
- Cursos e seminários
- Programa de P. & D. sobre a utilização do tório em PWRs
- Pesquisa sobre e termo-hidráulica do reator e segurança de usinas PWR
- Programa de testes de componentes de usinas nucleares
- Outras atividades em cooperação
- Comentários finais

Introdução

- A adoção pelo Brasil da linha de reatores a água leve pressurizada (*PWR - Pressurized Water Reactor*) em seu programa nuclear, implicou um redirecionamento das atividades do Instituto de Pesquisas Radioativas – IPR,
 - posteriormente transformado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN,nas áreas de tecnologia de reatores e do ciclo de combustível nuclear.

- O início da cooperação do IPR na área de tecnologia de reatores nucleares a água leve pressurizada com instituições alemãs decorreu de uma série de fatos:
 - Assinatura, em 1969, do Acordo Geral entre o Governo do Brasil e o Governo da República Federal da Alemanha para cooperação em pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico, abrangendo cooperação em pesquisa e desenvolvimento nuclear.

- Convênio Especial entre a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN e o Centro de Pesquisa Nuclear de Jülich - KFA em 1971,
 - convênio este estendido em 1973 à Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, criada em 1972.

- Decisão de as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. – Nuclebrás, sucessora da Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, de concentrar suas atividades de P. & D. no IPR, que se tornou um centro de pesquisas cativo da empresa.

– Assinatura de três acordos entre a Nuclebrás e os Centros de Pesquisa Nuclear de Karlsruhe - GFK, em 1976, e de Jülich – KFA, em 1978.

– São eles:

- Convênio Especial entre Nuclebrás e Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe - GFK sobre cooperação no campo dos usos pacíficos da energia nuclear.

- Memorando de Acordo Mútuo (*Memorandum of Understanding*) para cooperação KFA - Nuclebrás nos campos das tecnologias de reatores a alta temperatura (HTR), reatores rápidos regeneradores resfriados a gás (GCFBR) e ciclos do tório em HTR e LWR.
- Um segundo Memorando de Acordo Mútuo com o KFA versava, se bem me lembro, sobre o estudo da aplicação do HTR em siderurgia.

Atuais
Instituições que
Estiveram
Envolvidas na
Cooperação

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH Max-Planck-Straße 1 21502 Geesthacht, Deutschland	
Forschungszentrum Jülich GmbH Wilhelm-Johnen-Straße Postal Address:: 52425 Jülich, Deutschland	 Forschungszentrum Jülich <i>in der Helmholtz-Gemeinschaft</i>
Kraftwerk Union AG Empresa do grupo Siemens. Deixou de existir. Deu origem à atual Areva NP GmbH .	
Areva NP GmbH Freylebenstr 1 D-91058 Erlangen Deutschland Faz parte do grupo	
Areva 27 et 29, rue Le Peletier 75433 Paris Cedex 09 France Empresa francesa que absorveu o setor nuclear da Siemens alemã e a Framatome francesa.	
Nukem (Nuklearchemie und metallurgie) GmbH Industriestrasse 13 63754 Alzenau, Deutschland	
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtz-Gemeinschaft* (FZK) Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland	 Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) Forschungsinstitute 85748 Garching bei München Deutschland	 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

* Associação **Helmholtz** de centros de pesquisas alemães.

Cursos e Seminários

- Os Cursos e Seminários a seguir citados constituíram as primeiras ações para implementação de pesquisa e desenvolvimento nuclear no âmbito do Acordo Geral firmado em 1969 entre o Brasil e a Alemanha.

Cursos

- Em julho e agosto de 1970, foi realizada no IPR uma série de cursos de curta duração relacionados com a tecnologia de reatores nucleares de potência.

- São eles:
 - Física de Reatores, por Dr. D. Bünemann (GKSS);
 - Tecnologia de Elementos Combustíveis, por Prof. A. Boettcher (Kernforschungszentrum Jülich - KFA).
 - Planejamento de Programas de Usinas Nucleares, por Dr. H. Krämer (Kernforschungszentrum Karlsruhe - KFK).
 - Tecnologia de Reatores a Água Fervente (*Boiling Light Water Reactor - BWR*), por Dr. B.J. Baumgartl (Siemens, AEG).
 - Tecnologia de Reatores a Água Pressurizada, por D. Knödler (Siemens, Kraftwerk Union - KWU).

- O objetivo da série de cursos foi introduzir a tecnologia da linha de reatores nucleares a água leve (*Light Water Reactors – LWRs*) ao pessoal da Cnen,
 - em especial a engenheiros e físicos do IPR, até então trabalhando na linha de reatores a água pesada no âmbito dos Projetos Instinto e Toruna, do Grupo do Tório da Divisão de Engenharia de Reatores do IPR.

Os cursos, apesar de sua curta duração, cumpriram seu objetivo.

Seminários de Trabalho em Física de Reatores

- Os Seminários de Trabalho em Física de Reatores (*Workshop Seminar on Reactor Physics*) foram organizados com base em proposta do Dr. D. Bünemann, em março de 1971.

- Algumas modificações foram introduzidas na proposta original alemã:
 - uma reestruturação dos seminários experimentais
 - e a inclusão de discussões relativas ao projeto de uma montagem crítica (reator de potência zero) a água leve.

- Os Seminários foram divididos nas cinco áreas seguintes:
 - Física de reatores experimental,
 - Implantação e teste de programas de computador,
 - Cálculos de projeto para reator a água leve,
 - Cálculos de projeto termodinâmico e
 - Dinâmica e segurança de reatores.

- Participaram dos seminários, os seguintes especialistas alemães, todos do GKSS:
 - Anastassios Katsaounis,
 - Dietrich Bünemann (coordenador),
 - G. Petersen,
 - Heinrich Siewers,
 - Klaus Penndorf,
 - Reinhard Fiebig,
 - Martin Kolb,
 - Michael Peltzer,
 - Wilfried Krull e
 - Wolfgang Jager.

Seminários de Física de Reatores Experimental

- Esses seminários foram divididos em duas partes:
 - uma, realizada no Instituto de Energia Atômica - IEA, em São Paulo
 - e a outra no reator IPR-R1 e no sistema subcrítico Uranie, do IPR, em Belo Horizonte.

- A primeira parte foi dedicada principalmente a medidas de reatividade e distribuição de fluxo no reator IEA-R1.
 - Simultaneamente foram feitas discussões relacionadas ao aumento de potência do reator, em particular,
 - sobre os projetos nuclear e termodinâmico,
 - sobre o painel de controle e
 - sobre as experiências pré- e pós-aumento da potência.

- No IPR, em Belo Horizonte, os trabalhos experimentais estiveram centrados nas técnicas de fonte pulsada e de análise de ruídos.
 - A primeira foi aplicada ao sistema subcrítico Uranie, a urânio natural metálico - água leve, visando a obter a constante de decaimento do modo fundamental do fluxo de nêutrons.
 - A técnica de análise de ruídos foi utilizada para medir a constante de decaimento de nêutrons prontos e as funções de transferência à potência zero e a 60 kW no reator IPR-R1 Triga Mark I.

Implantação e Teste de Programas de Computador

- As atividades inicialmente previstas para cobrir física de reatores teórica e a implantação de programas para cálculo de reator convergiram para a implantação de um conjunto de códigos de computador trazidos pelos parceiros alemães e que seriam utilizados em seguida em cálculos de projeto.

- Dificuldades diversas impediram a implantação da maioria dos programas dentro do prazo previsto:
 - A capacidade de memória exigida pelos programas em muito ultrapassava a do computador IBM/360-40 disponível do Centro de Computação da UFMG (128 Kbytes).
 - Adaptações de linguagem, devido a incompatibilidade do compilador FORTRAN-CDC com o FORTRAN-IBM.
 - Exigência de alguns programas de unidades de fita magnética, superior ao número disponível (quatro).
 - O tempo disponível para execução de programas do IPR no computador da UFMG foi pequeno para os propósitos.

Cálculos de Projeto para Reator a Água Leve

- Apesar de não ter sido possível efetuar todos os cálculos inicialmente previstos e analisar plenamente os cálculos realizados, devido aos problemas de implantação dos programas neutrônicos e de termo-hidráulica, muito se pôde aprender com a preparação de dados.
 - Explicações freqüentes de como efetuar os cálculos deram uma idéia das orientações gerais a seguir para se realizar o cálculo de projeto de um PWR.

Cálculos de Projeto Termodinâmico

- As exposições tiveram início com a descrição de circuitos primários de diferentes tipos de reator (PWR, BWR, EFDR) e das principais características dos núcleos.
- A seguir foram discutidos os principais problemas de escoamento bifásico e os métodos de cálculo, particularmente
 - fluxo de calor crítico,
 - cálculo termo-hidráulico do núcleo (divisão em zonas de potência, determinação de fatores de canal quente).

- Não foi possível, contudo, implantar o programa de análise termo-hidráulica em prazo hábil.
- Foi também discutida amplamente a organização futura do Laboratório de Termo-hidráulica do IPR, tendo sido propostos
 - experimentos de refrigeração de emergência (medidas de *burnout* em condições transientes, por exemplo), entre outros,
 - e o desenvolvimento de programas de cálculo termo-hidráulico.

Dinâmica e Segurança de Reatores

- Os seminários de dinâmica de reatores incluíram exposições teóricas, exemplos de cálculos e o desenvolvimento do programa de dinâmica geral GENDY.

- As exposições incluíram, entre outros, os seguintes tópicos:
 - cinética de reatores,
 - determinação das constantes cinéticas a partir dos cálculos de reator,
 - efeitos de temperatura,
 - acidentes em reatores,
 - modelo dinâmico dos circuitos de uma usina nuclear,
 - conceitos de controle.

- Talvez, o mais importante legado deste seminário tenha sido o início do desenvolvimento, em conjunto com pessoal do IPR, a partir de concepção original do Dr. Reinhard Fiebig, de um programa geral de dinâmica (GENDY), baseado no método de *backward extrapolation*, para resolução de um sistema de equações diferenciais.

GENDY, que em sua primeira versão simulava apenas o núcleo do reator e de um modo bastante simplificado, foi o ponto de partida para o desenvolvimento, pela equipe do IPR, do código **SACI**, de dinâmica de usinas nucleares, usado para análises de acidentes sem perda de refrigerante do reator.

- Apesar das dificuldades enfrentadas no decorrer das atividades, pode-se afirmar que os Seminários de Trabalho em Física de Reatores foram bem sucedidos.
 - A transferência e implantação de uma série importante de programas de computador para cálculos neutrônicos e termo-hidráulicos foram efetuadas.
 - A implantação e o teste de vários deles prosseguiu após os seminários.
 - As discussões sobre como realizar os cálculos foram amplas e abriram novos horizontes para a maioria dos participantes.

Projeto de Montagem Crítica a Água Leve

- O projeto de uma montagem crítica (reator de potência zero) a água leve havia sido proposto pela CNEN para o IPR.
 - Esta proposta
 - redirecionou os trabalhos do IPR com vistas ao projeto de uma instalação crítica a água pesada, previsto no planejamento das atividades do Grupo do Tório
 - e pôs fim às atividades do Grupo.

- Conforme estabelecido pela Assessoria de Planejamento e Desenvolvimento – ASPED da CNEN, a instalação crítica deveria ser projetada para dar suporte experimental à otimização da gestão do combustível no núcleo (*in-core*) de Angra 1, permitindo estudos
 - de diferentes configurações do núcleo do reator,
 - de perturbações locais de barras de controle e materiais estruturais e
 - de problemas relacionados com a queima do combustível.

- Por ocasião da estadia de Martin Kolb no IPR, foram realizadas discussões em torno dos objetivos da montagem crítica a água leve, seguidas de atividades visando a definir as principais características de uma instalação crítica adequada para responder aos objetivos.

- Assim foi feito um primeiro estudo da instalação, compreendendo essencialmente:
 - Características do projeto: principais componentes mecânicos, requisitos do edifício da instalação, instrumentação, sistemas auxiliares.
 - Considerações de segurança em operação normal (precauções, blindagem).
 - Considerações de segurança em condições de acidentes.
 - Proposta para o primeiro experimento crítico da instalação (configuração do núcleo, medidas).
 - Trabalhos futuros para a construção da instalação crítica a água leve.

Seminários de Trabalho em Projeto de Reatores

- Em 1974, foi realizado o *Workshop Seminar on Reactor Design*, com duração de aproximadamente três meses, com os peritos
 - Dr. D. Bünemann, K. Penndorf e G. Petersen (da GKSS) e
 - Dr. W. Bohm (da Siemens/KWU).

- Os seminários foram realizados no Instituto de Energia Atômica – IEA (atual Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN), São Paulo, por não haver computador no IPR.
 - Mais de 20 técnicos do IPR/CDTN, IEA, do Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, e da CNEN-Sede participaram dos Seminários.
 - Destes, cerca de metade eram do IPR.

- O objetivo dos Seminários foi, de algum modo, completar aquilo que não havia sido possível fazer nos seminários anteriores, em Belo Horizonte, a saber, a realização de cálculos de projeto nuclear e termo-hidráulico de um PWR.

- Os seminários foram realizados em três partes:
 - cálculos nucleares do reator da Usina Nuclear de Obrigheim (KWO), Alemanha;
 - análise do ciclo de combustível e gestão do combustível no núcleo (*in-core*); e
 - cálculos termo-hidráulicos de reator.

Análise do Ciclo de Combustível e Gestão do Combustível no Núcleo

- Esta parte dos Seminários consistiu de exposições do Dr. Werner Böhm (da Siemens/KWU), complementadas com cálculos do reator KWO.

- As exposições do Dr. Böhm cobriram diversos aspectos:
 - Comportamento do combustível com a queima (*burn-up*).
 - Técnicas de gestão de combustível no núcleo (*in-core*) e gestão do combustível no ciclo de equilíbrio.
 - Gestão do controle do reator.
 - Tratamento do veneno queimável.
 - Reciclagem de plutônio.

- Os cálculos complementares cobriram diversos desses pontos.

Cálculos Termo-hidráulicos de Reator

- Os cálculos termo-hidráulicos de reator foram realizados com o código DYNAMIT, utilizado na GSSS.
 - Os seminários e os cálculos foram coordenados por G. Petersen (da GKSS).

- Os Seminários de Projeto de Reator, realizados no IEA, em São Paulo, cumpriram o seu objetivo com sucesso.

Programa de P. & D. sobre a Utilização do Tório em PWRs

- Este programa foi estabelecido em decorrência Memorando de Acordo Mútuo para cooperação KFA - Nuclebrás nos campos das tecnologias de reatores a alta temperatura (HTR), reatores rápidos regeneradores resfriados a gás (GCFBR) e ciclos do tório em HTR e LWR.

