



THARSILA REIS DE MEDEIROS

**Entraves ao Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear no Brasil:
Dos Primórdios da Era Atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha**

Belo Horizonte, MG
CEDEPLAR/ UFMG
2005

THARSILA REIS DE MEDEIROS

**Entraves ao Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear no Brasil:
Dos Primórdios da Era Atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. João Antônio de Paula

Belo Horizonte, MG
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional
Faculdade de Ciências Econômicas – UFMG
2005

À Memória de César Lattes
À Personificação do Mito da Ciência no Brasil

“... nunca plenamente maduro, nem nas idéias nem no estilo, mas sempre verde, incompleto, experimental”.

Gilberto Freyre
Tempo Morto e Outros Tempos (1926)

No findar desse trabalho, do laborioso curso de mestrado em economia, gostaria de declarar a

João Antônio de Paula,
pela preciosa orientação;

Clélio Campolina Diniz,
pelas inesquecíveis lições de Economia Regional;

Eduardo Gonçalves
Eduardo da Motta e Albuquerque;
pela iniciação ao tema Ciência & Tecnologia;

Celso Furtado,
pelo legado intelectual;

CNPq,
pelo apoio financeiro;

Meus Pais, Sandra & Jorge,
pelo que hoje sou;

Meu cão-irmão Bobby,
pelo convívio enriquecedor;

Paul Hewson
Adam Clayton
Larry Mullen
David Evans,
pelas convicções políticas;

Deus
São Jorge
Nossa Senhora Aparecida,
pela proteção divina,

A Minha Eterna Gratidão.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
PARTE I – A GÊNESE DA TECNOLOGIA NUCLEAR	3
I. 1) FRAGMENTOS DA HISTÓRIA DO ÁTOMO: DE DEMÓCRITO A FERMI	4
I. 2) A MILITARIZAÇÃO DO ÁTOMO	12
I. 3) O ÁTOMO CIVILIZADO	18
PARTE II – NOTAS SOBRE A PROBLEMÁTICA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-DESENVOLVIMENTO	22
II. 1) PERSPECTIVAS DO CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO	23
II. 2) PROTAGONISTAS DA DINÂMICA INOVATIVA	28
II. 3) A CONFIGURAÇÃO DO TRIÂNGULO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO BRASILEIRO: 1951/75 ...	37
PARTE III – ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR NO BRASIL ...	46
III. 1) A NACIONALIZAÇÃO DO ÁTOMO	47
III. 2) A DIPLOMACIA ATÔMICA	60
III. 3) O ACORDO NUCLEAR BRASIL-ALEMANHA	68
CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE: A TECNOLOGIA NUCLEAR	85

LISTA DE QUADROS & FIGURAS

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS FORMAS BÁSICAS DE “INTERNALIZAÇÃO” DAS INOVAÇÕES.....	34
QUADRO 2 – COMISSÃO REDATORA DO ANTEPROJETO DO CNPQ – 1949	53
FIGURA 1 – TRIÂNGULO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO	29
FIGURA 2 – O MODELO DO TRIPÉ INDÚSTRIA MULTINACIONAL-ESTATAL-PRIVADA NO CASO DO ACORDO NUCLEAR.....	74
FIGURA 3 – UM TIPO DE FISSÃO NUCLEAR.....	85
FIGURA 4 – CENTRAL TERMOELÉTRICA CLÁSSICA.....	86
FIGURA 5 – CENTRAL NUCLEAR.....	87
FIGURA 6 – CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR.....	88

RESUMO: O presente estudo destina-se à compreensão dos esforços empreendidos pelos atores sociais brasileiros na busca pelo domínio da energia nuclear, dos primórdios da era atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. Tenta-se demonstrar que os entraves impostos ao desenvolvimento da tecnologia nuclear no decorrer desse período derivam da própria dinâmica do desenvolvimento capitalista no Brasil e da ausência de continuidade nas motivações que guiaram a política nuclear brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia Nuclear; Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Brasil.

ABSTRACT: This paper intends to comprehend the Brazilian social actors' efforts applied to the nuclear energy control, from the beginning of Atomic Age to Brazil-Germany Nuclear Agreement. It tries to demonstrate that the limits of The Brazilian nuclear development in this period derive from the capitalist development dynamics in Brazil and from the absence of continuity on the motivations of its nuclear policy.

KEY WORDS: Nuclear Technology; Scientific and Technological Development; Brazil.

INTRODUÇÃO

Nenhum período da história humana foi tão penetrado pelas ciências naturais e tão dependente delas como o Século XX. Contudo, nenhum outro período sentiu-se menos à vontade com suas potencialidades. Ciência – tão poderosa, tão impotente. Dentre os paradoxos que emergem do projeto iluminista de desenvolvimento, do qual ciência & tecnologia fazem parte, destacam-se o uso militar dos conhecimentos científicos, a progressiva deterioração do meio ambiente, a perpetuação e intensificação das desigualdades sociais, o desemprego estrutural latente. O espírito da Revolução Científica, o da ciência para o bem do homem e para glorificação de Deus, está longe de ser plenamente corporificado pelo sistema capitalista.

Entretanto, apesar dos fatos levarem a uma certa demonização da ciência e da tecnologia, foi a Segunda Guerra Mundial que consolidou a crença na importância da ciência não só para ganhar guerras, mas também para gerar dividendos na paz. Foi a tecnologia de base científica que dominou a expansão econômica da segunda metade do Século XX, configurando-se como corolário da aplicação sistemática da ciência à produção e à aceleração da inovação tecnológica. Diante dos ventos da destruição criadora, tudo que é sólido e estável se evapora. A própria sobrevivência do capital passa a depender do desenvolvimento tecnológico e, por conseguinte, do progresso da ciência.

Nessa sua qualidade de pressuposto da produção, a ciência adquire uma ubiquidade que lhe era totalmente desconhecida em outras épocas da história. Se antes era aliada ao poder, como instrumento de dominação ideológica e capitão técnico dos exércitos, agora assume, ademais, um papel no interior do sistema produtivo. A ciência não serve simplesmente ao desenvolvimento da Nação, mas o faz única e exclusivamente na medida em que participa sistematicamente do processo de acumulação capitalista.

A competição atômica entre Estados Unidos e União Soviética, além de conduzir a uma realocação de recursos humanos e financeiros sem precedentes, engendrou o processo de revolução tecnológica em curso e lhe deu a extraordinária aceleração que experimenta em nossos dias. Como parte desse processo, como um dos símbolos mais densos da modernidade, o desenvolvimento da tecnologia nuclear passou a requerer do Estado um “espírito schumpeteriano” nunca antes visto na história. Com o conversor nuclear, a apropriação social da energia atinge seu nível máximo de estatização. Por seu gigantismo, consubstanciado nos laboratórios e centros de pesquisa, nas usinas de enriquecimento de

urânio e de retratamento e, talvez, na própria ciência do átomo, a energia nuclear só podia ser uma das criações históricas do Estado.

A gênese da tecnologia nuclear, um dos capítulos mais fascinantes da história da ciência e da tecnologia, constitui-se no ponto de partida do presente estudo. Sua Parte I destina-se à elucidação da história da conquista do átomo. De como as interações entre ciência, tecnologia e sociedade possibilitaram a exploração de seu potencial energético. Das circunstâncias que condicionaram o destino tecnológico da ciência atômica. Trata-se de entender o desenvolvimento científico e tecnológico como um produto social, como a resultante das relações simbióticas estabelecidas entre os assim denominados protagonistas da dinâmica inovativa – o Estado, a estrutura produtiva e a infra-estrutura científico-tecnológica.

O Nuclear concebido como uma linha produtora de energia destrutiva que se recicla, parcialmente, para fins industriais. Como um setor no qual o componente militar – seus conhecimentos tecnológicos especializados, suas cambiantes configurações geopolíticas, sua lógica intrínseca de segredo – comanda o energético. É essa constante tensão entre o civil e o militar que permeará todo o ciclo de vida da tecnologia nuclear e, por conseguinte, seu processo de difusão.

Dos efeitos místicos da bomba atômica sobre o imaginário coletivo nasceu o mito da energia abundante, considerada como o antídoto para o mal do subdesenvolvimento pelos povos do Terceiro Mundo. Pelos povos que, no decorrer da evolução sócio-cultural, têm sido engajados compulsoriamente em sistemas tecnologicamente mais evoluídos, com a inevitável perda de sua autonomia. Pelos povos cujas ações em prol de um desenvolvimento nuclear autônomo foram restringidas por sua própria condição periférica, seja devido à sua incipiente infra-estrutura científico-tecnológica, à sua industrialização retardatária e/ou à ausência de independência política por parte de seus governos.

Nesse ponto, faz-se necessário tecer uma discussão teórica sobre o mais político dos temas econômicos – o desenvolvimento – e sua relação com o desenvolvimento científico-tecnológico. Necessidade essa suprida pela Parte II.

A terceira e última parte é destinada à compreensão dos esforços empreendidos pelos atores sociais brasileiros na busca pelo domínio da energia nuclear, dos primórdios da Era Atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. Tenta-se demonstrar que os entraves impostos ao desenvolvimento da tecnologia nuclear no decorrer desse período derivam da própria dinâmica do desenvolvimento capitalista no Brasil e da ausência de continuidade nas motivações que guiaram a política nuclear brasileira.

PARTE I

A GÊNESE DA TECNOLOGIA NUCLEAR

I. 1) FRAGMENTOS DA HISTÓRIA DO ÁTOMO: DE DEMÓCRITO A FERMI

“O átomo revelou seus segredos apenas gradualmente, como uma peça engenhosamente escrita, permitindo que centelhas de conhecimento iluminassem por instantes partes da história, mas embaralhando as cenas e inferências de modo que a compreensão plena chegasse só no final, depois de muitos membros da platéia terem perdido a esperança de entender”.

Robert P. Crease & Charles C. Mann
The Second Creation (1986)

A história do átomo tem início na Grécia Antiga, mais especificamente em Abdera, cinco séculos antes do nascimento de Cristo. Foi nesta pequena cidade da região da Trácia que o filósofo Leucipo (500 a.C. - ?), discípulo de Zenon e mestre de Demócrito (472-357 a.C.), fundou a “Escola de Abdera”, notabilizada por sua teoria atomística.

A constituição da matéria que comporia o Universo, um dos maiores problemas impostos à filosofia e à ciência, recebeu várias respostas e hipóteses elaboradas pelos filósofos da Antiguidade. Para Tales de Mileto (625-547a.C.), a matéria seria fundamentalmente constituída pelo elemento água: “tudo se compõe em água e tudo em água se dissolve”. Por volta de 500 a.C., em suas reflexões sobre a constituição da matéria, Anaxágoras imaginou cortar ao meio qualquer porção de matéria e continuar dividindo-a inúmeras vezes. Chegou à conclusão de que continuaria cortando-a sem jamais chegar ao fim, ou seja, que toda matéria é infinitamente divisível.