- A motivação, pelo lado do IPR/CDTN, de aproveitar o Acordo para realizar P. & D. sobre a utilização do tório em PWR proveio de:
 - de poder trabalhar com os mesmos métodos e ferramentas usados pela Siemens/KWU para desenvolvimento do combustível nuclear e para projeto nuclear de sua linha de reatores do tipo Angra 2/3;
 - e de poder continuar seus estudos sobre o aproveitamento do tório – largamente disponível em território nacional –, antes feitos para reator a água pesada, no Grupo do Tório.

- A primeira destas tinha como objetivo específico preparar o IPR/CDTN para dar suporte de P. & D. a outras unidades da Nuclebrás, em especial,
 - a Nuclen – Nuclebrás Engenharia S.A. (hoje Eletrobrás Termonuclear S.A. - Eletronuclear) e
 - a Fábrica de Elementos Combustíveis - FEC da Nuclebrás, em Resende, Rio de Janeiro (hoje da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. – INB).

- A outra motivação do programa decorreu do fato, demonstrado por inúmeras atividades de P. & D. em nível internacional, incluindo pesquisas realizadas no Brasil e na Alemanha, que, combustíveis contendo tório
 - podem melhorar a utilização dos recursos de urânio em reatores térmicos e
 - podem suplementar os combustíveis convencionais à base de urânio.

- A tecnologia do ciclo de combustível não era, contudo, tão madura para permitir afirmativas bem fundamentadas em relação à viabilidade técnica de tais combustíveis.

- Participaram do programa pelo lado alemão, entre outros:
 - KFA-Jülich:
 - B.G. Brodda, E. Zimmer, Klaus Reichardt, Vladimir Maly.
 - Siemens/KWU:
 - F. Wunderlich, Gerhard Schlosser, G. Kaspar, Martin Peehs, H. Gross, W. Doer, M. Gartner, H. Finnemann, D. Porsch.
 - Nukem:
 - Milan Hrovat, M. Kadner, Erwin Wehner.

- Contribuíram no início e para o progresso do programa pelo lado alemão, entre outros:
 - KFA-Jülich:
 - Dieter H. Leushacke, Peter Engelmann.
 - Siemens/KWU:
 - Hans Märkl, H. Stehle.
 - Nukem:
 - H. Huschka.

- Os objetivos do programa foram estabelecidos de comum acordo, e o programa se iniciou em meados de 1979.

- Os objetivos originais foram:
 - Analisar e demonstrar a utilização do tório em reatores a água leve pressurizada (PWRs).
 - Desenvolver o projeto do elemento combustível e do núcleo para o ciclo do tório.
 - Fabricar, testar e qualificar elementos combustíveis Th/U e Th/Pu em condições de operação.
 - Estudar o tratamento do combustível irradiado e o fechamento do ciclo de combustível a tório pelo reprocessamento de elementos combustíveis PWR contendo tório.

- A transferência de tecnologia da metodologia de P. & D. para o ciclo de combustível do PWR era um outro objetivo importante do programa.

- Os gerentes do programa (um de cada instituição envolvida), que se encontravam uma ou duas vezes por ano, formulavam conjuntamente o programa de trabalho e supervisionavam o progresso dos trabalhos.
 - Gerentes pelo lado alemão:
 - Dieter F. Leushacke, depois Vladimir Maly (KFA),
 - Martin Peehs (Siemens/KWU),
 - Milan Hrovat (Nukem).

- O programa foi planejado ser executado em três fases:
 - Na Fase 1 (1979-1983), o objetivo principal consistiu na adaptação dos métodos e tecnologias existentes para combustíveis PWR contendo óxido de tório.
 - Nesta fase, a base tecnológica para trabalhos com combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ para PWR seria estabelecida e a viabilidade técnica do conceito demonstrada.

- Na Fase 2, os esforços de P. & D. estariam concentrados na demonstração do comportamento do combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ num reator de potência. Esta fase incluía:
 - o projeto nuclear do reator com combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$,
 - o início do desenvolvimento do combustível $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$
 - e a melhoria do conhecimento sobre o tratamento do combustível contendo tório irradiado

- A Fase 3 previa a demonstração do comportamento do combustível $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$.

- Ao longo do tempo, os objetivos e o escopo do programa foram adaptados às necessidades dos Brasil e da Alemanha.
 - O esforço se concentrou mais no desenvolvimento da fabricação do combustível, em sua qualificação e teste, bem como na transferência de *know-how* nessa área.
 - A atividade relacionada com o tratamento do combustível irradiado foi reduzida, em particular quando as características vantajosas do ciclo de combustível Pu/Th aberto (*once-through*) com alta queima (*high burn-up*) foram confirmadas.

- A Fase 2 do programa enfocou a intenção de irradiar um elemento combustível pioneiro contendo Th/U num reator de potência no Brasil ou na Alemanha (preferencialmente, em Angra 1).
- Reconheceu-se também que os maiores benefícios do uso do tório em PWR advêm do ciclo Pu/Th.

- Como a aplicação mais benéfica do tório em PWR exigia o reprocessamento do combustível a urânio irradiado, o que não implicava atividades não mais no curto prazo, os parceiros alemães e brasileiros concordaram em terminar o programa de P. & D. num ponto de decisão pré-determinado no meio da Fase 2.

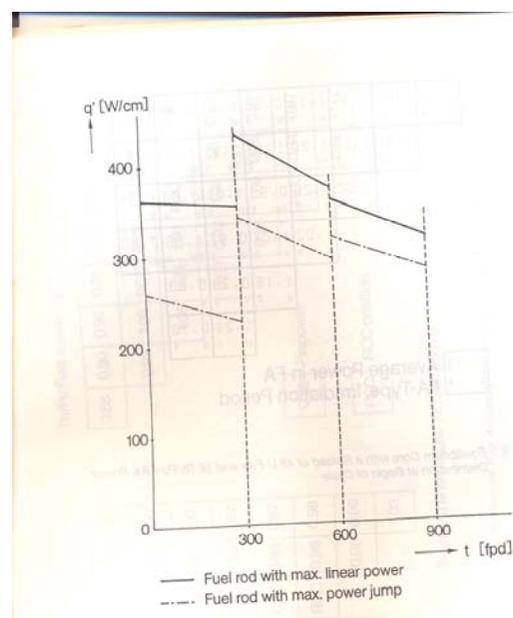
Resultados Técnicos

- Projeto nuclear e estratégia de penetração do ciclo do tório no programa nuclear
 - O programa cobriu grande parte do ciclo de combustível do PWR, incluindo as partes relevantes do projeto nuclear do núcleo do reator.
 - O PWR padrão de 1.300 MWe da Siemens (do tipo Angra 2) foi usado como reator de referência, também proporcionando uma boa base para a transferência de *know-how*.

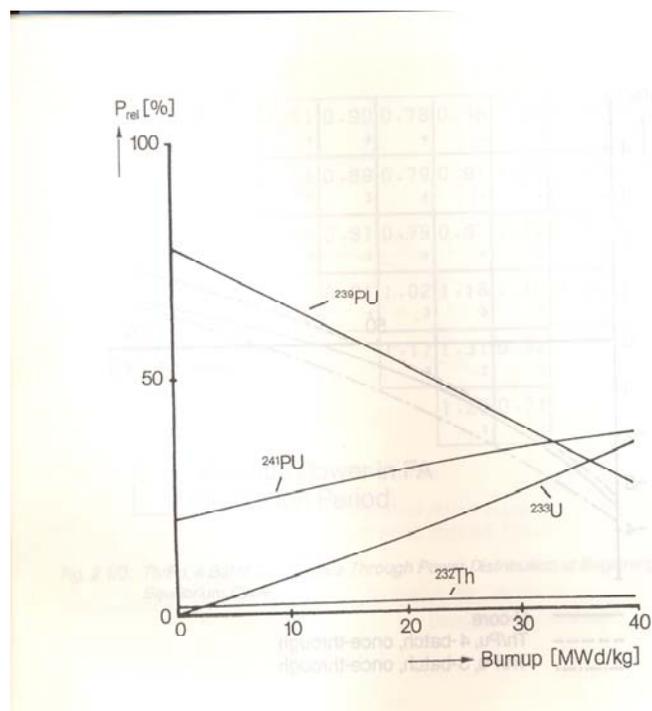
- Em primeiro lugar, os códigos padrões da Siemens para o projeto nuclear do núcleo do reator foram adaptados para o uso de tório e validados.
- Os resultados do projeto nuclear do núcleo do reator mostraram que o projeto do PWR do tipo Angra 2 pode acomodar combustíveis à base de tório sem quaisquer mudanças ou restrições no elemento combustível ou no projeto do núcleo.

- A operação do reator em 3 ou 4 ciclos (*batches*) foi investigada para ciclos aberto (*once-through*) e fechado (com reprocessamento).

Histórico da
potência de
varetas Th/Pu no
ciclo de equilíbrio.
Elemento
combustível
Th/Pu 3 x 16



- O carregamento parcial do núcleo com combustível a tório e a mudança sucessiva de combustível U para Th é também praticável.
- Cálculos de segurança tridimensionais mostraram margens de segurança suficientes.
- Combustíveis baseados em Th/Pu mostram a possibilidade de se estender a queima mesmo além do ciclo de operação de 4 anos.

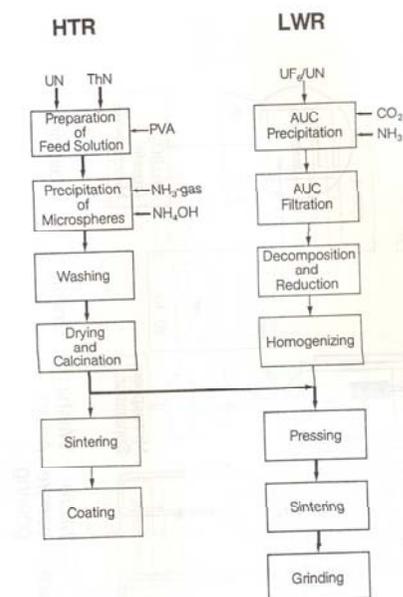


Contribuição
energética
relativa dos
isótopos do
combustível
Th/Pu

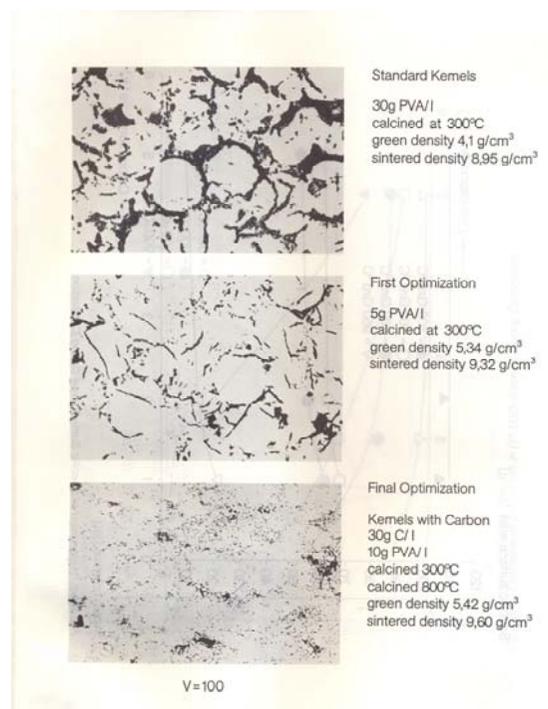
- Na área de estratégia, além do desenvolvimento de códigos apropriados ao ciclo do tório, foi possível estudar o potencial do ciclo do tório e a introdução de combustíveis a tório numa estratégia de longo prazo para o Brasil.

- Tecnologia do combustível
 - A combinação do processo padrão de fabricação de pastilhas PWR com o processo químico sol-gel desenvolvido para combustível HTR foi bem sucedido.

Combinação de tecnologias disponíveis para a fabricação de combustível óxido misto



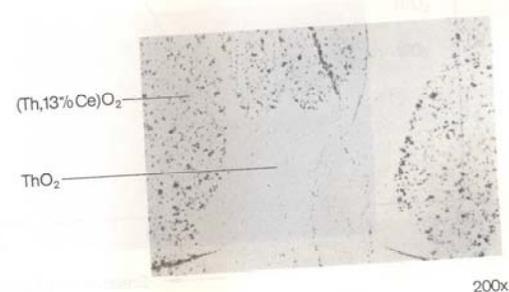
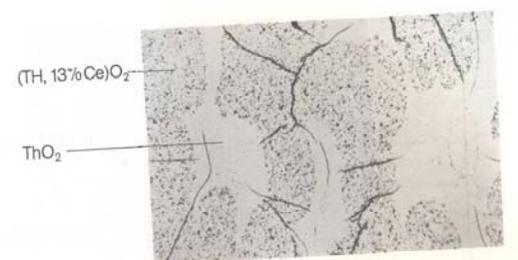
- A combinação de um processo de conversão ex-gel químico resultou em microesferas não sinterizadas de $(\text{Th,U})\text{O}_2$, com um diâmetro de cerca de 0,3 mm.
- Técnicas de peletização usando uma pressão de compactação adaptada, forneceram pastilhas de combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ com homogeneidade, microestrutura e forma geométrica adequadas, satisfazendo as especificações normais para PWR.



Adaptação da
estrutura de
poros de
pastilhas de
(Th,U)O₂
fabricadas com
microesferas ex-
gel a requisitos
de LWR

- A transferência de conhecimento da produção do combustível $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$ foi realizada em escala de laboratório usando cério como um substituto do plutônio.
- O processo de fabricação ex-gel livre de poeira é particularmente atraente para essa aplicação.
- Resultados de pesquisa em escala de laboratório indicam que este conceito de combustível *master-mix* pode também ser dominado.

Microestrutura
típica de uma
pastilha
 $\text{ThO}_2 +$
 $(\text{Th}, 13 \text{ w/o Ce})\text{O}_2$

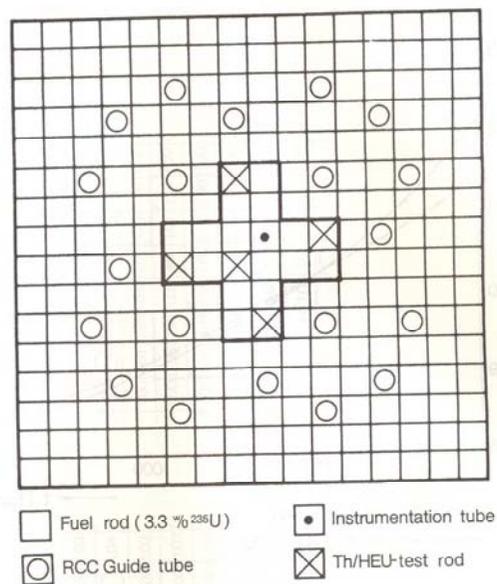


- Projeto e modelagem do combustível
 - Dados e modelos para o projeto térmico e mecânico da vareta combustível foram deduzidos de considerações teóricas e resultados experimentais para os combustíveis $(\text{Th,U})\text{O}_2$ e $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$ desenvolvidos no âmbito do programa para uso num elemento combustível PWR padrão.