Da mesma forma que Heráclito e Anaxágoras, Empédocles defendia o princípio da conservação e indestrutibilidade da matéria, sendo esta constituída de quatro elementos: água, ar, fogo e terra. Aristóteles aceitava a teoria dos quatro elementos de Empédocles, aos quais, como Platão, acrescentou um quinto elemento: o éter. “O éter não seria pesado, nem leve; porque imaterial, além de eterno e imutável; sem movimento ascendente ou descendente. Não existiria no nosso mundo sublunar, como os outros quatro elementos, ocuparia espaços celestes afastados” (MARTINS, 2001, p.2).

Ao não recorrer a entidades divinas e misteriosas, a hipótese atomística da Escola de Abdera foi a mais lógica dentre as várias cosmogonias elaboradas na Antiguidade. Segundo Leucipo e Demócrito, o Universo seria constituído de duas coisas: os átomos e o

vazio. Demócrito defendia a idéia de que os diversos tipos de matéria poderiam ser subdivididos em pedaços cada vez menores até atingir um limite, a partir do qual nenhuma divisão seria possível. Portanto, os elementos da natureza seriam constituídos por partículas infinitesimais, indivisíveis e indestrutíveis – a-tomos, em grego, não-divisíveis – que ocorrem em várias formas geométricas e que estão em permanente movimento. Além da maneira como estão agregados explicar as diferenças entre substâncias no que tange ao seu estado físico, os átomos também seriam capazes de explicar todas as sensações humanas: paladar, olfato, tato, visão e audição. Até mesmo a alma humana seria composta de átomos.

Um retorno às idéias de Demócrito foi realizado por Epicuro, filósofo grego já da época helenística, nascido em Gargeta, cidade próxima de Atenas. Epicuro ampliou as idéias de Demócrito e batizou com o nome de “átomo” essa partícula constituinte fundamental do Universo. Abandonando e reagindo ao idealismo de Platão, retornou às concepções materialistas da Escola de Abdera. Em carta dirigida ao historiador Herótoto, Epicuro destaca o princípio da conservação da matéria, a formação da matéria por átomos eternos e imutáveis que seriam indivisíveis, impenetráveis, invisíveis, animados de movimento próprio e, ainda, a existência do vácuo. Ademais, afirmou que os átomos teriam um certo peso, proposição essa não feita por Demócrito em sua teoria (MARTINS, 2001).

Conforme ressaltado por BERNAL (1976), seria um equívoco considerar o atomismo grego como uma teoria científica da física, pois dele conclusões experimentalmente verificáveis não poderiam ser extraídas. Entretanto, trata-se do antepassado direto e reconhecido de todas as teorias atomísticas modernas. Desde a Antiguidade clássica até Newton, as concepções sobre a natureza da matéria foram marcadas pela Alquimia, ou seja, por uma perspectiva imbuída de magia e esoterismo.

A química buscou se desvencilhar da Alquimia em 1661, quando o químico irlandês Robert Boyle (1627-1691) publicou O Químico Cético, obra na qual rejeitou a teoria dos quatro elementos de Empédocles. Em 1662, Boyle verificou que o gás contido em um recipiente munido de êmbolo, com o qual se podiam exercer pressões maiores e menores, diminuía e aumentava de volume na proporção em que a pressão fosse exercida. Conhecida como a Lei de Boyle, esse enunciado levou à tese de que os gases deviam ser constituídos de minúsculos “corpúsculos” permeados por um enorme espaço vazio, razão pela qual podiam ser comprimidos em volumes menores. Isaac Newton corroborou com a explicação de Boyle ao referir-se aos átomos como “a menor parte da matéria” e dotados

de “certos poderes, virtudes e forças”, podendo atuar uns sobre os outros. Dessa forma, Boyle tornou-se uma das figuras mais significativas da ciência a rejeitar os ensinamentos de Anaxágoras e Aristóteles sobre a matéria infinitamente divisível e a abalar a persistente crença de que terra, ar, fogo e água seriam as matérias fundamentais do Universo (BRODY & BRODY, 1999).

Passados mais de dois milênios, o atomismo foi retomado no Século XIX, através das fórmulas estruturais da química orgânica e da teoria atômica do químico e físico inglês John Dalton (1766-1844). A química “pós-Dalton” passa a ter uma estruturação lógica e racional, destituída do tratamento místico e pseudocientífico da velha Alquimia – uma nova era na ciência estava sendo iniciada. Proposta em 1803, e inspirada pelas lições de Lavoisier, a teoria atômica de Dalton – mais refinada que a Teoria dos Corpúsculos de Boyle – surgiu dos fatos expressos pelas leis das combinações químicas (Lei das Proporções Definidas, Lei das Proporções Múltiplas, Lei das Proporções Recíprocas), sendo baseada nos seguintes postulados: “I. Os elementos químicos constituem-se de discretas partículas de matéria, os átomos, que não podem ser subdivididas por qualquer processo químico conhecido e preservam as suas individualidades nas reações químicas; II. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos, principalmente em peso; III. Os compostos químicos são formados pela reunião de átomos de diferentes elementos em proporções numéricas simples” (MARTINS, 2001, p.9).

A descoberta da radioatividade exerceu grande impacto sobre as doutrinas físicas e químicas do Século XIX. A obra dos maiores químicos, a do próprio Lavoisier, havia imposto a lei da imutabilidade dos elementos como uma refutação direta das pretensões alquimistas de alterar elementos ou de criar matéria. Verificou-se que a matéria transmuta-se realmente por si mesma sem a necessidade de nenhum estímulo externo. Também foi um duro golpe para a doutrina da conservação de energia: a radioatividade também demonstrou que o átomo contém energia em quantidades imprevistas pelo homem, que até então utilizava somente a energia liberada pela combustão¹, a base da indústria do Século XIX. Uma vez descoberta a radioatividade, o progresso científico foi extraordinariamente rápido, muito mais intenso que em qualquer período anterior da história da ciência (BERNAL, 1976).

¹ A combustão é simplesmente uma reação química na qual a energia armazenada na estrutura molecular é liberada. Em outras palavras, a combustão é um realinhamento das ligações químicas entre elétrons, e não uma liberação da energia armazenada no interior do núcleo (BRODY & BRODY, 1999).

Quando o cientista inglês John Thompson conseguiu medir a velocidade dos raios catódicos (1894) e a massa do elétron (1898) – uma partícula sub-atômica cujo peso é 2000 vezes inferior ao do átomo de hidrogênio – rapidamente os homens de ciência deduziram que o átomo, o não-divisível, ainda podia ser decomposto em partículas infinitamente menores que o átomo de menor peso. Foram essas pesquisas que conduziram Philipp Lenard a identificar a fluorescência e trajetória dos raios catódicos, Jean Perrin ao conhecimento de que aqueles raios transportavam cargas elétricas negativas e, por fim, Röntgen à sensacional descoberta dos raios-X.

Segundo BRODY & BRODY (1999, p.100), “se fosse possível estabelecer uma data para o nascimento da física nuclear, seria 8 de novembro de 1895”. Foi nesse dia que Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), professor de física em Wurzburg, na Alemanha, descobriu os raios-X, o que lhe rendeu o primeiro Prêmio Nobel de física em 1901. Tal descoberta foi um passo importantíssimo na determinação da estrutura do átomo e das partículas sub-atômicas.

Após quatro meses da descoberta de Röntgen, o francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), ao considerar que os raios-X deviam ter alguma relação com a luminosidade apresentada nos tubos de descarga, empreendeu esforços na busca de outros corpos que mostrassem luminosidade similar. Em suas investigações com minerais e sais, em particular os de urânio, encontrou, de modo bastante surpreendente, as luminosidades por ele buscadas. Os novos raios de urânio também eram capazes de atravessar a matéria, de modo espontâneo e sem a necessidade de nenhum aparelho, a partir de substâncias químicas aparentemente inertes e estáveis. No mesmo ano de 1896, Becquerel estabeleceu que os sais de urânio emitem radiações análogas às dos raios-X, que impressionavam chapas fotográficas. As radiações naturais também foram estudadas por Kelvin, Bealtie, Smoluchwski, Elster, Geitel, Schimidt e, principalmente, pelo casal Curie. Inicialmente, todos os pesquisadores consideravam as radiações como formas diferentes de raios-X. De fato, “o conhecimento dos raios-X foi o trampolim de que a física dos últimos anos do século passado (XIX) se utilizou para projetar-se no salto espetacular da nova ciência atômica” (GUILHERME, 1957, p.21).

Pierre Curie e sua esposa Marie (1867-1934) encontraram fontes radioativas muito mais poderosas que o urânio natural. O casal separou vários elementos radioativos e descobriu, em 18 de julho de 1898, o polônio – 400 vezes mais ativo que o urânio – e, em dezembro desse mesmo ano, o rádio – 900 vezes mais radioativo que o urânio. Ainda nesse mesmo ano, em Paris, o casal Curie descobriu, ao mesmo tempo que Schmidt na

Alemanha, que o tório apresenta características semelhantes as do urânio. É importante destacar que Pierre e Marie já explicavam a radioatividade como uma propriedade atômica. Em 1903, os dois receberam, juntamente com Becquerel, o Prêmio Nobel de física pela descoberta da radioatividade.

Em trabalho realizado no ano de 1898, o neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) – uma das grandes figuras da física do Século XX – determinou a existência de duas novas espécies de radiações emitidas pelo urânio: as radiações alfa e beta. Os raios gama, também emitidos pelo urânio, foram descobertos pelo físico francês Paul Ulrich Villard em 1900. Naquela ocasião, Villard verificou que as radiações gama eram mais penetrantes e energéticas que os raios-X.

Em Montreal, entre 1899 e 1907, mediante magnífica combinação de técnicas físicas e químicas, Rutherford e o químico inglês Frederick Soddy (1877–1956) revelaram famílias inteiras de transformações naturais, uma para cada um dos seguintes elementos: urânio, tório e actínio. Ademais, estabeleceram que cada material radioativo possui uma constante de desintegração diferente e que existe transmutação de elementos, isto é, após a emissão de partículas alfa ou beta, os elementos radioativos transformavam-se em outros elementos químicos – mais uma prova de que a lei da conservação de energia não era precisa e de que os elementos químicos não eram imutáveis. Por exemplo, o tório com o qual trabalhavam transformava-se em hélio. Rutherford sintetiza seus trabalhos com Soddy nos seguintes termos:

“A great change in our ideas resulted from the discovery of the electron and of the spontaneous radioactivity observed in the heavy elements, uranium e thorium. Soddy and I were able to show in 1903 that radioactivity was a sign and measure of the instability of atoms, and that the atoms of uranium and thorium were undergoing a series of spontaneous transformations” (MARTINS, 2001, p.305).

Em 1907, Rutherford retornou à Universidade de Manchester e, ao ser informado por Bequerel que as partículas alfa pareciam ricochetear em moléculas de ar encontradas em sua trajetória, empreendeu esforços na compreensão de tal fenômeno. Em fins de novembro de 1911, Rutherford finalmente descobriu que, para defletir partículas alfa, a maior parte da massa do átomo teria de estar concentrada em um minúsculo núcleo carregado em seu centro. A assim divulgada descrição do átomo como “uma carga elétrica central concentrada em um ponto” com “uma distribuição esférica uniforme de eletricidade” assinala o início da compreensão moderna da estrutura do átomo. Apesar da vital importância atribuída a sua teoria, o átomo de Rutherford carecia de estabilidade mecânica e eletromagnética, pois, se sua concepção estivesse correta, teria de haver uma

razão para que os elétrons em órbita não fossem sugados pelo núcleo carregado positivamente.

As pesquisas realizadas nos anos seguintes estiveram direcionadas para uma partícula grande e sem carga, que se suspeitava estar presente no núcleo. Em 1920, Rutherford previu a existência desses “nêutrons” e realizou uma série de experimentos no intuito de descobri-los. Porém, esses experimentos não foram conclusivos e sua idéia posta de lado. Em 1932, James Chadwick (1891-1974), ex-aluno de Rutherford, com pleno conhecimento da previsão outrora feita pelo seu mestre, confirmou a existência dos nêutrons no núcleo. O núcleo passa a ser constituído por prótons e nêutrons, unidos entre si por grandes forças que Yukawa, em 1935, atribuía a uma partícula intermediária hipotética: o méson. De todas essas partículas, o nêutron mostrou ser a mais eficaz na produção de transformações nucleares. Com efeito, a descoberta do nêutron completou a descrição da estrutura básica do átomo composta de “três peças”, como também se tornou um passo essencial na utilização e na libertação da imensa energia contida no núcleo.

Em 1919, com seu artigo intitulado “*Collisions of alpha particles with light atoms*”, Rutherford demonstrou que é possível romper um núcleo de nitrogênio mediante o impacto direto de uma partícula alfa obtida a partir de uma fonte de rádio, produzindo a emissão de núcleos de hidrogênio. Aos núcleos de hidrogênio, Rutherford atribuiu o nome de prótons.

Tornou-se claro, a partir de então, que o homem poderia dominar os processos nucleares se encontrasse projéteis adequados para atacar o núcleo. Havia duas maneiras para se conseguir isso. Uma consistia em encontrar entre os próprios núcleos aqueles que emitissem projéteis adequados de uma maneira natural. Entretanto, somente um número pequeno de transmutações poderia ser realizado pelas fontes naturais de partículas radioativas. A outra forma, mais direta, consistia em acelerar os átomos por meio de dispositivos elétricos adequados. Para acelerar partículas a altas velocidades requeridas, precisou-se de aparelhos de um tipo diferente daqueles que existiam até então nos laboratórios de física. A construção dos aceleradores de partículas, possibilitada pelos grandes avanços conquistados pela indústria elétrica durante os primeiros anos do Século XX, abriu um novo capítulo na história das relações entre a física e o progresso industrial (BERNAL, 1976). É sob a ótica da instrumentação que as relações entre tecnologia e ciência se tornaram ainda mais interativas (e dialéticas) que determinísticas (ROSENBERG, 1982, p.158).

Em 1932, o físico britânico Sir John Cockcroft (1897-1967) e o físico irlandês Ernest Walton (1903-95), trabalhando com Rutherford no Laboratório Cavendish, em

Cambridge, criaram o primeiro dispositivo de colisão atômica conhecido como Gerador de Cockcroft-Walton. Eles realizaram a primeira divisão artificial completa de um núcleo atômico, bombardeando um núcleo de lítio com prótons e causando a fissão do lítio em dois átomos de hélio. A energia liberada foi pequena, mas constituiu-se na primeira demonstração da predição de Einstein de que a conversão ou perda de massa resultaria em energia ($E = m.c^2$), e de que essa energia poderia ser capturada e utilizada.

Entretanto, o gerador de Cockcroft-Walton, assim como os aceleradores de partículas que o sucederam, era limitado pela maneira fortuita e imprevisível pela qual se obtinha a fissão. Na ausência de liberações repetitivas de energia dos núcleos divididos, ou seja, sem reações em cadeia, gasta-se mais energia para acelerar os projéteis usados na divisão nuclear do que se ganha com o próprio processo. A solução para esse problema veio no mesmo ano de 1932 com a descoberta do nêutron por Chadwick. Percebeu-se logo que o nêutron, e não o próton, seria o projétil ideal para a fissão nuclear, por não ser repelido pelo núcleo carregado positivamente (BRODY & BRODY, 1999).

Em 1933, Frédéric Joliot-Curie (1900–1958) e sua esposa Irene (1897–1956) descobriram elementos radioativos preparados artificialmente a partir de elementos estáveis, ao bombardearem o boro, o alumínio e o magnésio com partículas alfa. A partir do alumínio encontraram fósforo radioativo e do boro obtiveram nitrogênio radioativo. Pela criação da radioatividade artificial, o casal Joliot-Curie obteve o Prêmio Nobel em 1935. Tratava-se de uma descoberta fundamental que iria abrir caminho para outras novas.

Imediatamente após essa descoberta, ocorreu ao físico italiano Enrico Fermi (1901–1954) a idéia de que as partículas alfa não representavam os únicos projéteis utilizados na produção de radioatividade artificial, decidindo, pois, utilizar os nêutrons em tal processo. De suas experiências resultou o artigo intitulado: “*Radioattività provocata da bombardamento di neutroni – I*”, publicado em 25 de março de 1934. O “I” indicava que haveria uma série de artigos publicados sobre o mesmo assunto.

Na Universidade de Roma, Fermi e seu insigne grupo de auxiliares, composto por Bruno Pontecorvo, Oscar d’Agostino, Franco Rasetti, Emílio Sègre e Giulio Cesare Trabacchi, fizeram experiências notáveis com o comportamento dos nêutrons. Utilizaram substâncias, tais como a parafina, o grafite e a água pesada, para moderar o passo dos nêutrons. Em 1935, concluíram que: I) era possível obter nêutrons de substâncias radioativas; II) compostos ricos em hidrogênio desaceleravam os nêutrons obtidos desses compostos radioativos; III) quando esses nêutrons eram desacelerados, aumentava a probabilidade de serem capturados pelo núcleo atômico alvo, ou seja, os nêutrons lentos

eram mais eficazes que os rápidos na produção de reações nucleares. A descoberta da moderação de nêutrons foi patenteada na Itália, recebendo o número de registro 324458 em 26 de outubro de 1935 (MARTINS, 2001).

A descoberta da fissão do núcleo do átomo de urânio, uma das mais importantes da física nuclear, foi feita por Otto Hahn e Fritz Strassmann, em 1938, na Alemanha. Naquela ocasião, chegaram à conclusão de que o impacto de um nêutron sobre um núcleo de urânio produzia dois novos núcleos de tamanho médio (átomos de bário) e outros. Logo em seguida, Frisch, Meitner e Joliot-Curie, além de confirmar e desenvolver a experiência da fissão, formularam o princípio teórico da reação em cadeia. Uma vez feita esta descoberta, converteu-se em realidade a transmutação em grande escala a partir de uma reação em cadeia.

Em 2 de dezembro de 1942, na Universidade de Chicago, Fermi realizou pela primeira vez uma reação em cadeia controlada, em uma “pilha atômica”, utilizando como combustível o urânio natural e como moderador de nêutrons a grafite. À primeira reação em cadeia controlada pelo homem, Arthur Compton atribui a seguinte descrição:

“We entered the balcony at one end of the room. On the balcony a dozen scientists were watching the instruments and handing the controls. Across the room was a large cubical pile of graphite and uranium blocks in which we hoped the atomic chain reaction would develop. Inserted into opening in this pile of blocks were control and safety rods. After a few preliminary tests, Fermi gave the order to withdraw the control rod another foot, we knew that was going to be the real test. The Geiger counters registering the neutrons from the reactor began to click faster and faster until their sound became a rattle. Then you could begin to see the spot of light reflected from the galvanometer that measured the ionization as it began to move. At first slowly, then faster and still faster. The reaction grew until there might be danger from the radiation up on the platform where we were standing. ‘Throw in the safety rods’, came Fermi’s order. And you could see the pointer move right back to zero. The rattle of the counters fell to a slow series of clicks. For the first time, atomic power had been released; it has been controlled and stopped. Only half a watt of energy, infinitesimal, but it showed that men had the boundless energy of atomic fission under control. Somebody handed Fermi a bottle of Italian wine and a little cheer went up” (MARTINS, 2001, p. 313).

Esse foi o clímax da fascinante busca por compreensão e domínio do átomo iniciada há mais de 2.400 anos pela Humanidade. Mediante genial aplicação do poder de raciocínio humano, uma linhagem excepcional de cientistas, que remonta a Robert Boyle e aos demais dos séculos XVII e XVIII, não só calculou o potencial energético contido no interior do átomo como também fez da fórmula de Einstein uma profecia. Iniciada a Era do Átomo, seus poderes destrutivos e construtivos não de permanecer conosco, na guerra e na paz, para sempre...

I. 2) A MILITARIZAÇÃO DO ÁTOMO

“O átomo é um monumento à sabedoria da Raça Humana. Um dia poderá ser a lápide de sua insensatez”.

J.G. Feinberg

The History of Atomic Theory and Atomic Energy (1960)

A plena compreensão dos rumos tomados pela ciência atômica não pode ser desvinculada do contexto histórico no qual foram geradas suas principais realizações. De fato, a “Guerra dos 31 Anos” exerceu influência determinante em seu destino tecnológico: época em que todos viviam e pensavam “em termos de guerra mundial, mesmo quando os canhões se calavam e as bombas não explodiam” (HOBSBAWM, 1995, p.30). Se as descobertas do processo de fissão do núcleo de urânio, de sua manutenção por reações em cadeia e da energia aí liberada fossem feitas em tempos de paz, talvez as pesquisas tivessem prosseguido até que fossem encontradas aplicações pacíficas, materializadas na maquinaria produtora de energia nucleoe elétrica. Entretanto, influenciada pela atmosfera bélica da época, a comunidade científica teceu claras advertências sobre o potencial militar de tais descobertas.

Plenamente convencido de que a Alemanha nazista estaria em posse da energia nuclear no futuro próximo e a usaria para subjugar o resto do mundo, Einstein concordou em assinar uma carta redigida por Fermi, Szilard e Wigner ao presidente norte-americano Roosevelt na qual a possibilidade de se construir uma bomba atômica era evidenciada. Embora seus trabalhos anteriores não estivessem relacionados com a descoberta do uso potencial da fissão nuclear, a assinatura de Einstein era almejada em virtude de sua credibilidade e importância como físico (MARTINS, 2001).

Em consequência dessa carta, elaborada em agosto de 1939, Roosevelt criou o “Comitê do Urânio”, destinado ao estudo das perspectivas do uso da energia nuclear para fins militares. Comprovada a possibilidade de se construir artefato bélico de poder jamais visto, “o Exército e a Marinha dos Estados Unidos concederam sua primeira subvenção para a pesquisa atômica, em fevereiro de 1940, no valor de 6 mil dólares. Embora fosse uma quantia irrisória mesmo para os padrões de 1940, isso marcou o primeiro envolvimento das Forças Armadas americanas nas pesquisas sobre energia atômica” (BRODY & BRODY, 1999, p.129). A militarização do átomo instaurava-se.