- Valores de projeto foram verificados com sucesso pela previsão do comportamento do combustível em experimentos de irradiação realizados no reator de testes FRJ-2 no KFA-Jülich.
 - Boa concordância entre valores preditos e medidos foi alcançada.

- Com base nesses resultados, o projeto de um elemento combustível para irradiação de teste no reator Angra 1 foi preparado, incluindo relatório para licenciamento do combustível experimental.

Posicionamento
de varetas
combustíveis teste
no elemento
combustível de
Angra 1



- Testes de irradiação
 - O teste de irradiação do combustível desenvolvido foi realizado no reator FRJ-2 até uma queima da ordem de 10 MWd/kg MP (metal pesado) sob condições cobrindo as cargas de operação de um PWR.
 - O comportamento do combustível ex-gel (Th,U)O₂ satisfaz os requisitos.

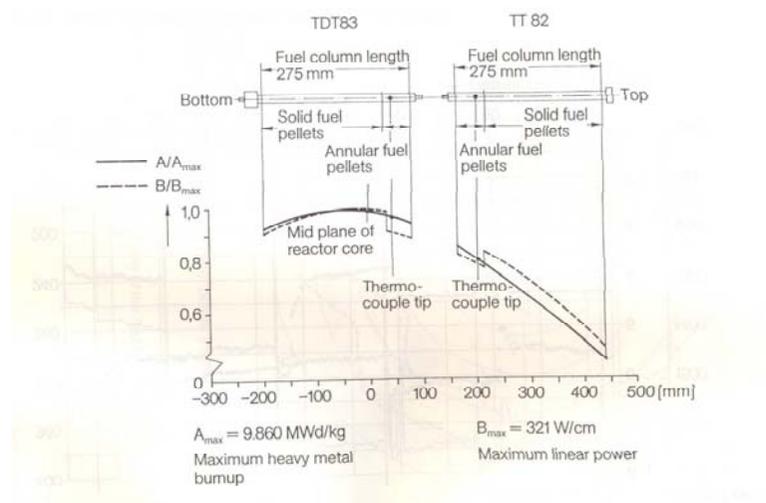
- Extensos exames de pós-irradiação e avaliação das séries de experimentos proporcionaram uma base de dados bastante completa para posterior esforço de desenvolvimento e melhoraram significativamente o conhecimento do comportamento do combustível *in-pile*.

Dados de Irradiação no FRJ-2 das Seis Varetas Teste

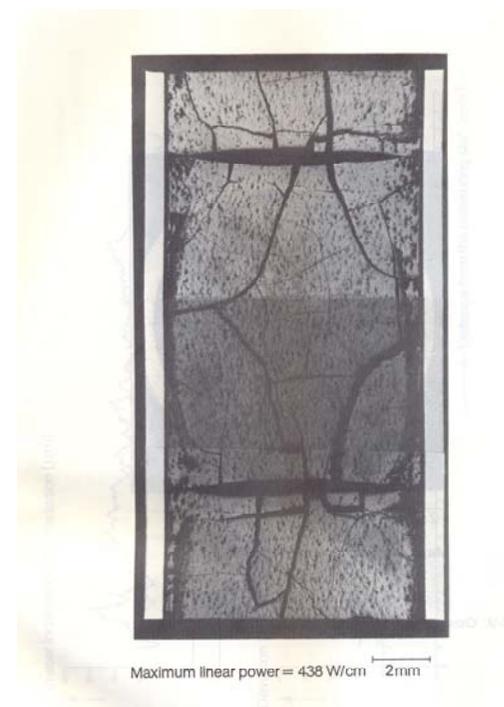
No. do Rig	Vareta combustível teste (Posição)	Potência máxima da vareta (W/cm) de até		Queima (GWd/t MP)	Tempo de irradiação, d	Exames de Pós-Irradiação (PIE)
LV9.6-E60	TT80 (topo)	167	346	6,82	116,1	Completado
	TDT81 (base)	391	430	8,22		
LV9.6-E61	TT82 (topo)	111	234	8,2	176	Em curso
	TDT83 (base)	278	308	10,0		
LV9.6-E62	TT84 (topo)	112	235	1,5 *	34	Em curso
	TDT85 (base)	300	300	1,26*		

* Terminada após um defeito na instrumentação

Perfil axial da queima (*burn-up*) e da potência linear das varetas combustíveis teste TT82 e TDT83.



Seções
transversal e
longitudinal da
vareta teste
TDT81



- Tratamento do combustível irradiado
 - Cálculos computacionais baseados em métodos desenvolvidos na época foram realizados para identificar diferenças entre combustíveis baseados em Th e U no desempenho durante armazenamento.
 - O armazenamento intermediário e final direto não apresentam problemas adicionais em comparação com o combustível a UO_2 padrão.

- As investigações em laboratório sobre o reprocessamento de combustível a óxido de tório irradiado enfocaram principalmente trabalhos com combustível não irradiado.
- Numa extensão limitada, foi realizado trabalho sobre dissolução em laboratório quente.
- A aplicação das técnicas de reprocessamento conhecidas na época para combustíveis de óxidos de tório aos combustíveis desenvolvidos no programa de P. & D. seriam possíveis.

Avaliação do Programa

- Os resultados do programa confirmaram em detalhe que os combustíveis desenvolvidos no âmbito do programa a base de óxidos de tório podem ser usados nos PWRs do tipo Angra 2.
- Mudanças nos projetos do elemento combustível e do núcleo não são necessárias.
 - Isto vale tanto para combustíveis $(\text{Th,U})\text{O}_2$ e $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$ em operação de 3 e 4 ciclos.

- O combustível Th/Pu mostrou potencial para alta queima além do esquema de 4 ciclos.
 - Neste caso o Pu físsil inserido é bastante queimado e o ciclo aberto (*once-through put-away*) torna-se muito atraente.

- A fabricação do combustível foi desenvolvida em escala piloto para quantidades da ordem de quilograma de $(\text{Th,U})\text{O}_2$ usando combinação de técnicas de fabricação de combustível LWR e HDR planamente estabelecidas.
 - Devido à compreensão dos parâmetros de processo chave e usando principalmente equipamento padrão, a produção em larga escala parece factível após um período pequeno de desenvolvimento.

- O status do teste e modelagem de combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ permite um projeto de combustível teste pioneiro que pode ser submetido para licenciamento.
 - Esta seria uma etapa necessária antes da inserção de combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ em larga escala.
- No que diz respeito ao desenvolvimento da tecnologia e transferência para o combustível Th/U, os objetivos do programa foram atingidos.

- Entretanto, a demonstração em larga escala de combustível Th/U num reator de potência, fabricação e qualificação de combustível Th/Pu bem como o fechamento do ciclo requereriam um esforço substancialmente maior do que o possível na época.

- Para o combustível $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$, um conhecimento básico considerando os requisitos para a transferência da tecnologia de fabricação do combustível $(\text{Th,U})\text{O}_2$ foi desenvolvida.
- A avaliação do *back-end* do ciclo de combustível mostra que o combustível PWR com revestimento de Zircaloy-4 pode ser manipulado no armazenamento independentemente do combustível cerâmico específico incluído.

- Do ponto de vista da cooperação e transferência de tecnologia, a experiência do programa mostra a importância de usar metas orientadas para *hardware*, definições claras de produtos requeridos e comunicação suficiente incluindo trabalho conjunto em tarefas em interação.

É importante notar que **P. & D. visando à utilização do tório em reatores nucleares de potência, está ainda hoje em curso** em nível internacional.

Pesquisa sobre e Termo-Hidráulica do Reator e Segurança de Usinas PWR

- No período de 1970 - 1990, várias atividades relacionadas com a P. & D. em termo-hidráulica e segurança de reatores foram desenvolvidas no CDTN.

- Muitas dessas atividades foram conduzidas em cooperação
 - com o Centro de Pesquisa GKSS numa fase inicial,
 - posteriormente, com a Siemens/KWU,
 - e também com o Centro de Pesquisa de Karlsruhe.

Cooperação com GKSS em Termo-Hidráulica de Reatores

- A cooperação com o Centro de Pesquisas GKSS decorreu de discussões encetadas durante os Seminários de Trabalho anteriormente relatados e deu-se pela troca de missões.

- As atividades em Belo Horizonte tiveram lugar com a missão do Dr. Anastassious Katsaounis no IPR, e estiveram centradas na formulação de programas experimentais para o Laboratório de Termo-Hidráulica.

- As atividades desenvolvidas no GKSS, em Geesthacht-Tesperhude, incluíram:
 - Participação de um físico do IPR em experimentos termo-hidráulicos com feixes combustíveis em circuitos a Freon, simulando, em escala, o comportamento do escoamento do refrigerante do reator através do núcleo de um PWR.
 - Missão da engenheira-chefe do Laboratório de Termo-hidráulica do IPR, no GKSS para conhecer as atividades desenvolvidas naquele centro e discutir atividades futuras em Belo Horizonte.

- Por ocasião da primeira missão, o físico do CDTN acompanhou também experimentos termo-hidráulicos em circuito de grande porte, que foram realizados pela Siemens/KWU em no Atomic Energy Establishment Winfrith - AEEW, no Reino Unido.

Cooperação com Siemens/KWU e termo- Hidráulica e Segurança de Reatores

- A cooperação com a Siemens/KWU, que envolveu também a Nuclen, iniciou-se com missões de especialistas alemães em Belo Horizonte e no Rio de Janeiro, no âmbito do Acordo Geral de cooperação Brasil-Alemanha.

- Dentre os especialistas, lembramos de
 - G. Frei, com quem foram discutidos aperfeiçoamentos no código SACI;
 - Franz-Josef Winkler, com quem foram discutidos programas analíticos e experimentais em segurança de reatores.

- Posteriormente, em 1983, F.-J. Winkler e o Prof. Dietmar Hein, vieram ao CDTN no âmbito de uma missão da Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA para discutir os programas analítico e experimental.

- Os principais objetivos do Projeto eram:
 - Desenvolvimento e adaptação de códigos de computador avançados para projeto do reator e análise de acidentes na usina com e sem perda de refrigerante (LOCA e não-LOCA).
 - Aumento do conhecimento dos fenômenos físicos que governam os processos termo-hidráulicos no reator e nos sistemas do reator durante transientes LOCA e não-LOCA, por meio de pesquisa experimental e analítica.

- Em particular, pesquisa experimental dos fenômenos de escoamento bifásico na região entre o núcleo do reator e o *plenum* superior do vaso de pressão do reator.
- Geração de dados experimentais para suplementar resultados da pesquisa internacional sobre LOCA.
- Melhoria de modelos físicos pelo uso dos resultados experimentais e implementação desses modelos em códigos avançados de análise de segurança.

- Entre os códigos avançados para projeto e análise de segurança de PWR, previstos no escopo do projeto eram:
 - PANTERA-1P: para projeto e análise termo-hidráulica do núcleo, desenvolvido no CDTN.
 - SACI-2: para análise de transientes sem perda de refrigerante, também desenvolvido no CDTN.

– Outros códigos eram:

- RELAP5: para análise de transientes e de acidentes com perda de refrigerante, desenvolvidos pela EG&G, Idaho para a Comissão de Regulamentação Nuclear dos Estados Unidos (*U.S. Nuclear Regulatory Commission - NRC*).
- TRAC-PF1: também para análise de transientes e de acidentes com perda de refrigerante, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Los Alamos (LANL) para a NRC.
- BETHY: para cálculos de aquecimento do núcleo e comportamento da vareta combustível, desenvolvido pela Siemens/KWU.

- A parte experimental do programa foi estabelecida durante a missão da AIEA (Project BRA/9/019-01 e 02) dos especialistas da Siemens/KWU: Franz-Josef Winkler e Prof. Dietmar Hein.

- Incluía:
 - Projeto, construção e exploração no IPR do circuito termo-hidráulico Dispositivo para Teste de LOCA – Efeitos Separados (DTL-ES)
 - Experimentos de suporte e suplementares.

- O projeto conjunto, como no Programa de P. & D. sobre a Utilização do Tório em PWR, contou com um comitê de coordenação.
 - Do lado alemão:
 - D. Nentwich (KFA-Jülich) e
 - Hans Märkl, depois Franz-Josef Winler (Siemens/KWU).

Desenvolvimento e Aplicações do Código PANTERA

- O código PANTERA foi desenvolvido por um físico do CDTN para análise termo-hidráulica de elementos combustíveis e para projeto ou análise de núcleos de reatores a água.

- Até o final de 1990, haviam sido desenvolvidas duas versões: PANTERA 1P e PANTERA 2.
 - PANTERA-1P é uma versão avançada do código estadunidense COBRA-IIIC pra determinação das distribuições de entalpia e de vazão em feixes de varetas (simulando as varetas combustíveis de um reator) considerando-se a mistura de refrigerante entre subcanais.
 - Ambos os códigos têm idêntica capacidade de cálculo, contudo PANTERA-1P é mais rápido e eficiente do que COBRA-IIIC.

- Vários tipos de testes experimentais foram selecionados para avaliar a capacidade do código PANTERA-1P de reproduzir bem os resultados experimentais em condições típicas de operação de um LWR.

– Entre os testes podem ser citados:

- Recálculo de 6 testes em feixes de varetas simuladoras realizados em Winfrith para determinação de parâmetros de projeto do elemento combustível de recarga de Angra 1.
- Recálculo de 6 testes em feixes realizados na Universidade de Columbia, Estados Unidos, para determinação de parâmetros de projeto dos elementos combustíveis do primeiro núcleo e de recargas de reator da Siemens/KWU do tipo Angra 2.
- Recálculo de outros testes em feixes realizados na Universidade de Columbia e na Westinghouse, nos Estados Unidos, em Ispra, na Itália, e na AB Atomenergi, na Suécia.

- As aplicações de PANTERA-1P incluem:
- Análise do núcleo inteiro (193 canais) do reator da Usina Konvoi (padrão) Siemens/KWU, visando a comparar PANTERA-1P com Cobra IIIC/MIT-2.
 - Análise do evento de queda de barras de controle para o 3º ciclo de Angra 1, visando à avaliação da operação sob controle automático do reator.
 - Análise do mínimo DNBR (*Departure from Nucleate Boiling*) de Angra 1 para núcleos contendo elementos combustíveis do tipo Siemens/KWU fabricados pela FEC, em Rezende, RJ.
 - Cálculos complementares do projeto termo-hidráulico do primeiro núcleo de Angra 2.