O “Comitê do Urânio” seria, pois, a forma embrionária do “Projeto Manhattan”, iniciado em agosto de 1942. Considerado por BERNAL (1976) como o maior esforço técnico-científico da história da humanidade, o desenvolvimento da bomba atômica iniciou novos tempos para a pesquisa científica. “Até o ano de 1939, os físicos eram considerados pelo público e pelas autoridades governamentais como um homem de torre de babel, cujos trabalhos, difíceis de ser compreendidos, possuíam, quando muito, apenas um valor estético, desprovido, porém, inteiramente de aplicação prática” (LEITE LOPES, 1978, p.185). A partir de então, o Estado passa a atribuir enorme importância à física nuclear e a suas áreas correlatas, e os físicos conquistaram ascendência política inédita. Na onda emergente da nova ciência atômica e de suas promessas, os países do Terceiro Mundo deram início ao processo de institucionalização da ciência. Nesse sentido, conforme ressaltado por FREEMAN (1995, p.9):

“(...) It was the Manhattan Project and its outcome at Hiroshima which impressed on people throughout the world the power of science and specially, as it seemed, Big Science. (...) After the Second World War, the prestige of organized, professional R&D was very high (...) Even in Third World countries there was a trend to establish research councils, national R&D labs and other scientific institutions, to do nuclear physics and in some cases to try and make nuclear weapons (e.g. Argentina, India, Brazil, Israel, Yugoslavia). It was hardly surprising either that a simplistic linear model of science and technology ‘push’ was often dominant in the new science councils that advised governments. It seemed so obvious that the Atom Bomb (and it was hoped nuclear power for electricity) was the outcome of a chain reaction: basic physics → large-scale development in big labs → applications and innovations (whether military or civil)”.

Foi a partir das sinergias e interações sistemáticas entre Estado, estrutura produtiva e infra-estrutura científico-tecnológica que o Projeto Manhattan desenvolveu sua inovação lapidar. Como ressaltado por PINGUELLI ROSA (1985a, p. 38-39), “o Projeto Manhattan foi um impressionante esforço tecnológico, do qual naquela época só os EUA seriam capazes, com seu território a salvo, longe do teatro de operações, com seu potencial humano e industrial preservado da destruição que se procedia na Europa. O segredo do êxito do projeto norte-americano residiu na sua capacidade de passar dos conhecimentos científicos e das idéias geniais dos físicos para a execução pragmática por engenheiros disciplinados e obedientes. Foi uma impressionante demonstração de planejamento, organização e gerenciamento da pesquisa, jamais vista, envolvendo diferentes universidades e instituições, tudo sob um implacável controle centralizado e sob absoluto segredo”. A existência de uma estrutura industrial do mais alto nível, envolvendo atividades que perpassam desde a engenharia química, elétrica e metalúrgica até o emprego

de sistemas produtivos baseados em controle remoto de operações, contribuiu decisivamente para a viabilidade do empreendimento atômico. Suas atividades contaram com a participação de empresas privadas do porte da Du Pont, AT&T, Eastman Kodak, General Electric e outras (MARQUES, 1992).

Ademais, ressalte-se que o pioneirismo norte-americano no desenvolvimento da tecnologia nuclear recebeu a valiosa contribuição de cientistas judeus e antinazistas refugiados da Alemanha. Entre 1933 e 1942, chegaram aos Estados Unidos, vindos da Alemanha, cerca de 264 cientistas e técnicos, sendo quase uma centena de físicos. As universidades que mais sofreram com essa “fuga de cérebros” foram as de Berlin e Frankfurt, ao perderem quase um terço de seus professores e pesquisadores. Nesse mesmo período, saíram 19 cientistas que receberam ou iam receber o Prêmio Nobel, entre eles inclusos estão Einstein, Max Born, Wigner, Schrödinger, J. Frank, H. Bethe e muitos outros. Os quatro húngaros, Edward Teller, Leo Szilard, von Neumann e E. Wigner, que trabalharam intensivamente no Projeto Manhattan, também vieram da Alemanha nazista. A Física Nuclear era então rotulada por Hitler como uma “Física Judaica”. Em consequência da atmosfera pesada que pairava sobre a Itália fascista de Mussolini, Fermi usou como pretexto a entrega do Prêmio Nobel por ele recebido em Estocolmo para fugir com sua esposa semita Laura e seus dois filhos para os Estados Unidos. Certamente, o dia de sua partida – 6 de dezembro de 1938 – representou “o fim de uma época memorável da Universidade de Roma e da própria Ciência Italiana” (MARTINS, 2001, p.134). Essa “fuga de cérebros” nada mais é que uma das expressões exteriores da intrincada relação entre regimes políticos totalitários e a atividade científica.

Ao físico norte-americano Robert Oppenheimer – o ícone da era nuclear, da nova era que ajudou a construir – coube a direção do Laboratório de Los Alamos, no qual eram realizados os estudos conclusivos e as principais realizações para a produção das primeiras bombas atômicas. De forma magistral, Oppenheimer extraía de seu grupo o que de melhor possuía, fomentando em seus integrantes o sentimento de que aquele era o grande momento de suas vidas. De fato, Oppenheimer era um líder nato (LEITE LOPES, 2004).

A conjunção de todos esses fatores de sucesso resultou na primeira explosão nuclear em Alamogordo, Novo México, em 16 de junho de 1945. Posteriormente, em 6 de agosto, Hiroshima foi atingida por uma bomba de urânio-235, transformando-se em uma grande ruína. Das 76.000 edificações da cidade, 70.000 foram danificadas, sendo que 48.000 de maneira total. De uma população de aproximadamente 400.000 habitantes, 128.558 foram mortos e feridos e 176.987 ficaram desabrigados. Em 9 de agosto foi a vez

de Nagasaki ser destruída por uma bomba de plutônio, idêntica à lançada em Alamogordo. Mais de 70.000 de seus habitantes morreram até o fim de 1945, tendo esse número chegado a 140.000 nos cinco anos seguintes. No dia 16 do mesmo mês, a Segunda Guerra Mundial chegou ao seu fim com a rendição incondicional do Japão.

O drama intrínseco ao início da utilização explícita da energia nuclear transcende, em sua plenitude, qualquer tentativa de descreve-lo. Um mundo horrorizado assistia ao holocausto nuclear de proporções devastadoras, cujos efeitos letais se estenderiam por várias gerações. Não menos perplexo ficou um grande numero de cientistas que, direta ou indiretamente, participaram do empreendimento atômico. Talvez melhor do que ninguém tenha Oppenheimer traduzido tais sentimentos ao citar passagens do Bhagawad-Gita, um dos textos sagrados mais populares na Índia: “*I am become death, the shatterer of worlds*” – “transformei-me na morte, no despedaçador dos mundos” (LEITE LOPES, 2004, p.188). Até Einstein não pôde fugir ao turbilhão de conflitos e contradições que emergiu da eclosão dessa nova forma de energia: “seu olhar permaneceu triste até sua morte, em 18 de abril de 1955” (MARTINS, 2001, p.154).

Instrumento de poder absoluto, a bomba atômica era, ao final da Segunda Guerra Mundial, “virtualmente” monopolizada pelos EUA. Um segredo que nunca existiu de fato, visto que o conhecimento sobre o enorme potencial energético contido no átomo não foi gerado por “homens de gênio” de um único país. Centenas de cientistas de todas as grandes potências culturais da Europa haviam prestado colaboração às descobertas que conduziram à fissão nuclear. As principais descobertas já haviam sido amplamente divulgadas nas grandes publicações científicas européias, de modo especial na Revista *Nature* – um dos repositórios mais completos do pensamento científico universal. O conhecimento científico (*Know-why*) já estava codificado, restando aos que o adquirissem desenvolver seu componente tácito – o *Know-how*. Portanto, o “grande segredo” deixava de ser segredo e, por assim dizer, ficava solto no ar.

Como estratégia para assegurar o monopólio da bomba atômica pelo maior período possível de tempo e, por conseguinte, sua posição privilegiada na hierarquia internacional de poder, os EUA formularam proposta para o controle internacional da energia nuclear. Apresentado em 1946 por ocasião da primeira reunião da Comissão de Energia Atômica da ONU, o Plano Baruch propunha, em síntese: “a criação de uma Autoridade de Desenvolvimento Atômico (A.D.A.), à qual se confiariam todas as fases de produção e emprego da energia nuclear, a começar pelo das matérias-primas, inclusive; a) o controle do funcionamento ou a propriedade de todas as atividades vinculadas à energia atômica e

julgadas potencialmente perigosas à segurança mundial; b) a atribuição de controlar, inspecionar e autorizar o funcionamento de qualquer outra atividade atômica; c) a obrigação de estimular os empregos benéficos da energia nuclear e trabalhar para a evolução da ciência atômica, da qual a A.D.A. seria orientadora suprema” (GUILHERME, 1957, p.39).

O Plano Baruch, que deveria se destinar ao controle, era, de fato, um plano de propriedade. Era a sugestão de que, ao invés de um simples sistema de controle internacional das jazidas e usinas atômicas, em todo o mundo, os Estados Unidos cogitaram a criação de um organismo de caráter internacional, mas que permaneceria sob seu controle indireto, ao qual pertenceriam todas as minas de materiais suscetíveis à fissão nuclear, bem como todas as indústrias-chave vinculadas à produção de energia nuclear. A verdade é que este plano, elaborado em nome de uma segurança nacional travestida de mundial, ruiu diante da autonomia almejada por um pequeno número de países detentores de minerais físséis.

Posteriormente apresentada e igualmente vetada, a contra-proposta soviética para o controle internacional da energia nuclear “propunha um acordo internacional que interditasse a fabricação e o emprego de armas atômicas para destruição em massa, bem como a destruição das bombas já existentes” (GUILHERME, 1957, p.44). Atitude essa vista pelos demais países como natural para uma “ex” potência militar então suplantada pelo monopólio atômico estadunidense.

Enquanto o embate na ONU não era solucionado, o governo norte-americano, através de legislação interna própria, obstaculizou a difusão do “grande segredo”. Aprovada pelo congresso em julho de 1946, a Lei McMahon, além de instituir a *United States Atomic Energy Commission* (Usaec) – instrumento institucional propulsor do desenvolvimento nuclear norte-americano, vedou o intercâmbio com outros países de informações sobre o uso da energia nuclear para fins industriais. Em linhas gerais, “a comissão de Energia Atômica assumiu o controle absoluto de todas as atividades relacionadas com a energia nuclear, estabelecendo o monopólio estatal sobre quaisquer materiais físséis, bem como possibilitando a organização de um controle absoluto sobre a veiculação de informações científicas ou dados técnicos através dos quais o grande segredo fosse criminosa e levemente divulgado” (GUILHERME, 1957, p.50).

Apesar dos esforços empreendidos pelos EUA na manutenção de seu monopólio atômico, em 29 de agosto de 1949, o inevitável ocorreu: a União Soviética detonou sua primeira bomba atômica nos confins siberianos. Monopólio esse cujo fim contribuiu

decisivamente para o civilizar do átomo, graças ao qual opera-se a transição para uma nova fase da história do átomo, a da nucleoeletricidade, na qual o patrimônio atômico militar é transferido via efeitos de *spillover* ao setor civil, sem com isso interromper a pesquisa e o desenvolvimento destinados às aplicações militares. É essa constante tensão entre o civil e o militar que permeará toda a trajetória histórica da tecnologia nuclear. Pela primeira vez na história, uma linha energética é o subproduto do desenvolvimento de uma tecnologia de guerra. Não é mais uma linha produtora de energia industrial que, como no caso do petróleo e do carvão, dá lugar a aplicações militares a partir de seus derivados químicos, mas sim uma linha produtora de energia destrutiva que se recicla, parcialmente, para fins industriais. Como bem enfatizado por HÉMERY *et alli* (1993, p.286), “jamais teria sido alocada ao nuclear civil a soma de esforços e de investimento de que se valeu, se não tivesse sido construída previamente, para fins não econômicos, desprovidos de qualquer rentabilidade financeira, a indústria da bomba”.

I. 3) O ÁTOMO CIVILIZADO

“Civilizar o átomo é, enfim, abrir um novo mercado e construir uma nova indústria energética, capazes um e outro de valorizar o capital de forma comparável a seus homólogos petrolíferos. Trata-se, para os dirigentes das grandes instituições nucleares americanas e européias e das grandes firmas que lhes são associadas, de banalizar a central nucleoeleétrica, de fazer dela uma usina de estrutura técnica estável, reproduzível em série, comercializável por catálogo, através de contratos ‘chave-na-mão’”.

Hémery *et alli*
Uma História da Energia (1993)

O lançamento dos grandes programas nacionais de reatores civis abriu a fase nucleoeleétrica da história do átomo na qual cada país, dentro de suas restrições econômicas, procurou desenvolver uma linha tecnológica convergente aos seus objetivos, sejam eles políticos, econômicos e/ou militares. De fato, enquanto nos Estados Unidos as pesquisas abrangiam todas as soluções possíveis, dois rumos foram seguidos pelos países relativamente mais pobres: ou limitava-se à experimentação de reatores plutogênicos² a fim de se obter, simultaneamente, objetivos civis e militares (França e Inglaterra); ou procurava-se soluções ditadas pelo objetivo de desvincular-se da necessidade do enriquecimento do combustível, por meio do urânio natural moderado à água pesada (Canadá, Suécia, Argentina, Índia).

A segunda via de desenvolvimento foi a adotada pelos países menores que, “dentro de seus recursos e de suas possibilidades, iniciaram programas nacionais de energia atômica, dadas as implicações de retardamento e de inteira subordinação militar, econômica, política em que ficariam se esperassem exclusivamente pela ajuda dos países mais avançados” (LEITE LOPES, 1978, p.186). Talvez seja a tecnologia nuclear aquela que melhor materializa as idéias de FURTADO (1975) sobre o progresso tecnológico como sendo o instrumento que permite a preservação do sistema de poder existente no cenário internacional.

² Os reatores alimentados a urânio natural e moderados a gás-grafita possuem “a vantagem de produzir cerca de duas vezes e meio mais plutônio que as centrais a urânio enriquecido” (HÉMERY *et alli*, 1993, p.314).

Época em que as “janelas de oportunidade” estavam abertas àqueles que almejassem participar do projeto energético nuclear – “projeto faustiano de uma fantástica alquimia (científica desta vez e, conseqüentemente, ao abrigo das críticas), voltada para a produção ilimitada de energia a baixo custo. A energia nuclear se imporá, por toda a parte, durante duas décadas, como a nova fronteira do futuro, como o horizonte obrigatório de todas as sociedades humanas” (HÉMERY *et alli*, 1993, p.267). Inicia-se, pois, a fase otimista, a fase da energia-milagre, a fase do mito nuclear capaz até de superar o subdesenvolvimento através de uma reestruturação da divisão internacional do trabalho sem precedentes.

Durante todo esse novo período, a iniciativa do desenvolvimento da tecnologia nuclear foi deliberadamente mantida pelo governo e pela grande indústria dos Estados Unidos. A fase que vai da pesquisa básica e aplicada até o protótipo dos primeiros reatores (1947-55) inicia-se com a criação da *United States Atomic Energy Commission* (Usaec). Foi essa Comissão que, de forma “schumpeteriana” e seguindo uma filosofia industrialista, proporcionou a simbiose entre a tecnoestrutura dos centros decisórios privados e a dos pertencentes, direta ou indiretamente, ao aparato estatal. A empresa privada teria finalmente a propriedade e a direção dos reatores, enquanto o monopólio público da Usaec continuava operando no setor crucial do combustível nuclear. Ademais, o Estado manteria, por meio da própria Usaec, um intenso controle sobre todos os aspectos concernentes às operações industriais, sobre informações, patentes, projeto, construção e funcionamento dos reatores, bem como sobre todas as fases do processo de exportação. Em síntese, o principal objetivo da Usaec foi o de colocar, o mais rapidamente possível, o projeto e a construção das centrais nucleoeletricas dentro das estruturas industriais construtoras das centrais termoelétricas tradicionais, fornecendo-lhes a necessária assistência financeira e tecnológica.

Altamente protegida, a indústria nuclear norte-americana formou-se na presença de uma notável socialização dos investimentos. Antes de 1965, nenhuma empresa privada jamais havia proposto construir, utilizando recursos próprios, um reator experimental a fim de dominar a tecnologia nuclear. De fato, a indústria atuou durante a fase de desenvolvimento sem riscos reais, sendo “paga para aprender seu próprio ofício”. O reator PWR, que é hoje o conversor eletronuclear dominante em todo o mundo, não é mais que a versão civil do reator desenvolvido pela Westinghouse para os submarinos nucleares norte-americanos, à qual a experiência de 20 milhões de dólares não custou absolutamente nada (PANATI, 1980).

O próprio monopólio público do urânio enriquecido, longe de constituir um empecilho ou uma restrição para os construtores norte-americanos, acabou atribuindo ao Estado uma fase fabulosamente onerosa, o que trouxe grandes benefícios ao setor privado. Sabe-se que, devido aos enormes custos envolvidos na construção das complexas instalações exigidas pela tecnologia do enriquecimento (o cerne do Projeto Manhattan), nenhuma consideração econômica jamais teria justificado o seu desenvolvimento única e exclusivamente para o abastecimento das centrais nucleoeletricas. A grande disponibilidade de urânio enriquecido herdado do complexo militar exerceu influência determinante sobre a escolha da linha de reatores. Entretanto, esta constatação pode ser ponderada pelo fato de que a opção urânio enriquecido, além de absorver o excesso da capacidade produtiva então presente na indústria militar norte-americana, também permitia alguma liberdade no uso de materiais e concepções de reatores mais compactos, possibilitando, portanto, redução no custo das instalações.

Ponderações à parte, o fato é que dispendo dos meios materiais e humanos para fazer investimentos abundantes, a Usaec optou pela construção de um certo número de reatores experimentais de diversas concepções, selecionando entre eles o mais promissor para desenvolvê-lo industrialmente. Venceria o reator, e com ele a linha que, frente ao tecido produtivo industrial, demonstrasse ser mais promissor e adequado aos fins nucleoeletricos. Assim colocada na posição de poder escolher a linha tecnológica adotada, a indústria norte-americana optou pela “tecnologia da água”, pois era a mais próxima de suas tradições e seus conhecimentos, isto é, das capacidades da preexistente indústria termoeletrico-mecânica pesada convencional (PANATI, 1980).

Após as fases de autonomia industrial e desenvolvimento comercial, o desenvolvimento nuclear norte-americano chegou à fase da competitividade alcançada caracterizada pelo sucesso do “produto-mercadoria” reator nuclear. A hegemonia do oligopólio dos cinco construtores norte-americanos – General Electric, Westinghouse, Combustion Engineering, Babcock-Wilcos e General Atomics – é mais do que evidenciada pelos 82% das encomendas mundiais a eles destinadas em 1974. Nesse mesmo ano, os outros construtores independentes (Inglaterra, Canadá, Alemanha e Suécia) cobriam juntos apenas 7,2% das encomendas. Depreende-se que a superioridade norte-americana no mercado mundial de centrais nucleares é, sobretudo, industrial, de organização da produção ou de conveniente e correta tradução do projeto em produto-mercadoria, em produto comercializável e comercializado. “Essa indústria é um fato

técnico, mas também uma organização comercial e, sobretudo, política” (PANATI, 1980, p.239).

A próxima etapa do ciclo de vida da tecnologia nuclear seria, já a partir da década de 1970, a da padronização comercial, caracterizada por um enfoque cada vez mais *marketing oriented* e por crescentes vínculos sociais. Os mercados se acomodaram a uma estrutura fortemente oligopolística. Abriram-se novas problemáticas ligadas ao estímulo das economias de escala em direção a reatores de maior potência e de períodos de funcionamento sempre mais longos, ou seja, ao estímulo de inovações incrementais.

Já a partir da década de 1980, a própria redução do ritmo das encomendas de novos reatores nucleares afetou decisivamente a velocidade da mudança tecnológica na área nuclear (FILGUEIRAS, 2002). Somados a este fato estão os acidentes de Tchernobyl e Three Mile Island que, ao atualizarem o risco inerente à evolução das sociedades tecnologicamente complexas, aumentaram substancialmente as exigências quanto à segurança das centrais nucleares e, com isso, seu custo de operação. Com efeito, a periculosidade inerente ao nuclear atua como uma barreira à inovação, visto que “quaisquer novidades, por menores que pareçam, precisam ser exaustivamente provadas quanto à sua segurança” (FILGUEIRAS, 2002, p.49).

Passados 30 anos, desmoronou-se o mito da tecnologia-milagre. Ao contrário das muitas previsões realizadas por seus promotores, a nucleoeletricidade não foi a origem de um novo ciclo de expansão industrial e muito menos fator de redução dos desníveis internacionais de desenvolvimento. “Se existe um outro futuro energético, não capitalista, para a sociedade mundial, não deverá ser buscado, em nenhum caso, em uma eventual posteridade histórica do átomo” (HÉMERY *et alli*, 1993, p.363).

PARTE II

NOTAS SOBRE A PROBLEMÁTICA CIÊNCIA-TECNOLOGIA-DESENVOLVIMENTO

II. 1) PERSPECTIVAS DO CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO

“La revolución científica y tecnológica ha sido siempre una consecuencia y no la causa de las profundas transformaciones estructurales que genera el proceso de desarrollo, aunque luego contribuya en forma decisiva a acelerar esos cambios. La capacidad de una sociedad para incorporar la ciencia y la tecnología como factores dinámicos para su progreso depende de condiciones políticas, económicas y sociales que la ciencia misma no puede crear.”

Amílcar O. Herrera
Ciencia y política en América Latina (1976)

Há tempos que arraigada está, no meio acadêmico-político, como uma verdade absoluta e incontestável, a idéia de que ciência e tecnologia constituem os alicerces do desenvolvimento econômico. Observa-se que, desde o início da Era Atômica, um processo de institucionalização da ciência vem ocorrendo nos países periféricos, nutrido pela crença de que uma política de apoio formal à ciência possui o poder de resolver os problemas materiais mais urgentes, exibindo-se como uma panacéia universal capaz de corrigir todos os males do subdesenvolvimento sem a necessidade de modificar a estrutura do sistema capitalista, da divisão internacional do trabalho.