- A versão PANTERA-2 é uma extensão do PANTERA-1P, cuja principal inovação refere-se ao esquema de entrada de dados, facilitando significativamente a preparação de cálculos para geometrias mais complexas (por exemplo, núcleo inteiro de um reator PWR).

- O desenvolvimento de PANTERA teve apoio importante da SIEMENS/KWU:
 - Por disponibilizar dados experimentais dos vários testes termo-hidráulicos;
 - Pelas discussões, tanto em Belo Horizonte,
 - por ocasião da vinda de especialista da Siemens/KWU,quanto em Erlangen,
 - durante a missão do físico desenvolvedor do PANTERA.

- Os trabalhos conduzidos na KWU durante a missão estiveram todos relacionados ao uso do programa computacional PANTERA-1P.

- As principais atividades desenvolvidas foram:
 - Utilização de PANTERA-1P na análise de experimentos em feixes de varetas, visando ao desenvolvimento da correlação KWU-ERB2 para fluxo de calor crítico.
 - Incorporação ao código COBRA IIIC/MIT-2 do método numérico utilizado em PANTERA-1P para solução das equações de conservação do escoamento em subcanais.

O código resultante, nomeado **COBRA-3CP**, por notável eficiência computacional, é ainda hoje utilizado por instituições da Alemanha (Areva NP GmbH), Bélgica, Coréia e Brasil.

Desenvolvimento e Aplicações do código SACI

- O código **SACI – Simulador de Acidentes** é, como já foi dito, um programa de dinâmica de reatores desenvolvido no CDTN, com base no programa GENDY.
 - SACI foi usado para o estudo do comportamento de usinas nucleares do tipo PWR durante transientes operacionais ou em condições de acidentes sem perda do refrigerante do reator.

- A equipe que desenvolveu o código SACI era composta, de dois engenheiros e uma física; mais tarde foi acrescentada de mais um engenheiro.

- Dois dos engenheiros estiveram em curto período no GKSS, após a missão do Dr. Reinhard Fiebig em Belo Horizonte, com a finalidade de dar prosseguimento ao desenvolvimento de GENDY.
- A física esteve em Karlsruhe, na Alemanha, participando de um curso da AIEA sobre instrumentação e controle de usinas nucleares do tipo Siemens/KWU.
- O terceiro engenheiro esteve, por dois (quatro?) anos na Siemens/KWU, em Erlangen.

- O programa SACI foi exaustivamente verificado e aplicado, tanto para Angra 1 quanto para Angra 2.

- A comparação com resultados experimentais incluiu:
 - Recálculo de três experimentos realizados durante o comissionamento da Usina Nuclear Biblis-A:
 - desligamento do reator (*scram*),
 - rejeição de carga
 - e parada de emergência ou blecaute da usina,com a finalidade de avaliar os modelos termo-hidráulicos usados no código.

- Recálculo de quatro experimentos realizados durante a operação da Usina Nuclear de Grafenrheinfeld (KKG/BAG):
 - desligamento do reator,
 - desligamento (*trip*) da turbina,
 - falha de uma bomba de água de alimentação de um gerador de vapor,
 - falha de uma bomba principal de refrigeração do núcleo do reator.

- Recálculo dos mesmos quatro experimentos acima, realizados durante a operação da Usina Nuclear de Philippsburg 2 (KKP 2).

– Entre as aplicações de SACI2 ,podem ser citadas:

- Análise do transiente de queda de barras de controle para o 3º ciclo de Angra 1, visando à avaliação da operação sob controle automático.
- Análise de transientes e acidentes para Angra 1, com o núcleo contendo somente elementos combustíveis fabricados pela FEC, visando a apoiar o licenciamento do 4º ciclo.
- Análise de acidentes em complementação ao Relatório Final de Análise de Segurança (FSAR) de Angra 2.

- As seguintes perturbações podiam ser simuladas com a versão SACI2/MODO:
- perturbações de reatividade, como a retirada descontrolada de barras de controle,
 - falha de uma ou mais bombas principais de refrigeração do núcleo do reator,
 - variação de carga (demanda de vapor),
 - variação de entalpia da água de alimentação do gerador de vapor,
 - partida de um circuito inativo de refrigeração,
 - parada de emergência (*station black-out*),
 - falha de bomba de água de alimentação do gerador de vapor,

– Continuando:

- isolamento de uma linha principal de vapor,
- ruptura de uma linha de vapor,
- falha dos sistemas de controle e proteção do reator,
- desligamento do reator
- desligamento da turbina.

- Que fim levou SACI ?
 - Todo o esforço e a tecnologia adquirida com o desenvolvimento e aplicação do código SACI e o próprio programa foram totalmente perdidos, por causa
 - da aposentadoria dos dois principais membros da equipe,
 - do remanejamento dos outros dois
 - um dos quais para a área de Recursos Humanos da Cnen-Sede,
 - e por não ter havido reposição de pessoal com as aposentadorias.

Códigos RELAP5 e TRAC/PF1

- Para fazer face aos requisitos crescentes no campo da análise do acidente com perda de refrigerante, foram desenvolvidos os chamados códigos avançados, como RELAP5 e TRAC-PF1.

- Foram calculados e analisados com RELAP5/MOD1 vários casos de acidente com perda de refrigerante para usina do tipo Angra 2.
 - Na simulação, foi dada ênfase na obtenção do regime permanente de operação a 100% de potência, como forma de assegurar a correção dos dados e hipóteses usados.

- A partir desses resultados foram então calculados e analisados três casos de acidente:
 - dois casos com rupturas de 100 cm² e de 250 cm² entre a bomba principal de refrigeração e o vaso de pressão do reator,
 - e um caso com ruptura de 20 cm no fundo da calota inferior do vaso de pressão.

- O código TRAC-PF1 foi muito usado no CDTN em apoio ao projeto do Dispositivo para Teste de LOCA – Efeitos Separados – DTLES.

Programa Experimental em Termo- Hidráulica e Segurança de Reator

- O programa experimental consistiu ou visava a realização de:
 - Experimentos para investigar fenômenos básicos de remolhamento do núcleo (*rewetting*) e de propagação da frente de remolhamento (*quench front*) por ocasião de um LOCA.

- Testes em escoamento bifásico no Dispositivo para Testes de LOCA – Efeitos Separados – DTLES, construído no CDTN
 - para investigar os fenômenos que ocorrem durante um acidente com perda de refrigerante (LOCA) na região situada entre a parte superior do núcleo do reator e o *plenum* superior do vaso de pressão do reator
 - e para demonstrar, em escala, a eficácia da refrigeração de emergência do núcleo.

- Experimentos em água-ar, em dispositivo com seção de teste em plexiglas simulando a interface núcleo-*plenum* superior
 - para observação visual de fenômenos fundamentais em escoamento em contracorrente,
 - para calibração e pré-teste de instrumentos do DTLES:
 - microturbinas,
 - densitômetro-gama,
 - e para desenvolvimento de técnicas de medidas.

O Dispositivo para Testes de LOCA – Efeitos Separados - DTLES

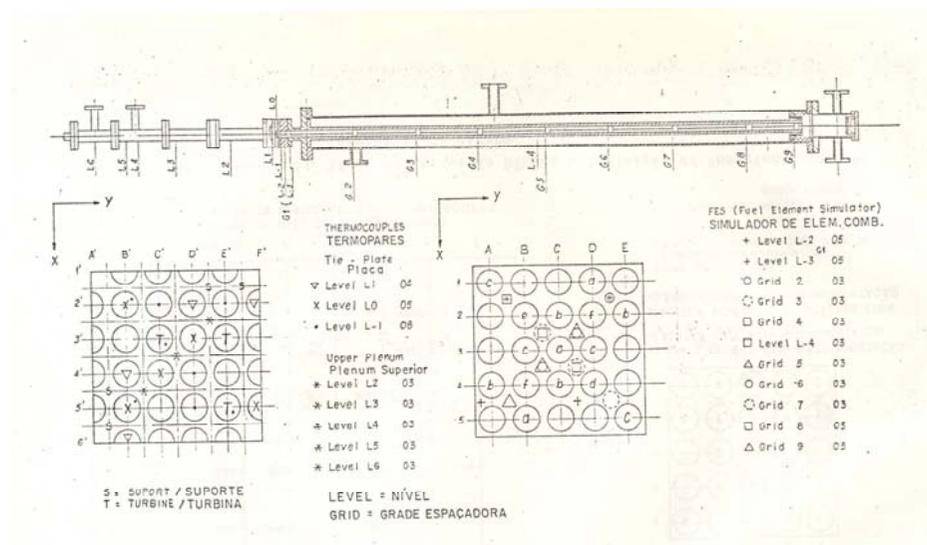
- Os fenômenos que seriam estudados nesta instalação, que podem ocorrer nas fases de fim da despressurização, de reenchimento e reinundação do núcleo do reator durante um LOCA em PWR, são:
 - Vazão bifásica (água-vapor) ascendente,
 - Vazão bifásica descendente,
 - Vazão em contracorrente de água e vapor,
 - Queda brusca de água através da *tie-plate* (*breakthrough*)

- Os resultados do programa experimental seriam utilizados:
 - para uma melhor compreensão dos processos termo-hidráulicos verificados em dispositivos de testes integrais e no reator,
 - e para aperfeiçoar os códigos de cálculo do acidente com perda de refrigerante (LOCA).

- O segundo objetivo não pôde ser alcançado devido às dificuldades de obtenção de componentes, à falta de recursos e aos atrasos ocorridos,
 - que não apenas impediram concluir o circuito conforme o plano original,
 - como também implicaram defasagem do cronograma, impedindo a realização de testes no DTLES antes de testes serem realizados na instalação UPTF.

- Apesar disso, uma série de testes pôde ser realizada com o circuito concluído com adaptações:
 - por exemplo, com simuladores de varetas combustíveis menos sofisticados.

Seção de Teste do DTLES Posicionamento dos Termopares



- Durante o ano de 1985, um físico do CDTN:
 - Participou da realização e da análise dos resultados de alguns dos experimentos simulando a reinundação do núcleo de um PWR conduzidos no circuito termo-hidráulico PKL (*Primärkreislauf*), do centro de pesquisa da Siemens/KWU, em Erlangen.
 - Participou também de atividades relacionadas à montagem e calibração da instrumentação, especialmente da instrumentação avançada, do circuito UPTF (*Upper Plenum Test Facility*), construído em Mannheim.

- O programa experimental contou com a participação de inúmeros especialistas da Siemens/KWU, entre eles:
 - Franz-Josef Winker,
 - Heinrich Watzinger,
 - Bernhard Brand,
 - Rafael Mandl.

- O envolvimento com equipes altamente qualificadas em estudos termo-hidráulicos experimentais da KWU forneceu capacitação que foi posteriormente aplicada em projetos similares implementados no Laboratório de Termo-hidráulica do CDTN, na Nuclebrás e, posteriormente, na Cnen.

Programa de Testes de Componentes de Usinas Nucleares

- Em realidade, as atividades deste programa não foram exatamente de pesquisa e desenvolvimento, mas a cooperação com a Siemens/KWU foi muito importante.
 - Por isso é aqui relatada.

- Os produtos utilizados em usinas nucleares são objeto de especificações de qualidade sem paralelo em outros setores de tecnologia mais convencional.
- A adequação da indústria nacional ao setor nuclear requer o estabelecimento de uma infra-estrutura de laboratórios para execução de ensaios especiais e qualificação de componentes.

- Em razão disso, a Nuclebrás decidiu implantar, no CDTN, o Laboratório de Testes de Componentes, compreendendo
 - algumas instalações de pequeno porte;
 - uma instalação de maior porte, o Circuito de Testes de Componentes – CTC, objetivando principalmente testes de válvulas;
 - e uma instalação a ela associada, Instalação de Testes em Condições de Acidente - ITCA, para testes de componentes que devem funcionar no interior da contenção do reator, mesmo nas condições do Acidente Base de Projeto (*DBA – Design Basis Accident*).

- Cabe ressaltar que os projetos do CTC e do ITCA foram desenvolvidos com equipe própria do CDTN e assistência técnica da Siemens/KWU.
 - Esta foi uma decisão tomada pelo CDTN, endossada pela Nuclebrás, frente à alternativa de contratar a KWU para realização do projeto.

- Os materiais e componentes eram todos de fabricação nacional.
- A equipe que desenvolveu o projeto básico das instalações avançou no projeto detalhado, por falta de recursos para contratação de firma especializada.

- O exercício da execução deste projeto formou uma equipe ímpar para execução de projetos de engenharia nuclear (e convencional) no CDTN.
- O *know-how* adquirido permitiu contribuir para outros projetos.

- O Circuito de Testes de Componentes – CTC era destinado à realização de uma série de testes em válvulas de aço carbono, tais como:
 - Controle de estanqueidade sob diversas condições de trabalho, inclusive sob tensões provenientes da dilatação das tubulações.
 - Avaliação de materiais empregados, projeto, facilidade de manutenção e operação.
 - Medições hidráulicas e avaliação dos esforços de acionamento.
 - Verificação de características e ajustes de válvulas de segurança.

O Circuito de Testes de Componentes – CTC

- Estatísticas demonstravam que mais de 15% das paralisações não programadas em usinas do tipo PWR nos Estados Unidos decorriam diretamente de defeitos apresentados por válvulas.
- Também na Alemanha, as primeiras usinas nucleares apresentaram problemas freqüentes devidos ao mau funcionamento de válvulas, o que levou à Siemens/KWU a construir instalações de testes.

- O Circuito de Testes de Componentes – CTC era destinado à realização de uma série de testes em válvulas de aço carbono, tais como:
 - Controle de estanqueidade sob diversas condições de trabalho, inclusive sob tensões provenientes da dilatação das tubulações.
 - Avaliação de materiais empregados, projeto, facilidade de manutenção e operação.
 - Medições hidráulicas e avaliação dos esforços de acionamento.
 - Verificação de características e ajustes de válvulas de segurança.

Painel de
Controle do CTC



- O CTC não chegou a ser concluído.
- A situação do projeto e construção da instalação, em 1986, era a seguinte:
 - O prédio do Laboratório de Testes de Componentes, foi construído durante o ano de 1982; o acabamento final seria executado após o término da montagem eletromecânica da instalação.
 - O projeto detalhado do CTC estava praticamente pronto desde o final de 1984, faltando completar com desenhos e dados de todos os equipamentos *"as built"*.

- A montagem da instalação foi programada para três fases.
- A primeira fase foi iniciada em setembro de 1983, com as montagens da ponte rolante, painéis elétricos, painel de controle e eletrodutos, utilizando pessoal próprio do CDTN.
- A segunda fase, realizada por uma firma contratada, consistiu da montagem dos conjuntos de moto-bombas principais, de tanques e trocador de calor, e foi concluída no final de novembro de 1984.