Sob essa perspectiva, o que distingue os países centrais dos periféricos é a capacidade que os primeiros possuem de produzir, transmitir e utilizar conhecimentos de forma autônoma, capacidade essa inerente a seus cidadãos que “são capazes de realizar plenamente o seu potencial como seres humanos” (NUSSENZVEIG, 1994, p. 73). Portanto, para que a periferia se desenvolva, seria necessário que o “tradicionalismo” de suas estruturas sociais e econômicas cedesse lugar à “modernidade” intrínseca à ciência e à tecnologia.

Como bem destacou SCHWARTZMAN (1980), raciocínios como esse, de simples entendimento e ampla aceitação, não passam de mitos, de formas pelas quais as sociedades percebem e justificam suas crenças no progresso. Em verdade, as inter-relações entre ciência, tecnologia e desenvolvimento são complexas, assim como a realidade e suas contradições. Através de uma combinação de afirmações empíricas, normativas e preditivas, os mitos capturam parte significativa da realidade social, transformando-a em

verdades generalizadas. Torna-se claro, portanto, que a idéia de desenvolvimento como visão de mundo, como ideologia, está condicionada ao meio social no qual seu articulador está situado. Conseqüentemente, faz-se necessário considerar qualquer das ciências sociais sob o critério situacional. De homem situado. De grupo situado. De cultura situada. De economia situada. Situada em espaços, tempos, circunstâncias.

Os mimetismos típicos da psique colonizada derivados de um processo de assimilação a-crítica da corrente do pensamento econômico dominante, da Monoeconomia à qual HIRSCHMAN (1981) fez referência, indubitavelmente obstaculizam a formulação de conceitos adequados com os quais podemos interpretar a nossa própria história e a nós mesmos. Contra essa corrente estão as idéias de Celso Furtado - o ícone de uma geração de cientistas sociais latino-americanos obstinados em compreender as especificidades históricas do subdesenvolvimento, das malformações sociais engendradas pelo processo de difusão do progresso tecnológico. Progresso esse imposto pela civilização industrial e condicionado pela estrutura centro-periferia.

FURTADO (2004, p.485) nos ensinou que “o desenvolvimento não é apenas um processo de acumulação e de aumento de produtividade macroeconômica, mas principalmente o caminho de acesso a formas sociais mais aptas a estimular a criatividade humana e responder às aspirações da coletividade”. Por conseguinte, “as sociedades são consideradas desenvolvidas na medida em que nelas o homem mais cabalmente logra satisfazer suas necessidades, manifestar suas aspirações e exercer seu gênio criador” (FURTADO, 1984, p.105). Nesse sentido, o desenvolvimento é sempre tributário de uma atividade criadora, um misto de inventividade e acumulação: a canalização do engenho humano para a inovação tecnológica, ou seja, para o desenvolvimento das forças produtivas, abre o caminho ao processo de acumulação de capital.

Na acepção do termo, “engenhar, dizem os dicionários, é inventar, engendrar, maquinar. Vem de engenho: faculdade universitária. Da mesma origem é engenharia: arte de aplicar conhecimentos científicos ou empíricos à criação de estruturas a serviço do homem. Arte ou ciência – em sentido mais restrito – do emprego de dispositivos e de processos na conversão de recursos naturais ou humanos em formas adequadas ao atendimento de necessidades do mesmo homem. Sempre engenho, invenção criativa, a serviço do homem. A serviço de seu físico. De necessidades físicas. Mas também de relações do seu físico com o ambiente. Com a natureza. Mas, indo além: a serviço do homem social, que inclui o homem econômico, o homem político” (FREYRE, 1987, p.9).

O subdesenvolvimento, na perspectiva de Celso Furtado, constitui-se no caso especial de processos sociais em que aumentos da produtividade e assimilação de novas técnicas não conduzem à homogeneização social. Não há, nesse caso, uma correspondência entre crescimento econômico e desenvolvimento. Em síntese, o que caracteriza uma economia periférica “é que nela o progresso tecnológico é criado pelo desenvolvimento, ou melhor, por modificações estruturais que surgem inicialmente do lado da demanda, enquanto nas economias desenvolvidas o progresso tecnológico é, ele mesmo, a fonte do desenvolvimento” (FURTADO, 1968, p.23).

Dito em outros termos, pode-se inferir que a distribuição primária de renda é uma das condições necessárias ao desenvolvimento científico e tecnológico em espaços periféricos. Nesse aspecto, conforme ressaltado por PAULA (1999, p.12), “a construção de um sistema nacional de inovação, de um campo sinérgico de desenvolvimento científico e tecnológico, da liderança nos processos de dinamização da produtividade e do crescimento econômico, pressupõem, então, como as várias experiências históricas o comprovam, a existência de uma ‘distribuição primária de renda’, base para a construção da nação solidária ao Estado, de uma sociedade nacional-popular”.

Embora atraente, a tarefa de atribuir causalidades unidirecionais a intrincados processos sociais torna-se estéril na medida em que a realidade social se apresenta sob a forma de processos causais em cadeia. Ao conceber-la sob essa perspectiva, a da causalidade circular cumulativa, MYRDAL (1968) alcançou uma percepção da realidade social próxima da visão da história compartilhada pelos autores de formação dialética, por autores como Darcy Ribeiro. Seguindo a linha de raciocínio de Myrdal, o atraso científico e tecnológico dos países subdesenvolvidos seria, pois, ao mesmo tempo, causa e consequência de sua condição periférica.

Uma “teoria geral do homem”, uma “antropologia filosófica” implícita nas reflexões de Celso Furtado sobre o desenvolvimento, fez-se explícita em O Processo Civilizatório de Darcy Ribeiro – obra na qual o desenvolvimento tecnológico constitui-se no critério básico de construção do esquema da evolução sócio-cultural. RIBEIRO (1983, p.39) procurou demonstrar que “o desenvolvimento das sociedades e das culturas é regido por um princípio orientador assentado no desenvolvimento acumulativo da tecnologia produtiva e militar; de que a certos avanços nesta linha progressiva correspondem mudanças qualitativas de caráter radical, que permitem distingui-los como etapas ou fases da evolução sócio-cultural, de que a essas etapas do progresso tecnológico correspondem

alterações necessárias, e por isso mesmo uniformes, nos modos de organização da sociedade e de configuração da cultura que designamos como formações sócio-culturais”.

Dentro da perspectiva da problemática do desenvolvimento elaborada por Darcy Ribeiro, dois conceitos complementares, os de atualização histórica e aceleração evolutiva, merecem destaque:

“Por aceleração evolutiva, designamos os processos de desenvolvimento de sociedades que renovam autonomamente seu sistema produtivo e reformam suas instituições sociais no sentido da transição de um a outro modelo de formação sócio-cultural, como povos que existem para si mesmos. Por **atraso histórico**, entendemos o estado de sociedades cujo sistema adaptativo se funda numa tecnologia de mais baixo grau de eficácia produtiva do que o alcançado por sociedades contemporâneas. Por atualização ou incorporação histórica, designamos os procedimentos pelos quais esses povos atrasados na história são engajados compulsoriamente em sistemas mais evoluídos tecnologicamente, com perda de sua autonomia ou mesmo com a sua destruição como entidade étnica” (RIBEIRO, 1983, pp.55-56).

Emprega-se o conceito de aceleração evolutiva para indicar os procedimentos diretos, intencionais ou não, de indução do progresso com a preservação da autonomia da sociedade que o experimenta; para sociedades que experimentam uma revolução tecnológica com base na sua própria criatividade, ou na adoção completa e autárquica de inovações tecnológicas alcançadas por outras sociedades; ou, ainda, com base em ambas as fontes.

Indicadas também por RIBEIRO (1983, p.57) como situações de aceleração evolutiva: (1) “os processos de reconstituição étnica através das quais sociedades, antes avassaladas por processos de atualização, reconstróem seu próprio *ethos* para conquistar sua independência política e retomar a autonomia perdida”; (2) “as revoluções sociais em que uma vanguarda política, agindo em nome de camadas subalternas, induz, revolucionariamente, uma reordenação da sociedade seguindo os interesses dessas camadas e de modo a afastar óbices estruturais à adoção e generalização de uma tecnologia mais eficaz”; (3) “os esforços intencionais de indução do progresso sócio-econômico através da ação de lideranças renovadoras ou de programas governamentais de desenvolvimento planejado, sempre que se orientem para a acentuação da autonomia econômica e política”.

Sob esse prisma, os povos desenvolvidos e subdesenvolvidos do mundo moderno não se explicam como representações de etapas distintas e defasadas da evolução humana. Explicam-se, isto sim, como componentes interativos e mutuamente complementares de amplos sistemas de dominação tendentes a perpetuar suas posições relativas e suas relações

simbióticas como pólos de atraso e progresso de uma mesma civilização. No mundo contemporâneo, são desenvolvidas as sociedades que se integraram autonomamente na civilização de base industrial por aceleração evolutiva; e subdesenvolvidas são as que foram engajadas por atualização histórica como “proletariados externos”, destinados a preencher as condições de vida e de prosperidade dos povos desenvolvidos com os quais se relacionam.

O hoje dos povos avançados não é, pois, o nosso amanhã: nós e eles encarnamos posições opostas, mas coetâneas. Progresso e atraso – acelerações evolutivas e atualizações históricas – devem ser assim entendidos como movimentos necessários na dialética da evolução sócio-cultural. Em suma, para o escopo do presente estudo, “desenvolvimento e subdesenvolvimento devem ser considerados como dois aspectos de um mesmo processo histórico ligado à criação e à forma de difusão da tecnologia moderna” (FURTADO, 1975, p.8).

II. 2) PROTAGONISTAS DA DINÂMICA INOVATIVA

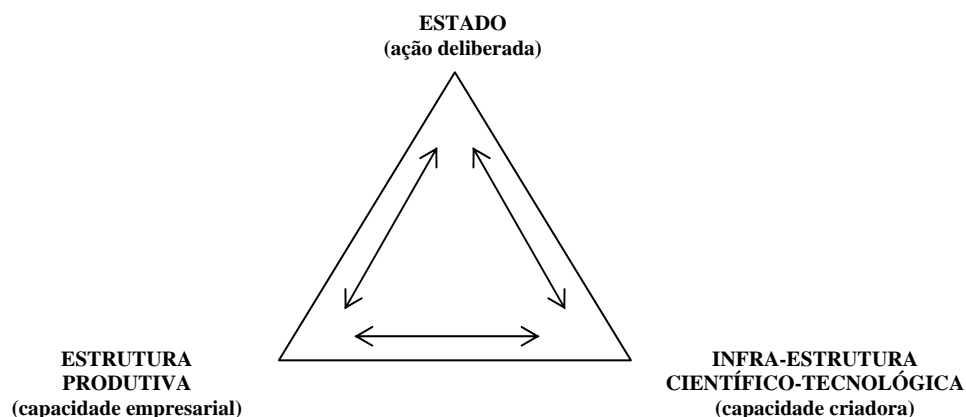
“Enfocada como un proceso político consciente, la acción de insertar la ciencia y la tecnología en la trama misma del desarrollo significa saber dónde y cómo innovar. La experiencia histórica demuestra que este proceso político constituye el resultado de la acción múltiple y coordinada de tres elementos fundamentales en el desarrollo de las sociedades contemporáneas: el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica. Podemos imaginar que entre estos tres elementos se establece un sistema de relaciones que se representaría por la figura geométrica de un triángulo, en donde cada uno de ellos ocuparía los vértices respectivos”.