- A terceira e última fase das montagens, também a ser contratada, consistia principalmente da montagem das tubulações do circuito principal, dos circuitos auxiliares, da instrumentação de campo e respectiva fiação elétrica e isolamento térmico.
 - Esta terceira fase não foi concluída devido à falta de recursos.

- O atraso sistemático do cronograma de construção do CTC prejudicou a qualificação de válvulas nacionais para Angra 2.

– Os últimos investimentos feitos no Circuito de Testes de Componentes – CTC foram no ano de 1985.

**O projeto do CTC
foi encerrado, inconcluso,**
em 1986, apesar do grande esforço das
equipes e do grande volume de
investimentos realizados.

Instalação para testes em Condições de Acidente - ITCA

- Para fins de licenciamento, o projeto de uma usina nuclear está condicionado à avaliação das conseqüências de um acidente severo hipotético, conhecido como "Acidente Base de Projeto" (*DBA – Design Basis Accident*), no qual ocorre a ruptura plena de uma tubulação principal do circuito primário do reator (*double ended LOCA*) resultando na perda do refrigerante do reator e sua despressurização.

- Como resultado desse acidente postulado, o refrigerante primário é liberado para a atmosfera contida no recinto do reator.
- Mesmo nessas condições extremas, os componentes "vitais" à segurança da instalação e que estão instalados dentro da contenção do reator, deverão se manter em funcionamento, o que deve ser demonstrado *a priori*, mediante a realização de ensaios e testes de qualificação de protótipos.

- A Instalação para Testes em Condições de Acidentes – ITCA, um dispositivo acoplado ao CTC, foi projetada com esta finalidade.
- Sua construção permitiria testar:
 - atuadores de válvulas do circuito primário de refrigeração do reator,
 - caixas de conexão de cabos elétricos,
 - penetrações de cabos na esfera de contenção do reator,
 - instrumentos,
 - materiais (por exemplo, tintas),
 - e outros componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos.

- A instalação seria constituída basicamente de um vaso dentro do qual seriam simuladas as condições reinantes na atmosfera da contenção de uma usina PWR durante e após um Acidente Base de Projeto.
- O regime transiente inicial (elevação de temperatura e pressão) seria conseguido pela introdução súbita de vapor, proveniente do pressurizador do CTC.

- As dimensões do vaso da ITCA eram:
 - volume total: 4,3 m³,
 - altura útil: 2,0 m e
 - diâmetro interno: 1,6 m.
- Ela poderia assim ser utilizada na realização de testes de qualificação de inúmeros componentes nacionais do escopo de fornecimento para Angra 2.

A Instalação para Testes em Condições de Acidente – ITCA, assim como o CTC, não foi concluída.

Ensaio de componentes para Angra 2

- Não obstante as dificuldades enfrentadas, que não permitiram concluir a construção do CTC e do ITCA, o CDTN prestou serviços de testes e ensaios de qualificação em materiais e componentes da indústria nacional para Angra 2, a partir de dezembro de 1982.

- Para isso, foram projetadas e montadas no Laboratório de Termo-hidráulica três instalações de pequeno porte.
 - Dois dispositivos de testes (ITIP e ITIL) para verificação do grau de estanqueidade de componentes contra pó e líquido foram projetados e construídos no CDTN, de acordo com as normas DIN-40052, DIN-40053, MB-578 e EB-582.

- Uma terceira instalação (ITCA') destinada a cumprir essencialmente as mesmas funções da instalação pra testes em Condições de Acidentes – ITCA, porém comportando componentes a ensaiar com volume máximo da ordem de $0,1 \text{ m}^3$.
 - Sua construção foi decidida devido à demanda premente para testes de qualificação de componentes nacionais para Angra 2.
 - O vapor introduzido no vaso de teste desta instalação, para obtenção das condições de teste, era suprido pelo pressurizador do Circuito Térmico N° 1 – CT1 do Laboratório de Termo-hidráulica.

– Com o uso destas instalações, diversos testes foram realizados em materiais e componentes da indústria nacional no escopo de fornecimento para Angra 2.

Material / Componente	Tipo de Teste	Finalidade
Caixas de conexão de cabos elétricos	Acidente Base de Projeto (ensaio de DBA)	Simulação das condições de temperatura e pressão de um Acidente Base de Projeto (DBA)
Atuadores elétricos rotativos de válvulas	Envelhecimento térmico e simulação de vida útil	Verificação das características funcionais de atuadores elétricos
Tintas	Determinação de esquemas de pintura	Avaliação do comportamento de esquemas de pintura para aplicação na esfera de contenção de Angra 2
Protótipo de atuador elétrico	Estanqueidade a pó e líquido Envelhecimento térmico e simulação de vida útil	Comprovação das características funcionais e operacionais
Sistema hidráulico de atuação das escotilhas dos "locks" da esfera de contenção	Acidente Base de Projeto (ensaio de DBA)	Simulação das condições de um Acidente Base de Projeto (DBA)

- O programa de testes de componentes contou com a participação de inúmeros especialistas da Siemens/KWU, particularmente no projeto do CTC + ITCA:
 - Dieter Knodler – quem propôs à Nuclebrás implementar uma infra-estrutura para testes/ensaios de componentes de usinas nucleares;
 - Bertold Dernbach – do Laboratório de Testes de Componentes da Siemens/KWU em Karlstein;
 - Ralf Emmerling.

Outras Atividades em Cooperação

- Acompanhamento de **experimentos críticos do segundo núcleo do Otto Hahn** (FDR-II), realizados na GKSS, por parte de dois engenheiros do CDTN.
- Participação de um engenheiro no **III Seminário Indo - R.F. Alemanha sobre a Utilização do Tório**, realizado no Bhabha Atomic Research Centre - BARC, em Trombay, Bombaim, Índia, 18-22 novembro de 1974, a convite dos parceiros alemães.

- Participação de seis engenheiros e um físico do CDTN e de um engenheiro do Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia da UFMG, no **Seminário Brasil - R.F. da Alemanha sobre Licenciamento de Instalações Nucleares**, organizado pela CNEN e pelo KFA-Jülich, e realizado no Rio de Janeiro, RJ, de 24 de novembro a 05 de dezembro de 1975.

- Missão de um engenheiro a Karlsruhe para participar em **experimentos em curso no escopo do Programa de Segurança Nuclear (*Projekt Nukleare Sicherheit – PNS*)** do KFK.
 - O engenheiro do CDTN participou de experimentos REBEKA, então conduzidos sob coordenação de F. Erbacher.

- A cooperação com o KFK-Karlsruhe decorreu de missão prévia de A. Fiege do KFK ao CDTN.

- **Estudos de criticalidade** foram iniciados no CDTN com vistas à realização de análises de criticalidade para a Fábrica de Elementos Combustíveis – FEC da Nuclebrás, que foram feita pelos dois engenheiros.
 - No curso dos estudos, muito se aproveitou da missão de um especialista do GRS (W. Thomas) ao CDTN.

- Estudos do **PWR de alta taxa de conversão** (*High Converter PWR*) foram iniciados, em cooperação com a Siemens/KWU.

- O **treinamento em operação de usinas nucleares na Alemanha** de dois engenheiros do CDTN foi realizado, visando a dar suporte à Nuclen durante o comissionamento de Angra 2.

Comentários Finais

- O maior benefício da cooperação Brasil – Alemanha em pesquisa e desenvolvimento no campo nuclear talvez tenha sido a formação de pessoal de alto nível técnico em diversas áreas da tecnologia nuclear, por meio de treinamento *on-the-job* nas instituições alemãs envolvidas na cooperação.

- A cooperação e transferência de tecnologia no âmbito do **Programa de P. & D. sobre a Utilização do Tório em Reatores a Água Pressurizada** foram bem sucedidas.
 - Na primeira fase do programa, a ampliação do Laboratório de Combustível Nuclear do CDTN permitiu criar uma capacitação em tecnologia de combustíveis nucleares avançados (óxido misto de U/Th), que resultou numa participação brasileira crescente no esforço de P. & D. do programa.

- Na segunda fase do programa, a ampliação dos Laboratórios de Tratamento Químico permitiu a realização, no CDTN, de estudos de reprocessamento a frio de combustível contendo tório pelo processo Thorex.

- A capacitação de equipes do CDTN na área de projeto nuclear e análise do comportamento neutrônico do núcleo de reatores do tipo PWR assim como na área da tecnologia do combustível nuclear adquirida ao longo do programa de utilização do tório em PWR, permitiu ao CDTN, no período 1987-1989, trabalhar em conjunto com a Fábrica de Elementos Combustíveis – FEC e a Nuclen num programa integrado nas áreas de
 - projeto,
 - engenharia,
 - fabricação e
 - desenvolvimento do combustível nuclear.

- A cooperação no âmbito do **Projeto sobre Pesquisa de Segurança em Termo-hidráulica de Reator** ampliou consideravelmente a capacitação do CDTN em várias áreas das tecnologias do reator a água pressurizada, em particular:
 - Análise e projeto termo-hidráulico e de elementos combustíveis PWR.
 - Análise de acidentes postulados para usinas nucleares do tipo PWR, incluindo o acidente dom perda de refrigerante do reator (LOCA).
 - Experimentos termo-hidráulicos relacionados com a segurança do reator e da usina PWR.

- O envolvimento com equipes altamente qualificadas em estudos termo-hidráulicos experimentais da KWU forneceu capacitação à equipe do Laboratório de Termo-hidráulica do CDTN, que foi posteriormente utilizada/aplicada em projetos similares implantados, ainda na Nuclebrás, como também posteriormente, na CNEN.

- Apesar de não concluídos, o Circuito de Testes de Componentes – CTC e a Instalação para Testes em Condições de Acidentes – ITCA, cujos projetos foram desenvolvidos no âmbito do **Programa de Testes de Componentes**, diversos ensaios e testes de componentes para qualificar produtos da indústria nacional para fornecimento a usinas nucleares puderam ser realizados em instalações de pequeno porte.

- O exercício da execução dos projetos básico e detalhado das duas instalações experimentais consolidou a formação de uma equipe de engenharia no CDTN apta a executar projetos de engenharia nuclear (e convencional), em nível de detalhamento.
- A experiência adquirida pela equipe permitiu contribuir para outros projetos nucleares da CNEN (como, por exemplo, o container para armazenamento de rejeito radioativo do acidente de Goiânia, GO).

- É importante enfatizar que, do lado alemão, a contribuição foi extremamente valiosa:
 - não apenas pela aceitação de missões tanto de curta quanto de longa duração de elementos do CDTN nas instituições alemãs envolvidas, muitas delas para treinamento *on-the-job*,
 - como também pela participação do pessoal alemão, em sua grande maioria, com alto e até mesmo altíssimo nível de conhecimento técnico.

SESSÃO 3

Presidente da Mesa: **Prof. Omar Campos Ferreira**

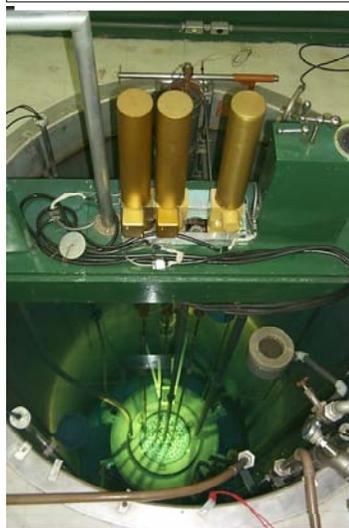
Participou da implantação do IPR, atual CDTN, onde exerceu o cargo de diretor de 1975 a 1976. Foi professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia da UFMG. É co-editor da revista Economia e Energia.

CONFERÊNCIA: **Visão Prospectiva da Tecnologia Nuclear**

Conferencista: **Sérgio Almeida Cunha Filgueiras**

Formou-se engenheiro químico pela Universidade Federal de Minas Gerais onde fez também o seu mestrado. Fez estágio no Kernforschungszentrum de Jülich, Alemanha . Seu doutorado na Universidade de São Paulo foi na área de Engenharia de Produção. É diretor do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Reator TRIGA Mark1
IPR R1



1960



Visão prospectiva da tecnologia nuclear

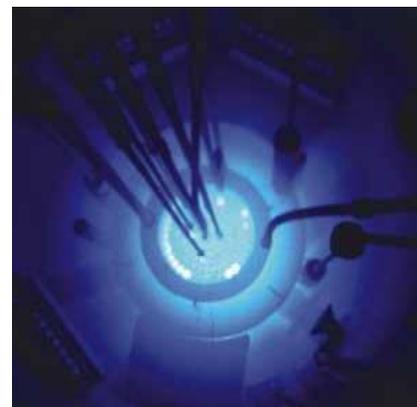
Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

Diretor do CDTN

Abordagem do tema



1. Quem é o CDTN, nascido IPR
Destacar 10 atividades importantes dos últimos 10 anos
2. O ambiente nuclear no Brasil
e seu impacto no CDTN
3. A energia nuclear está volta
(no mundo ocidental)
4. Novos desafios



Reator TRIGA
46 anos de bons serviços

Breve histórico do CDTN

1952 UFMG IPR

1965 CNEN IPR

1972 CBTN IPR

1974 NUCLEBRÁS CDTN

1988 CNEN CDTN

2006 CNEN CDTN

1960



Inauguração do Reator TRIGA





Vinculação Institucional



MCT

Ministério da Ciência e Tecnologia

CNEN

Comissão Nacional
de Energia Nuclear



Autarquia
Federal

CDTN

Centro de Desenvolvimento
da Tecnologia Nuclear

Outros institutos da CNEN:

Rio de Janeiro

IEN

IRD

São Paulo

IPEN

Recife

CRCN

Quem trabalha no CDTN
(dez. 2005)



618 pessoas → 398 *staff* permanente
 → 100 não efetivos
 → 120 estudantes e bolsistas

Qualificação dos servidores permanentes:

85 Doutores 80 Mestres 50 Especialistas

Missão institucional



Gerar e difundir conhecimentos,
disponibilizar produtos e serviços
em benefício da sociedade
por meio de pesquisa e desenvolvimento
na área nuclear e em áreas correlatas.

Tecnologia nuclear é o nosso negócio



- Entendemos como parte da nossa área de atuação toda atividade que envolva **radiações ionizantes**, os seus usos e a proteção contra os efeitos nocivos ao homem ou ao meio ambiente.
- Grosso modo, pode-se dividir a **tecnologia nuclear** em 2 grandes blocos:
 - produção de energia elétrica e ciclo do combustível nuclear
 - **aplicações de técnicas nucleares**

Desdobramento da missão

Cientes e parceiros:

- Governos federal, estadual e municipais
- Empresas estatais
- Empresas privadas
- Universidades e centros de pesquisa



Setores econômicos atendidos:

- Nuclear
- Energia elétrica
- Petróleo e petroquímica
- Siderurgia e metalurgia
- Mecânica
- Mineral
- Hospitais e clínicas

Áreas de Atuação



- **Materiais e minerais**
 - ✓ Nanociências
 - ✓ Integridade estrutural
 - ✓ Tecnologia mineral e hidrometalurgia
- **Meio Ambiente**
 - ✓ Monitoração e diagnóstico
 - ✓ Hidrologia
 - ✓ Hidrogeologia e sedimentologia
- **Tecnologia Nuclear**
 - ✓ Combustível nuclear
 - ✓ Termofluidodinâmica
 - ✓ Neutrônica
- **Segurança Nuclear e Radiológica**
 - ✓ Metrologia das radiações
 - ✓ Proteção radiológica
 - ✓ Rejeitos radioativos
- **Saúde**
 - ✓ Aplicações médicas das radiações

10 destaques



1. Uso do trítio como marcador natural na hidrologia
2. Agregação de valor a gemas brasileiras, por irradiação gama para esterilização e coloração de gemas
3. Excelência na gerência de rejeitos radioativos
4. Metrologia das radiações ionizantes para apoio aos usuários
5. Gerência do envelhecimento de equipamentos e instalações
6. Desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados
7. Apoio tecnológico à indústria mineradora e metalúrgica
8. Projeto de dispositivo para teste de irradiação de combustíveis
9. Ampliação da temática em meio ambiente
10. Criação do curso de pós-graduação

1. Gestão de recursos hídricos



Hidrogênio

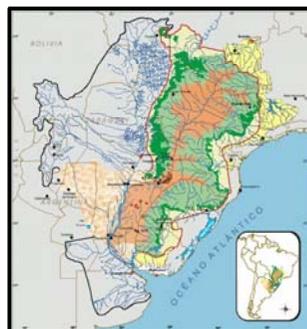


Deutério



Tritio

Contribuindo para exploração segura e racional de aquíferos



Aquífero Guarani
45.000 km³

Datação de água subterrânea



Laboratório recebeu avaliação ótima pela AIEA - critérios ISO 17025

2. Irradiação Gama – um exemplo



Quartzo com cor induzida por irradiação gama (etapas do processo)

Laboratório de Irradiação Gama
(fonte de cobalto-60)



**Contribuindo para agregar
valor a gemas no País**

3. Rejeitos radioativos

Armazenamento de rejeitos radiativos de baixa e média atividade.



Desmonte de pára-raios e detectores de fumaça radioativos



Solidificação de rejeitos

3. Inserção internacional – um exemplo



**Assistência para
acondicionamento
de fontes radioativas
fora de uso**

4. Metrologia das radiações



Metrologia Beta



Apoio aos usuários de instrumentos de detecção das radiações ionizantes



Irradiador de Césio- 137 e dispositivo para calibrações

5. Tecnologia de Materiais



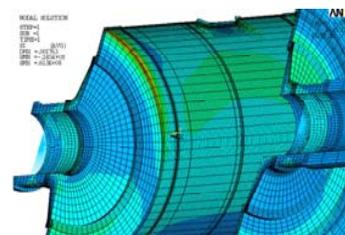
Avaliação da integridade estrutural de equipamentos industriais



Ensaio de materiais



Corrosão sob tensão



Modelagem por elementos finitos

6. Tecnologia de Materiais



Nanociência

Síntese e caracterização de novos materiais nanoestruturados



Estuda propriedades físicas fundamentais determinadas por estruturas de dimensões da ordem de 10^{-9} m

7. Tecnologia Mineral

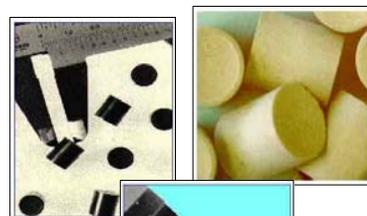


Coluna industrial para concentração mineral por flotação

Laboratório de extração por Solvente

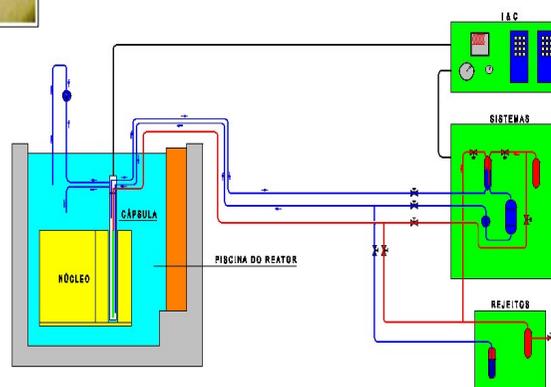


8. Tecnologia Nuclear



Combustível nuclear
cerâmico
 UO_2 e $(\text{Th,U})\text{O}_2$

Circuito de irradiação para
qualificação experimental de vareta
combustível nuclear



9. Meio Ambiente – um exemplo



Estudos de fenômenos ambientais com uso de traçadores radioativos



10. Pós-graduação no CDTN



Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais

Áreas de Concentração

- Ciência e Tecnologia dos Materiais
- Ciência e Tecnologia das Radiações
- Ciência e Tecnologia dos Minerais

Linhas de Pesquisas Interdisciplinares

- Geoquímica, Metalurgia Extrativa e Radioquímica e Recursos Minerais e Meio Ambiente
- Nanociências e Materiais Avançados
- Biologia e Física na Saúde

Divulgação da ciência e da energia nuclear



- É parte da nossa missão institucional levar ao público o conhecimento básico para que ele possa criticar a energia nuclear
- Imagem institucional vinculada à imagem pública da energia nuclear
- Nos últimos 10 anos, atividades educacionais para cerca de 60 mil estudantes
 - Exemplo: CDTN Portas Abertas


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS -
IBAMA

LICENÇA DE OPERAÇÃO Nº 225/2002

O INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, no uso das atribuições que lhe confere a Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990, e considerando, ainda, a Portaria n.º 1471, de 11 de setembro de 2001, **RESOLVE**

expedir a presente Licença de Operação à:

EMPRESA: CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
CGC: 00.402.552/0012/81
ENDEREÇO: RUA MÁRIO WERNECK S/Nº - Campus da UFMG
CEP: 31120-270 **CIDADE:** BELO HORIZONTE **UF:** MG
TELEFONE: (31)3499-3263 **FAX:** (31) 3499-3444
REGISTRO NO IBAMA: Nº 02001.001183/01-79

autorizando a operação do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, situado em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. Este Centro de Pesquisa tem por finalidade desenvolver materiais e equipamentos para o setor nuclear; realiza avaliações hidrológicas e monitoramento ambiental utilizando técnicas nucleares, além de estudos sobre irradiação de alimentos e inertização de rejeitos radioativos.

Esta Licença de Operação é válida pelo período de 4 (quatro) anos, a partir desta data, observadas as condições discriminadas no verso deste documento e nos demais anexos constantes do processo registrado neste Instituto, que embora não transcritos, são partes integrantes deste Instrumento de Licenciamento.



Instituto licenciado
pelo IBAMA



Faixa Bronze - Prêmio Mineiro da Qualidade 2003 e 2005



Novos desafios para o CDTN

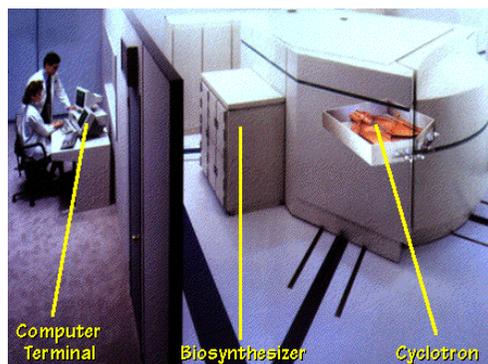


- Ser reconhecido por sua efetiva contribuição para o desenvolvimento
 - vincular o seu sucesso ao crescimento do País.
- Atuar em redes de inovação, de forma a potencializar suas contribuições
- Ampliar a oferta de serviços tecnológicos certificados por organismos acreditadores
- Internacionalizar suas ações e parcerias
- Ampliar sua atuação na formação de pesquisadores e de tecnólogos nucleares.
- Produzir radiofármacos para diagnóstico médico e terapia

Entre os novos desafios



Contribuir para que a população tenha acesso à mais moderna tecnologia de diagnóstico médico: a Tomografia de Emissão de Pósitrons - PET



Ciclotron

Produção de radioisótopos e pesquisa

Política nuclear no Brasil



Política *Stop-and-go*

- ~ 1965 – 1970: tentativa de projeto autóctone – Grupo do Tório; encerra-se com a decisão de comprar Angra 1
- ~ 1975 – 1985: Programa Brasil-Alemanha
- ~ 1980 – 1995: programa da Marinha de propulsão naval
- ~ 1995 – 2005: Angra 2; Caitité; fábrica de enriquecimento
- Depois ???

Cada fase teve seus sucessos.

Qualquer programa nuclear exige constância: ver China, Índia e Coreia do Sul

Conseqüências das descontinuidades



- Divórcio entre indústria nuclear e institutos de P&D
- Pesquisador busca outras áreas mais dinâmicas
- Perda de pessoal capacitado por dificuldade de reposição
- Redução da cooperação internacional para desenvolvimento (EPR; IRIS; GIF; ITER)



- Institutos de P&D são cada vez menos focados no ciclo do combustível nuclear e na tecnologia de reatores

Energia nuclear está de volta



(No mundo ocidental, já que os países da Ásia não interromperam o seu desenvolvimento)

- Protocolo de Kyoto
- Petróleo a US\$70.00 o barril
- No Brasil:
 - ✓ apagão de 2001: complementação térmica
 - ✓ oposição a grandes barragens: menor reserva
 - ✓ caso do gás da Bolívia



- Angra 3 vem aí: PNE 2015 já prevê
- Mas não é suficiente: precisamos de um programa nacional de longo prazo.

Pergunta que não quer calar



Quem vai projetar, construir e operar
os futuros reatores brasileiros?

- logo não teremos mais gente suficiente para isso

Resumindo: nossos desafios



- Aprovar um programa nuclear nacional
- Integrar indústria e P&D
- Capacitar pessoas e dar a elas um bom motivo para dedicarem suas vidas à área nuclear
- Desenvolver tecnologia própria

CONFERÊNCIA: Tecnologias Portadoras de Futuro**Conferencista: Prof. Evando Mirra de Paula e Silva**

Sua carreira é repleta de contribuições do engenheiro, pesquisador e professor para o desenvolvimento científico e tecnológico de instituições que atuam na pesquisa de fronteira no país. Foi integrante do grupo de pesquisadores da Divisão de Materiais do IPR, atual CDTN, professor emérito da UFMG, Presidente do CNPq. É Diretor de Inovação da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Symposium Celebrating
the Centenary of
Prof. Francisco
Magalhães Gomes



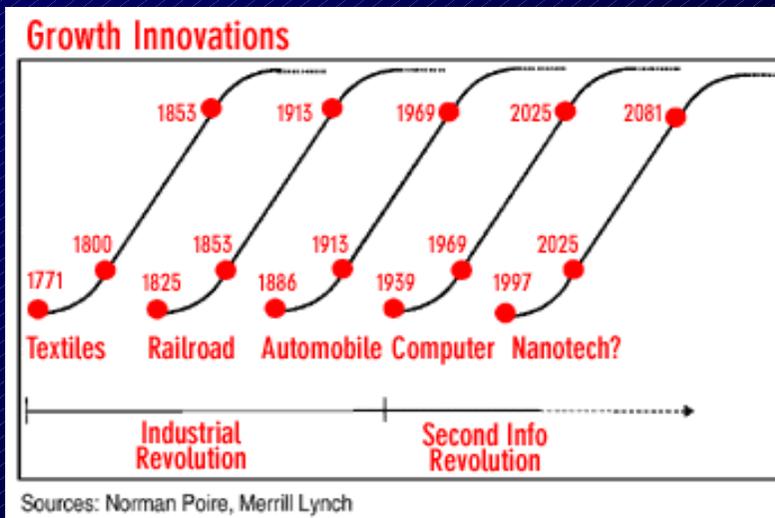
Tecnologias Portadoras do Futuro

Evando Mirra de Paula e Silva
Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Belo Horizonte, 22 de agosto de 2006



Tecnologias-chave





**Nosso Futuro Científico - Tecnológico:
Turbulento, Convergente, Emergente**

- **Tecnologias da Informação e Comunicação**
 - **Biocomplexidade**
 - **Nanotecnologia**

**“ O conhecimento é a nova
forma de riqueza das nações ”**

Science, Technology and Industry Outlook – OCDE

(Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico):

- Investimentos crescentes em conhecimento são a chave do desempenho econômico e dos ganhos no campo social, e estão associados à emergência de uma sociedade mais interconectada (*networked*), onde criação e aplicação do conhecimento tornam-se cada vez mais colaborativos.
- A inovação responde por ~ 50% do crescimento econômico dos países industrializados.

Mas a difusão do conhecimento é recente...

<i>Época</i>	<i>Cientistas</i>	<i>Publicações</i>
Sec XVII	~ 100	n.d.
1900	~ 2 000	~ 2 000
2000	~ 10 milhões	~ 30 milhões

"In 1900 many countries in Europe - like Ireland, Italy, Portugal, Spain, Finland, Russia, Czechoslovakia, Hungary - had high levels of illiteracy ~ 70 %."

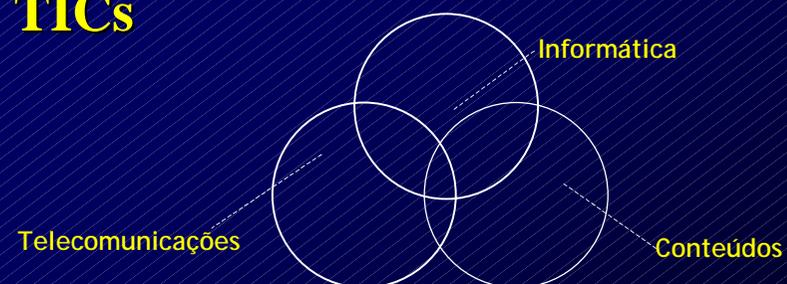
[Foreman-Peck & Lains, Economic Growth in the European Periphery 1870-1914]

2006: The World's Most Innovative Companies

Asia	Europe	North America
1. Apple	1. Apple	1. Apple
2. Google	2. Google	2. Google
3. 3M	3. Nokia	3. P&G
4. Samsung	4. Microsoft	4. 3M
5. Microsoft	5. 3M	5. Toyota
6. IBM	6. Toyota	6. GE
7. GE	7. Virgin	7. Starbucks
8. Toyota	8. BMW	8. Microsoft
9. Nokia	9. GE	9. IBM
10. Infosys	10. eBay	10. Dell
11. Virgin	11. IKEA	11. Wal-Mart
12. P&G	12. RyanAir	12. IDEO
12. Dell	13. Sony	13. Target
14. Sony	14. Intel	14. Samsung
15. Intel	15. Porsche	15. Southwest

BusinessWeek & Boston Consulting Group, Abril 2006

Tecnologias Portadoras de Futuro: TICs



"As Tecnologias da Informação e da Comunicação atravessam a quase-totalidade das temáticas aqui abordadas. Pode-se considerar que as diferentes tecnologias se apropriam as TICs, cada uma à sua maneira, ou que as TICs colonizam blocos inteiros do território tecnológico tradicional. Pouco importa. O que é significativo é a constatação da onipresença das TICs na evolução tecnológica".