Jorge A. Sabato & Natalio Botana
La Ciencia e la Tecnología en el Desarrollo Futuro de América Latina (1968)

Nas sociedades contemporâneas, um complexo de instituições e estruturas sócio-político-econômicas exerce influência determinante sobre o ritmo e a direção da mudança tecnológica. Na compreensão da dinâmica inovativa, nada mais adequado que utilizar a idéia de um sistema composto de componentes, atributos e relações capaz de fomentar e utilizar a criatividade intrínseca ao ser humano no processo de inovação tecnológica.

Talvez tenha sido SABATO & BOTANA (1968) o primeiro trabalho latino-americano e também um dos primeiros do mundo a utilizar uma figura geométrica para ilustrar o conceito de sistema nacional de inovação. Estabeleceram como modelo de interações um triângulo cujos vértices estariam ocupados pelos assim denominados protagonistas da dinâmica inovativa – a infra-estrutura científico-tecnológica, a estrutura produtiva e o Estado. As sinergias e interações sistemáticas entre eles estabelecidas possuem o poder de colocar a ciência e a tecnologia a serviço do desenvolvimento. Em outros termos, os sistemas de inovação que já finalizaram seu processo de construção assumem a configuração de triângulos científico-tecnológicos plenamente integrados, nos quais torna-se “o progresso tecnológico a principal fonte de desenvolvimento econômico” (ALBUQUERQUE, 2001, p.13).

FIGURA 1
TRIÂNGULO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO



A infra-estrutura científico-tecnológica é concebida como um complexo dos seguintes elementos articulados e inter-relacionados entre si: (a) sistema educacional; (b) laboratórios, institutos e centros de pesquisa; (c) sistema institucional de planificação, promoção, coordenação e estímulo à pesquisa; (d) mecanismos jurídico-administrativos que regulam o funcionamento das instituições e atividades descritas em a, b e c; (e) recursos econômicos e financeiros aplicados em seu funcionamento. Define-se o vértice estrutura produtiva em sentido amplo, como o conjunto de setores produtivos que provêem bens e serviços demandados por uma determinada sociedade. Por sua vez, o Estado compreende o conjunto de instituições que tem como objetivo mobilizar recursos e formular políticas para os demais vértices através dos processos legislativos e administrativos (SABATO & BOTANA, 1968).

Como enfatizado pelos autores acima citados, cada um dos vértices constitui em centro de convergência de múltiplas instituições, atividades e unidades de decisão, o que justifica a multi-dimensionalidade das relações que configuram o triângulo. Desse modo, o triângulo científico-tecnológico é definido pelas relações estabelecidas dentro de cada vértice (intra-relações), entre os três vértices (inter-relações) e entre cada um dos vértices com o contorno externo do espaço no qual se situam (extra-relações).

As relações estabelecidas dentro de cada vértice possuem como objetivo principal o de transformar esses centros de convergência em centros capazes de gerar, incorporar e transformar demandas em produto final que é a inovação. Dessa forma, as diferentes

relações que integram cada vértice devem ser estruturadas objetivando garantir uma determinada capacidade.

A capacidade empresarial pública ou privada atribuída à estrutura produtiva nos remete ao empresário inovador de SCHUMPETER (1982). Ao indivíduo capaz de romper com o “fluxo circular da vida econômica”. Ao portador do mecanismo de mudança. Ao agente transformador das estruturas produtivas. É justamente no sentido schumpeteriano que SABATO & BOTANA (1968) concebem esse atributo como sendo aquele que consiste em reformar ou revolucionar o sistema produtivo, explorando um invento ou, de uma maneira geral, uma possibilidade técnica ainda não testada para produzir uma mercadoria nova ou uma antiga por um método novo. Ademais, deve-se a SCHUMPETER (1982, p.62) a formulação pioneira de uma distinção entre “invento” e “inovação”³, ao alegar que “a liderança econômica em particular deve pois ser distinguida da invenção. Enquanto não forem levadas à prática, as invenções são economicamente irrelevantes (...) Além disso, as inovações cuja realização é função dos empresários, não precisam necessariamente ser invenções. Não é aconselhável, portanto, e pode ser completamente enganador, enfatizar o elemento invenção como fazem tantos autores”.

Portanto, uma inovação somente é consumada com a primeira transação comercial envolvendo o novo produto, processo, sistema ou invento. O fato de que os esforços inovativos nem sempre são bem sucedidos evidencia as dimensões risco e incerteza como típicas do processo de geração de inovações, ambas concorrendo para elevar os custos das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e, em contrapartida, para premiar, com lucros excepcionais, o sucesso em tal empreendimento.

Duas idéias simples, porém importantes, merecem ser recapituladas. A primeira é que o ato de inovar apresenta custos significativos. O fato é que poucas empresas, mesmo nos países centrais, dedicam sistematicamente uma fração não desprezível de seus recursos a atividades de P&D. Inovar envolve riscos e custos que desestimulam a maioria das firmas a adotarem uma postura de vanguarda no financiamento e desenvolvimento dessas atividades. Destacam-se no processo inovativo certas indústrias, “algumas intimamente ligadas às atividades militares e espaciais (especialmente aeronáutica e eletro-eletrônica), que desempenham papel estratégico no suprimento de inovações para o resto do sistema

³ Segundo SCHUMPETER (1982, p.48), o conceito de inovação engloba os cinco casos seguintes: 1) introdução de um novo bem; 2) introdução de um novo método produtivo; 3) abertura de um novo mercado; 4) conquista de uma nova fonte de oferta de matérias primas ou de bens semi-faturados; 5) estabelecimento de uma nova organização industrial.

industrial, influenciando profundamente o padrão geral de desenvolvimento tecnológico e dando-lhe, através dessas relações, uma certa coerência tecnológica” (ERBER, 1980, p.17).

Assim, como já discutido por FREEMAN (1986), identificam-se diversas estratégias empresariais – ofensiva, defensiva, imitativa e assim por diante – variáveis conforme a natureza de seus mercados e a estrutura das indústrias. Essa é a segunda idéia fundamental: são díspares as estratégias empresariais perante a inovação. A adoção de uma estratégia ofensiva congrega um universo muito restrito de empresas que normalmente possuem condições econômicas compatíveis com os riscos e as incertezas que acompanham o processo inovativo. É esse risco inerente um dos fatores que justificam a utilização de subsídios públicos no financiamento das atividades científicas. Se a “mão invisível” for deixada ao seu bel-prazer, um mercado competitivo investirá menos que o “ótimo” em pesquisa básica (PAVITT, 1991). Em termos de atividades de P&D, a incerteza de resultados é especialmente alta no que se refere à pesquisa básica, pois as aplicações econômicas requerem uma série de atividades mediadoras (pesquisa aplicada, desenvolvimento, etc.) cuja viabilidade e lucratividade são de difícil previsão, além de demandarem um prolongado tempo de maturação (NELSON, 1971).

Como bem explicitado por SCHUMPETER (1982, p.60), “o novo é apenas o fruto de nossa imaginação”. Cabe à capacidade criadora inerente à infra-estrutura científico-tecnológica conceber novas idéias, cuja materialização dependerá das relações simbióticas estabelecidas com a estrutura produtiva. Segundo ERBER (1980, p.14), “em sociedades em que há uma excessiva divisão do trabalho, especialização de conhecimento e muitas empresas, universidades, institutos de pesquisa, etc., ativamente envolvidos em P&D, cria-se, ‘através da cooperação, uma nova força que funciona como uma força coletiva’⁴, ou seja, obtém-se um efeito de sinergia, em que o resultado total é maior que a soma das partes. Essas condições, decorrentes de um longo processo de acumulação de capital e divisão do trabalho nos países centrais conferem às empresas ali sediadas uma notável vantagem em relação às suas congêneres nos países periféricos”.

Embora o nível de desenvolvimento da acumulação de capital e da divisão do trabalho nas economias centrais favoreça o processo de desenvolvimento científico e tecnológico, essas condições favoráveis são, simultaneamente, tanto reforçadas como criadas pela intervenção estatal. Como instituição propulsora, foi a partir da II Guerra

⁴ Marx, Karl. Oeuvres. Paris, Bibliothèque de La Pléiade, 1963. V.1, Le Capital, p.864.

Mundial que o Estado expandiu qualitativa e quantitativamente sua participação em atividades científicas e tecnológicas.

Em linhas gerais, dentre suas múltiplas atribuições, os governos dos países desenvolvidos diretamente executam ou financiam os gastos de P&D; concedem incentivos fiscais àquelas empresas engajadas em P&D; preservam o direito de propriedade sobre o conhecimento e o direito de monopólio sobre a inovação, inclusive o direito de obter compensações daqueles que tentam se apropriar de informações sem o devido pagamento; sustentam instituições especializadas em suprir capital de risco às firmas inovadoras, etc. Entretanto, é na seletividade da política científica e tecnológica que o Estado demonstra seu poder de ação deliberada.

A análise da participação do Estado no processo de desenvolvimento científico e tecnológico dos países capitalistas centrais sugere que as medidas de apoio estão fortemente concentradas em alguns setores industriais, nas chamadas industriais estratégicas, especialmente naquelas ligadas a atividades militares e espaciais. Nota-se, pois, que nessas indústrias (nas industriais nuclear e aeronáutica, por exemplo) o Estado “não apenas apóia o progresso técnico, como também é o elemento fundamental da própria construção da indústria, em seus estágios iniciais, e na reorganização dessas indústrias, em sua fase de maturidade” (ERBER, 1980, p.28).

Ao intervir na área de ciência e tecnologia, não só motivado está o Estado em reproduzir e ampliar as condições de continuidade do processo de acumulação, como também em possuir meios militares e a capacidade de desenvolve-los e produzi-los, a fim de que sejam cumpridas duas de suas funções básicas: manter a soberania nacional nas relações com outros Estados e, internamente, manter a lei e a ordem. Imbuída está, pois, em suas ações a doutrina do realismo político e a conseqüente lógica da “Grande Potência”, intimamente relacionada com o poderio militar do Estado-Nação. Segundo MORGENSTERN (1959, p.294), a vinculação entre P&D e defesa tornou-se não só legítima como necessária para o progresso do conhecimento – “é a complexidade fenomenal da guerra que começou a colocar problemas científicos de primeira magnitude – mais ainda, novos problemas, problemas que não surgem na prosaica vida normal. A sociedade não aceita como legítimo o desejo de conhecimento a não ser que este esteja de alguma forma ligado à guerra”. A esse respeito, a respeito da guerra como agente catalisador do desenvolvimento científico e tecnológico, há de se concordar com ERBER (1980, p.34): “se o preço a ser pago pelo conhecimento é o risco da aniquilação da

humanidade, ou mesmo o domínio de alguns povos por outros, a ignorância é francamente preferível”.