Les principaux résultats de l'étude «Technologies clés 2005 »
France, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Brasil: Tecnologias da Informação e Comunicação 2015 / 2022

QUATRO CENÁRIOS		DIFUSÃO NA BASE DA PIRÂMIDE	
		BAIXA	ALTA
ATUAÇÃO EM APLICAÇÕES HIGH-END	INTENSA	1. ESPELHO DE PRÓSPERO	2. <i>GLOBAL PLAYER</i>
	LIMITADA	4. O VENTO LEVOU	3. <i>SMALL IS BEAUTIFUL</i>

Estudo prospectivo TICs no Brasil em 2015 / 2022, Tadao Takahashi (ed.), 2006

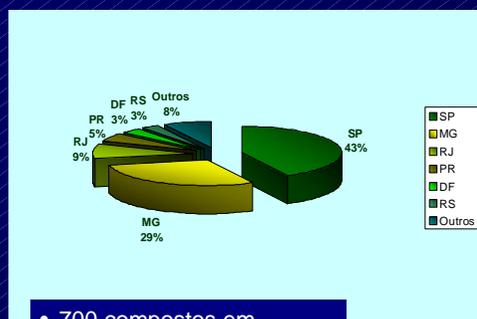
Tecnologias Portadoras de Futuro: a Biotecnologia

A indústria de biotecnologia movimentou receitas de cerca de US\$ 50 bilhões/ano, investindo cerca de US\$ 23,5 bilhões em P&D (MDIC / Fórum de biotecnologia)

Biotecnologia: desempenho econômico (US\$ bilhões) e nº de firmas					
	Mundial	U.S.	U.E.	Canadá	Ásia
Receitas	50,4	39,2	8,3	1,5	1,4
Gastos P&D	23,5	17,9	4,9	0,5	0,2
Empregados(mil)	249	198	33	7,7	9,7
Nº de firmas	4769	1473	1878	417	601

Fonte: Ernest Young - 2004

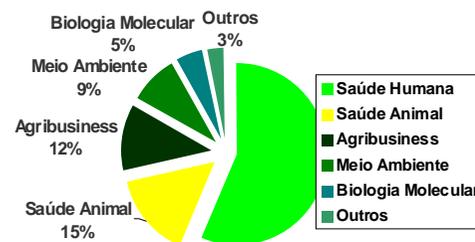
Bioindústria: um padrão em estruturação



Brasil: 305 empresas

- 700 compostos em desenvolvimento
- 400 compostos em testes clínicos
- Centenas de testes de diagnósticos
- Biofarmacêuticos: 10% do mercado farmacêutico

Fonte: BIO, 2004.

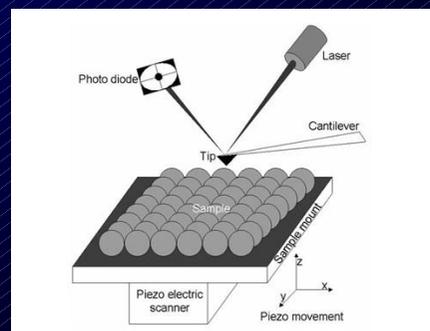


Tecnologias Portadoras de Futuro: a Nanotecnologia

escala do *nanometro* (bilionésimo de metro):

criar materiais com propriedades previamente determinadas pela manipulação de átomos e moléculas

- novos processos e produtos
- modificação de processos industriais tradicionais.



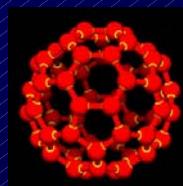
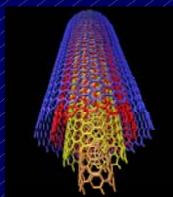
Le Monde
diplomatie Mars 2006

Nanotechnologies, le vertige de l'infiniment petit

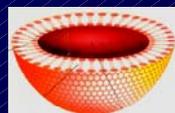
Observer la matière et la travailler à l'échelle atomique constitue un horizon fascinant d'innovations prometteuses. Le rêve est bien de « **refaire ce que la vie a fait, mais à notre façon** », selon les termes du Prix Nobel de chimie 1987 Jean-Marie Lehn.

Nanotecnologia: inovações radicais

nanotubos de carbono

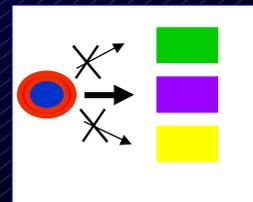


buckyballs



lipossomas como sistema
de liberação de fármacos

direcionamento
de drogas



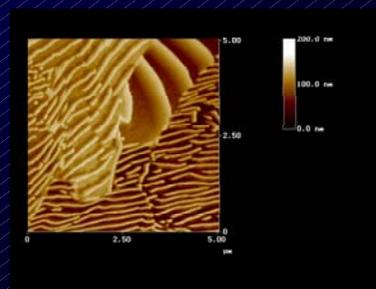
“Língua Eletrônica” (Embrapa)



Sensores: nanoeletrodos de ouro
(8.000 para atingir o diâmetro de
um fio de cabelo)



Análise de fios bead-wire'
para pneus (Cetec - MG)



Nanotecnologia aplicada à madeira (Unicamp)

Como se faz madeira auto-limpante, não-molhável e resistente ao ataque de fungos?

Com uma camada de material hidrofóbico nano-rugoso e quimicamente estável:



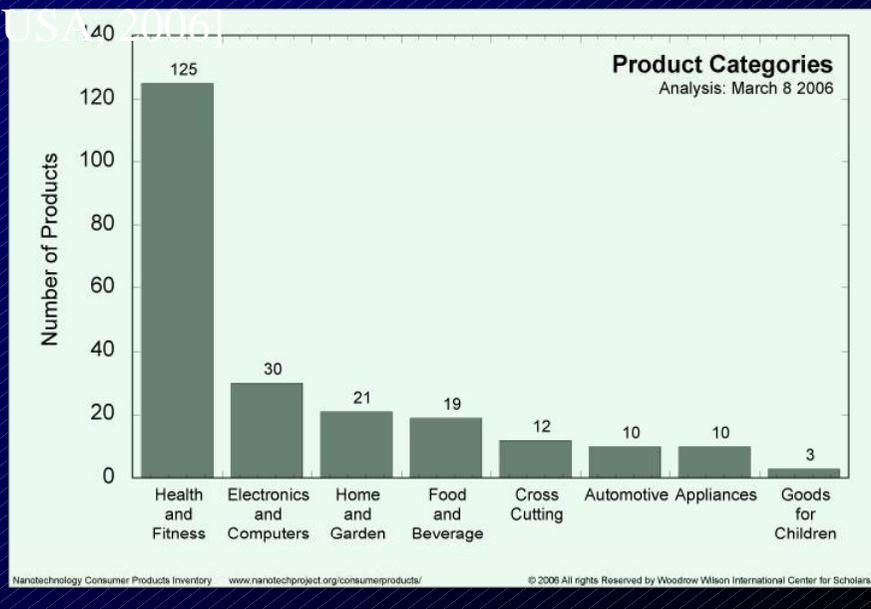
Madeira comum



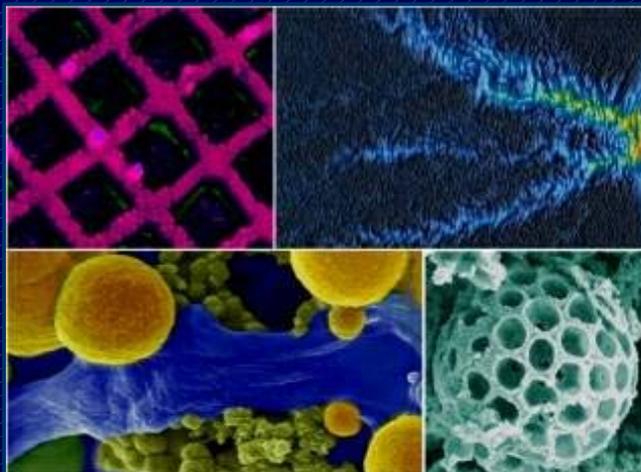
Madeira nanotecnológica

Nanotecnologia: categorias de produtos

[USA, 2006]



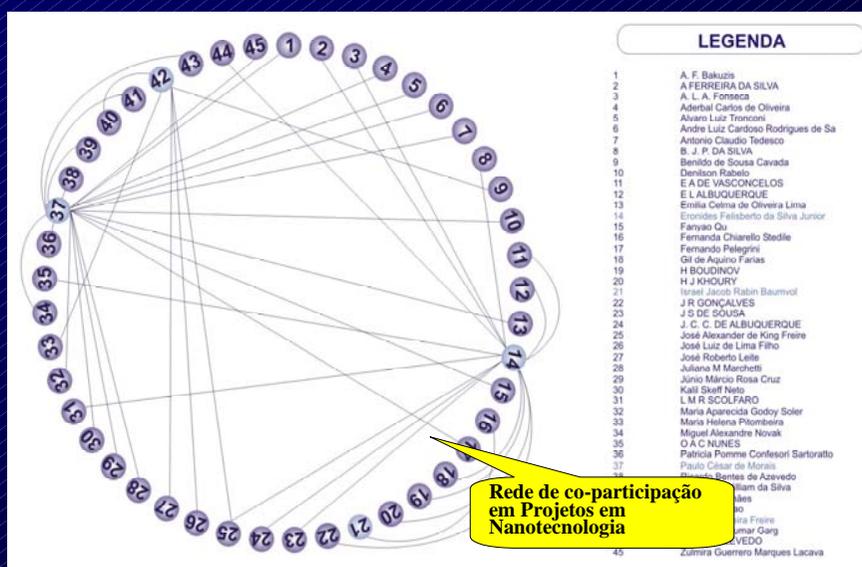
Nanotecnologia: espaço inter e transdisciplinar



"The nanoscale is the magical point at which the worlds of the living and non-living meet."

Rita Colwell, NSF

Redes Cooperativas de Pesquisa



The Potential of Transdisciplinarity

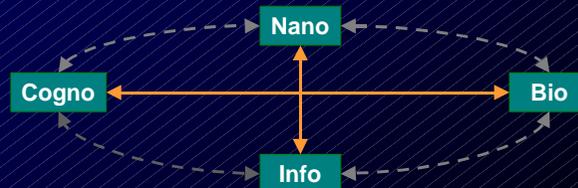
Helga Nowotny

© 2004 interdisciplines

- A pesquisa contemporânea é realizada cada vez mais em um contexto de *solução de problemas*
- Múltiplos atores aportam uma heterogeneidade essencial de habilidades e de expertise
- Gera-se assim um *fórum* que fornece novo foco para o empreendimento intelectual
- O processo trás diferentes grupos sociais, portadores da questão: o que vocês têm feito por nós?
- Agrega valor na busca de um produto melhor, da produção de conhecimento de mais qualidade

Convergência Tecnológica “NBIC” (nano-bio-info-cogno)

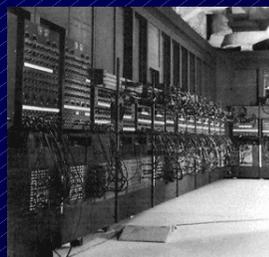
- Nanotecnologia
- Biotecnologia
- Tecnologias da informação → incluindo computação e telecomunicação
- Ciências cognitivas → incluindo a neurociência



As incertezas tecnológicas

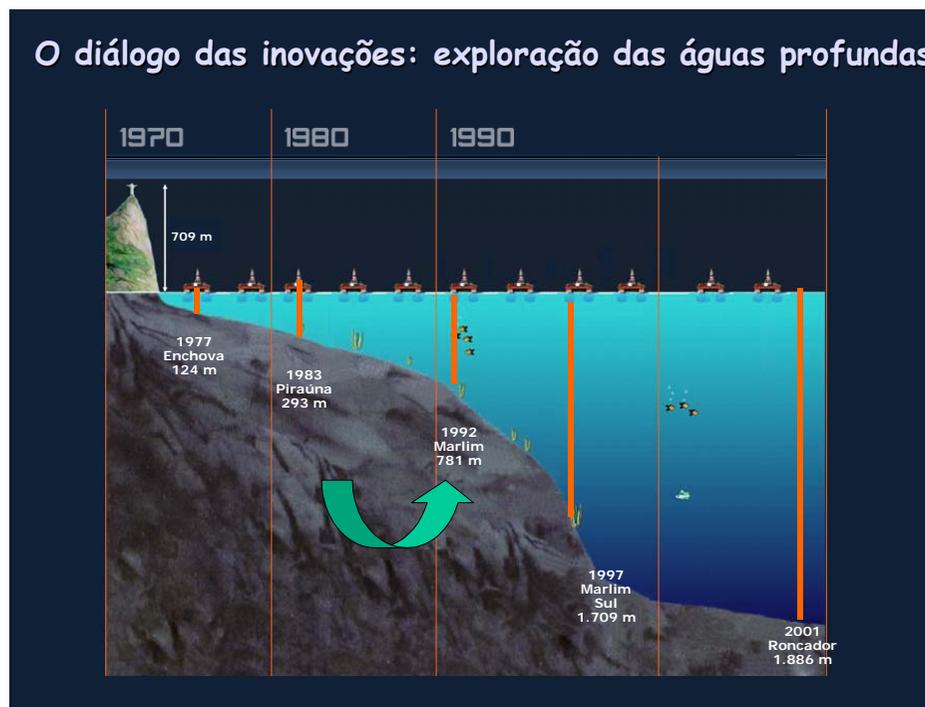
"I think there is a world market for about five computers" –
Thomas J. Watson, Presidente da IBM, nos anos quarenta.

	1980	1985	1990	1995	2000	2005
U.S. Computers-in-Use (# million)	3.1	22.2	51.3	90.2	184	239
Worldwide Computers-in-Use (# million)	4.8	36.0	105	238	553	938

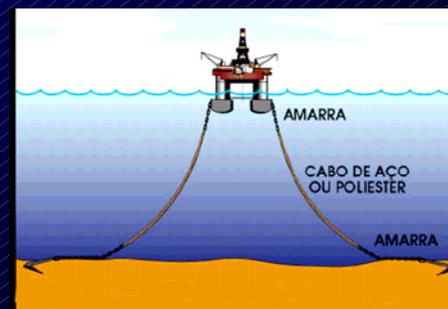
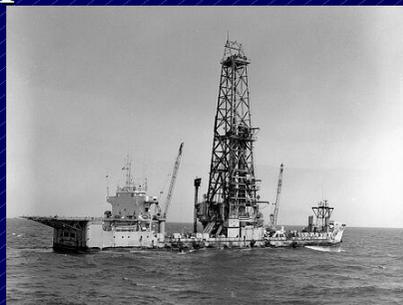


ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Calculator):
18.000 válvulas, 1.500 relés, 200 quilowatts de calor.
Essa enorme máquina media 9 m por 30 m.

O diálogo das inovações: exploração das águas profundas



O dilema do ancoramento das plataformas



Ancoramento com fibras de poliéster

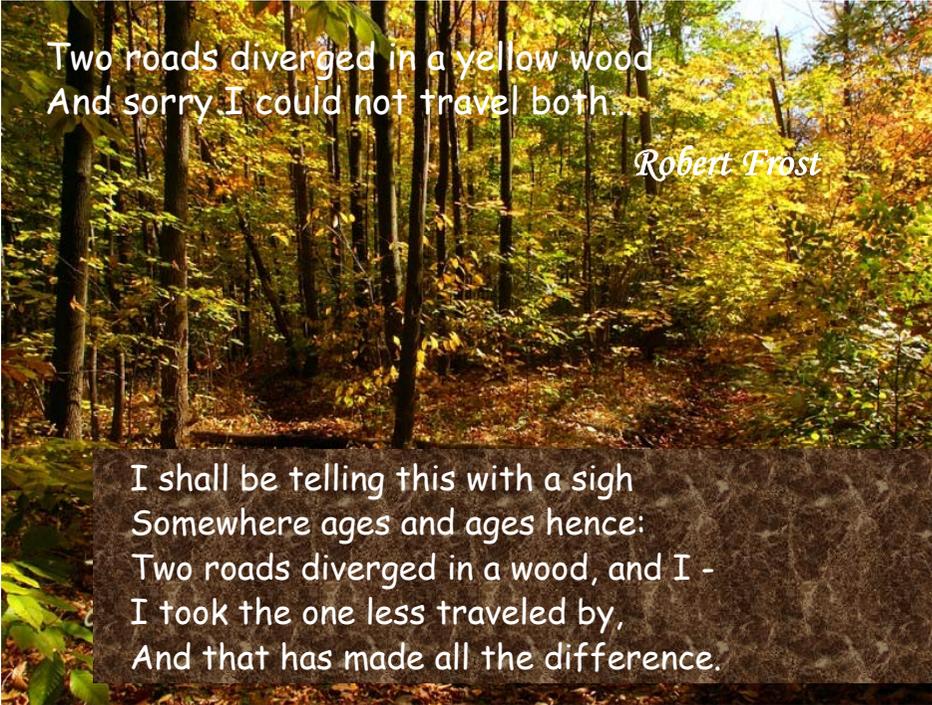
Um “fato social total” [Marcel Mauss]

Embora implique mais diretamente setores da produção e da pesquisa, o fato tecnológico movimenta malha complexa em toda a sociedade - empresas, instituições financeiras, centros de pesquisa, instituições de ensino, agências de governo, opinião pública...



campo de atividade, é
essencialmente uma ATITUDE; as
escolhas se fazem em terreno de
incerteza e controvérsia





Two roads diverged in a yellow wood,
And sorry I could not travel both...

Robert Frost

I shall be telling this with a sigh
Somewhere ages and ages hence:
Two roads diverged in a wood, and I -
I took the one less traveled by,
And that has made all the difference.

ENCERRAMENTO

Discurso: Maria Inês Magalhães Gomes,
representante da família Magalhães Gomes

Prezado Sr Diretor Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

Senhoras e senhores

Como representante da família de Francisco Magalhães Gomes agradeço a iniciativa da CDTN de promover um simpósio homenageando a memória de meu pai e a todos que a ele se referiram com respeito e carinho.

Me sinto a vontade de ler breves considerações sobre a vida do meu pai baseadas em conversas com meu irmão jornalista Luiz Marcos.

Francisco de Assis Magalhães Gomes foi um inconformista, tendo jogado, no contexto histórico em que viveu, um papel ativo de transformador das instituições em nosso país, no sentido de torná-las mais democráticas e progressistas.

Seu principal campo de atuação foi a universidade. A geração a que pertenceu viu ruir a república velha, com a revolução de 30, e o surgimento de uma onda renovadora no país que o transformou de agrário em industrial, com conseqüências em todos os terrenos, inclusive no do ensino superior, do conhecimento científico e da pesquisa. Universidades que mereçam tal nome somente surgiram no país após a revolução de 30 e devido à atuação de homens como ele. Mas seu papel não se restringiu a este campo.

Formado em 1928, como engenheiro, trabalhou inicialmente na Prefeitura de Belo Horizonte, dominada pela velha oligarquia mineira hegemônica pelo PRM (Partido Republicano Mineiro).

Logo se indis pôs, como revelou em vários depoimentos, com as práticas de colocar a máquina pública a serviço de interesses privados. Exemplo típico de sua atitude foi seu parecer contra a decisão da Prefeitura de Belo Horizonte de doar dois quarteirões inteiros do hipercentro da cidade para a instalação de um clube particular. "Como pode, argumentou, uma prefeitura miserável, que não tem recursos para fazer uma rede básica de água e esgoto, doar terrenos públicos para particulares?"

Sua condição de católico antifascista valeu-lhe a aproximação e a amizade do escritor francês Georges Bernanos, que se autoexilara no Brasil após a invasão da França pelas forças nazistas e a formação do governo colaboracionista de Vichy.

Em 1938, além de assumir, por concurso, as cátedras de física da Escola de Engenharia de Belo Horizonte e da Escola Nacional de Minas e Metalurgia de Ouro Preto, foi o relator de um extenso parecer intitulado "Siderurgia Nacional e Exportação de Minério de Ferro" elaborado para a Sociedade Mineira de Engenheiros, em que defendeu a implantação da grande siderurgia no país e criticou a mera exportação de minério bruto e os contratos lesivos ao país feitos com a Itabira Iron Ore, mais tarde estatizada e transformada em Companhia Vale do Rio Doce e, posteriormente, privatizada.

Assinou o Manifesto dos Mineiros, o que demonstra que exercia uma ação cívica ampla junto à sociedade, e não se furtava em se posicionar contra os poderosos.

Na década de 50, no pontificado de Pio XII, aderiu com entusiasmo às idéias do antropólogo e teólogo Teilhard de Chardin, cujas obras estavam num index não declarado.

Foi um dos pioneiros na divulgação do pensamento de Teilhard de Chardin no Brasil, e falava com alegria sobre a chamada linha evolutiva imaginada pelo pensador francês, a "antropogênese" e sua coroação no "ponto Ômega", uma espécie de destino final da humanidade que seria uma sociedade igualitária e superior. Esta teleologia teilhardiana sofria forte oposição nos meios católicos tradicionais, que a achavam demasiadamente próxima dos ideais socialistas.

Durante o governo João Goulart, em meio aos debates sobre as reformas de base, foi convidado por setores conservadores, que ainda o tinham como referência de líder católico, para falar sobre a reforma agrária. Surpreendeu a todos ao defender a reforma agrária como um direito democrático. O texto que elaborou terminava com uma citação de Ovídio: "video meliora proboque, deteriora sequor" (prego o bem e o aprovo, mas pratico o mal). Era uma advertência que fazia aos que diziam pregar os evangelhos, mas se opunham a qualquer proposta de transformação social.

Logo, é claro, deixou de ser convidado para falar sobre o tema.

Não apoiou o golpe militar de 1964, em que pese a participação nele de figuras que tanto admirava, como Milton Soares Campos.

Em Minas Gerais, o grupo com que mais se identificou era integrado por figuras como Artur Veloso, Valdemar dos Anjos, Pedro Bessa, Amaro Xisto de Queirós, além de homens como Amílcar Viana Martins e Edgar da Mata Machado, grupo que articulou a fundação da Faculdade de Filosofia, de tanta importância na modernização da universidade.

Mas, pode-se afirmar que um dos maiores méritos de Francisco Magalhães Gomes foi sua contribuição decisiva para tirar Minas do isolamento científico em que se encontrava em relação aos grupos de vanguarda que se formaram notadamente no Rio e São Paulo. A prática usual dos intelectuais mineiros era a de migrar para o Rio e São Paulo, tornando-se a terra de origem motivo mais de saudosismo do que de ação transformadora. Mas esta não foi a trajetória percorrida por Magalhães Gomes.

Na esteira da influência modernizadora do nacionaldesenvolvimentismo, que tantos frutos marcantes renderam ao país, como a implantação da Siderúrgica de Volta Redonda, da Petrobrás e do BNDE, formou-se no meio científico, como era de se esperar, toda uma geração preocupada em promover o avanço científico e tecnológico do país.

Foi neste contexto que se criaram, nos anos cinquenta do século passado, instituições como o Instituto de Energia Atômica, em São Paulo, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio, o Instituto Tecnológico da Aeronáutica, em São José dos Campos, e, em Belo Horizonte, o Instituto de Pesquisas Radioativas, só para citar algumas das mais importantes. Tais instituições foram resultado da articulação entre a preocupação do poder público na construção de um país plenamente independente com a ação decisiva de cientistas como Marcelo Damy de Souza Santos, Paulus Aulus Pompéia, César Lattes, Jaime Tiomno, Mário Schenberg e José Leite Lopes, entre tantos outros. Tratava-se de um grupo muito diversificado do ponto de vista cultural e ideológico, mas com um forte denominador comum: o nacionalismo, dotando o país de bases mínimas no terreno científico e tecnológico, particularmente nos setores de ponta, como o era, na época, a energia nuclear. Magalhães Gomes, que é citado por Simon Schwartzman, como pertencente à primeira geração de físicos brasileiros -ao lado de Gleb Wataghin, Luís Freire e Bernhard Gross-trabalhou mais intensamente com a chamada segunda geração, dado inclusive o atraso relativo de Minas Gerais nesta área. E como resultado de sua ação pioneira e de sua integração neste grupo e do apoio decisivo *que* dele recebeu é que se tornou possível a

fundação do IPR, num meio ainda restrito e tímido e muitas vezes incapaz de compreender o alcance desses eventos.

A posição do governo de Minas, então também fortemente contagiada pelo nacional-desenvolvimentismo, tendo a frente o governador Bias Fortes, foi igualmente essencial para viabilizar o IPR e a instalação do TRIGA.

A singela justificativa do governo mineiro para o investimento feito no IPR, na época de dimensões significativas, era o de que estava contribuindo para o desenvolvimento do Estado, tão diferentemente das preocupações de hoje mais voltadas para as finanças.

À frente da Comissão Nacional de Energia Nuclear estava o ilustre físico Marcelo Damy de Souza Santos e, como um de seus integrantes e único mineiro, Francisco Magalhães Gomes. Naquela época, a CNEN era um centro em que se discutiam e se planejavam pioneiríssimos projetos para o desenvolvimento da energia nuclear no país.

Todos sabemos que o golpe militar de 64 significou o fim do nacional-desenvolvimentismo e seu objetivo foi o de atingir classes, partidos, forças e personalidades que trabalhavam para a construção de um Brasil livre e soberano, do ponto de vista econômico, político, cultural e científico.

Este grupo de cientistas a que nos referimos foi duramente atingido e desarticulado pelo golpe militar. Muitos foram perseguidos e cassados. Na Comissão Nacional de Energia Nuclear, o professor Damy, um dos expoentes do grupo nacionalista, foi demitido. E, em 1965, em protesto contra as mudanças da política na área e em solidariedade aos cientistas perseguidos, Francisco Magalhães Gomes dirigiu carta ao marechal Castelo Branco demitindo-se da função de membro da CNEN.

Persistiu em sua ação de professor e dirigente de instituições científicas, sempre se alinhando ao lado das forças que expressavam a modernização e o progresso. Mas tinha consciência que o projeto maior de nação que tanto motivara sua geração fora duramente prejudicado. E nunca abandonou as linhas mestras deste projeto: a construção de um Brasil justo, livre e soberano. E este é um dilema que nosso país vive até hoje e não sabemos quando irá resolvê-lo. Falamos de nosso pai com amor e admiração, como pessoa que

continua sendo nossa referência. Foi antes de tudo um homem público, que jamais tergiversou com a coisa pública e os interesses maiores da coletividade e do país.

Foi catedrático -sem se apegar à cátedra-, cientista e professor -sem procurar exercer o monopólio do conhecimento-e pai estremado, que admitia a polêmica e o livre curso das idéias em pé de igualdade com os filhos.

APÊNDICE – FOTOGRAFIAS DO SIMPÓSIO COMEMORATIVO AO CENTENÁRIO DE NASCIMENTO DE MAGALHÃES GOMES

Durante o Simpósio muitas fotografias foram tiradas e algumas delas são aqui apresentadas. Entre os participantes do evento estavam pesquisadores e tecnólogos que deram importantes contribuições para o desenvolvimento da energia nuclear em Minas Gerais. Fica aqui registrado um agradecimento especial a Antônio Pereira Santiago (CDTN) pela gentileza em fotografar momentos inesquecíveis do encontro.



Filhas de Francisco de Assis Magalhães Gomes



Filhas de Francisco de Assis Magalhães Gomes



Witold Lepecki



Da esquerda para direita: Ricardo Brant Pinheiro e Witold Lepecki



Evando Mirra de Paula e Silva



Omar Campos Ferreira



Omar Campos Ferreira



Da esquerda para direita Omar Campos Ferreira e Sergio Almeida Cunha Filgueiras



Silvestre Paiano Sobrinho



Da esquerda para direita: Witold Lepecki e Silvestre Paiano Sobrinho



Ramayana Gazzinelli



Da esquerda para direita: Sergio Almeida Cunha Filgueiras, José Israel Vargas e Ailton Fernando Dias



José Israel Vargas, Ailton Fernando Dias e Sérgio Almeida Cunha Filgueiras



Da esquerda para direita: Marcio Quintão Moreno e José Israel Vargas



Da esquerda para direita: Ramayana Gazzinelli, Marcio Quintão Moreno e José Israel Vargas



Da esquerda para direita: José Israel Vargas, Sergio Almeida Cunha Filgueiras e Márcio Quintão Moreno



Virgílio Mattos de Andrade e Silva



Da esquerda para direita: Virgílio Mattos de Andrade e Silva e Sergio Almeida Cunha Filgueiras