Embora de maneira um tanto quanto caricatural, procurou-se, nas linhas anteriores, demonstrar algumas nuances das complexas interações entre os assim denominados protagonistas da dinâmica inovativa em triângulos científico-tecnológicos organicamente integrados e condicionados pela aceleração evolutiva processada nos países centrais. Inclusos nessa categoria estão os sistemas de inovação dos principais países capitalistas desenvolvidos.

Uma segunda categoria aglomera países em processo de *catching up*, caracterizados por “elevado dinamismo tecnológico, dinamismo que não é derivado de sua capacidade de geração tecnológica, mas de uma elevada capacidade de difusão, relacionada a uma forte atividade tecnológica interna, que os capacita a criativamente absorver avanços gerados nos centros mais avançados” (ALBUQUERQUE, 1996, p.58).

Por sua vez, a terceira e mais heterogênea das categorias engloba os países cujos sistemas de ciência e tecnologia não se converteram em sistemas de inovação. Seria o caso de países que “construíram uma infra-estrutura mínima de ciência e tecnologia, porém, dada a pequena dimensão dessa infra-estrutura, a sua baixa articulação com o setor produtivo, a pequena contribuição à ‘eficiência’ no desempenho econômico do país, pode-se dizer que não foi ultrapassado o patamar mínimo que caracteriza a presença de um sistema de inovação” (ALBUQUERQUE, 1996, p.58).

Em síntese, o processo evolutivo caracterizador dessa tipologia está na dinâmica dos distintos níveis de inovação tecnológica, retratado por ALBUQUERQUE (1996, p.58) nos seguintes termos: “os países da terceira categoria dependeriam fundamentalmente do acesso à tecnologia estrangeira (podendo se diferenciar quanto à capacidade de assimilá-la); os países da segunda categoria combinariam uma elevada capacidade de assimilação da tecnologia dos países líderes com uma capacidade expressiva de desenvolvimento de inovações incrementais. Já os países da primeira categoria alcançaram a capacidade de gerar inovações radicais (diferenciam-se quanto ao número e ao impacto das inovações)”.

É na terceira categoria que as extra-relações assumem maior importância. Os desenvolvimentos parciais verificados nos vértices da base do triângulo manifestam uma tendência marcada pela vinculação independente dos mesmos a triângulos científico-tecnológicos das sociedades desenvolvidas. Nesse caso, faz-se necessário recuperar um esquema analítico desenvolvido por GALVÃO (1993), no qual se estabelece, de maneira simples, mas didática, que a internalização de inovações ou o acesso às mesmas se dá sob

três formas básicas que se conjugam e se mesclam nos exemplos concretos de uma porção territorial singular ou de uma dada formação social: (1) importação de bens de capital; (2) importação de tecnologia; (3) desenvolvimento autônomo de inovações. As características centrais de cada uma delas estão apresentadas no quadro abaixo.

QUADRO 1
CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS FORMAS BÁSICAS DE
“INTERNALIZAÇÃO” DE INOVAÇÕES

IMPORTAÇÃO DE BENS DE CAPITAL	IMPORTAÇÃO DE TECNOLOGIA	GERAÇÃO AUTÔNOMA DE INOVAÇÕES
Baixa relação entre o setor produtivo e a base técnico-científica.	Relações limitadas entre o setor produtivo e a base técnico-científica.	Relações intensas entre setor produtivo e a base técnico-científica.
Não requer capacidade tecnológica.	Requer algum grau de capacidade tecnológica.	Requer plena capacidade tecnológica.
Demanda pouca qualificação dos recursos humanos.	Demanda certa qualificação dos recursos humanos.	Demanda amplo contingente de recursos humanos qualificados.
Basta operar o equipamento adquirido (baixa criatividade).	Necessita adaptar o pacote tecnológico às condições locais (média criatividade).	Plenas condições de implantação e desenvolvimento das inovações (alta criatividade).
Relações passivas com os fornecedores de tecnologia.	Relações um pouco mais ativas com os fornecedores de tecnologia.	Relações intensas com parceiros de geração de tecnologias.
Baixíssimo/quase nulo investimento em P&D e atividade correlatas.	Reduzido, mas positivo, investimento em P&D e atividades correlatas (mais ‘D’ do que ‘P’).	Alto investimento em P&D e atividades correlatas (risco e incerteza maiores).

Fonte: GALVÃO (1993)

Uma interpretação temporal permite realizar certa analogia entre o esquema proposto e as fases típicas da industrialização. Se as duas primeiras representam fases mais primitivas das relações com a tecnologia e as inovações, a última constitui o seu espaço característico por definição. Não é por acaso que boa parte da literatura sobre o tema dedica todo o espaço e atenção à última forma de internalização de inovações. Afinal, essa é a perspectiva dominante do observador situado nos países centrais.

Todo processo de industrialização retardatária tem início com a importação de máquinas e equipamentos que representam melhorias na capacidade produtiva do espaço em questão. O simples ato de produzir mais e com maior produtividade conduz a avanços no ritmo de desenvolvimento industrial. Ao mesmo tempo, essa relação passiva com a tecnologia é não só característica de uma fase mais inicial da industrialização, como também de um conjunto de setores da estrutura produtiva. São os segmentos menos

complexos e mais associados aos bens de consumo não duráveis, como têxteis, calçados, vestuário e produtos alimentares, que predominam nesta etapa. Nesses setores, definidos por PAVITT (1984) como “usuários de tecnologia”, observa-se maior estabilidade e menor radicalidade nas inovações, pois a dinâmica tecnológica reside nos setores fabricantes de máquinas para essas indústrias.

A fase subsequente caracteriza-se pelo avanço da industrialização em direção a novos compartimentos da indústria, aos setores produtores de bens intermediários, aos segmentos mais leves de bens de capital e também aos bens de consumo não-duráveis. É típica, portanto, de determinados setores e indústrias, demandando maior esforço tecnológico relativo, mesmo que seja para o simples desdobrar dos pacotes tecnológicos importados. A importação explícita de tecnologia representa, nessa fase, o traço mais típico, reclamando alguma capacidade tecnológica autóctone instalada nas empresas, em especial, nas de maior escala de produção e porte financeiro. Surgem as consultorias especializadas, que operam na abertura dos pacotes importados e no detalhamento da engenharia dos projetos. Requer-se algum apoio de institutos de pesquisa tecnológica, em particular nos setores que envolvam maior complexidade técnica. Embora mais ativas perante o desenvolvimento tecnológico, esse tipo de indústria ainda executa tarefas mais corriqueiras e de menor criatividade no contexto inovativo.

Por fim, a última etapa, característica dos “setores baseados em ciência”, reclama uma relação bem íntima entre a base técnico-científica e o setor produtivo. Não basta acessar as inovações desenvolvidas exogenamente ao espaço considerado, mas torna-se necessário ser capaz de participar do processo de geração de inovações para poder contar com uma efetiva capacidade de produção e inserção competitiva nos mercados internacionais, em segmentos como a biotecnologia, a informática, os novos materiais, a engenharia genética, a mecânica de precisão e assim por diante. Nesse caso, a competência tem que ser, na acepção precisa da palavra, técnico-científica, ou seja, não é possível uma empresa sobreviver no mercado sem demonstrar capacidade de monitorar e participar direta ou indiretamente do ativo processo de desenvolvimento de inovações relevantes. Estes setores, que conformam a ponta do desenvolvimento tecnológico presente, constituem o segmento de mais intensos embates concorrenciais.

Em síntese, a abertura do sistema dá aos países a possibilidade de substituir sua base técnico-científica interna pela de outros países, importando os resultados das atividades científicas e tecnológicas via movimento de mercadorias, capitais e do próprio conhecimento codificado. Possibilidade essa especialmente atraente para aqueles países

cuja infra-estrutura científico-tecnológica é pouco desenvolvida e cujas metas de acumulação rápida fazem com que os recursos destinados à construção dessa infra-estrutura tenham um alto custo de oportunidade.

II. 3) A CONFIGURAÇÃO DO TRIÂNGULO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO BRASILEIRO: 1951/75

“O Brasil é (...) uma formação social bastante heterogênea e desigual, tem a mais perversa estrutura de distribuição de renda do mundo, com um mercado interno excludente e restrito, paraíso de privilégios e ausência de direitos sociais básicos, resultando daí que a hegemonia política e cultural seja exercida de modo elitista e anti-popular, impedindo a construção de um ethos nacional-popular, exigindo por isso mesmo um Estado anti-democrático, produzindo, assim, um desenvolvimento econômico limitado em sua capacidade de alterar a condição periférica de nossa economia. Nesse contexto, a ciência e a tecnologia desenvolvidas no país não são capazes de garantir um amplo e sustentado processo de acumulação, nem de responder aos interesses básicos da reprodução social”.

João Antônio de Paula
Limites do Desenvolvimento Científico e Tecnológico no Brasil (1999)

Ao conceberem como um “processo político consciente” a “ação de inserir a ciência e a tecnologia na trama do desenvolvimento”, SABATO & BOTANA (1968) converteram o Estado no promotor mais importante do processo de inovação, capaz de estabelecer metas e delinear estratégias visando acoplar a infra-estrutura científico-tecnológica à estrutura produtiva. Por conseguinte, torna-se implícita a idéia de planejamento na configuração do triângulo científico-tecnológico.

No Brasil, entre 1956 e 1960, o desenvolvimento industrial passou a ser prioritariamente promovido por uma política deliberada de industrialização. Nos primeiros dias de seu mandato, Juscelino Kubitschek instituiu o Conselho de Desenvolvimento Econômico – o órgão responsável pela formulação da “mais sólida decisão consciente em prol da industrialização na história econômica do país”: o Plano de Metas (LESSA, 1981, p.27).

Momento em que se incorporava à retórica oficial do governo a ideologia desenvolvimentista – a ideologia de transformação da sociedade brasileira definida pelo projeto econômico composto dos seguintes pontos fundamentais: “(a) a industrialização integral é a via de superação da pobreza e do subdesenvolvimento brasileiro; (b) não há

meios de alcançar uma industrialização eficiente e racional no Brasil através das forças espontâneas de mercado; por isso, é necessário que o Estado a planeje; (c) o planejamento deve definir a expansão desejada dos setores econômicos e os instrumentos de promoção dessa expansão; e (d) o Estado deve ordenar também a execução da expansão, captando e orientando recursos financeiros, e promovendo investimentos diretos naqueles setores em que a iniciativa privada seja ineficiente” (BIELSCHOWSKY, 1996, p.7).

Sob o impulso do Plano de Metas, a industrialização brasileira sofreu profundas modificações estruturais, sendo atribuída prioridade absoluta à construção dos estágios superiores da pirâmide industrial verticalmente integrada e do capital básico de apoio a essa estrutura. De meados dos anos 50 ao início dos anos 60, foram instaladas no país as indústrias automobilística, de construção naval, material elétrico pesado, de máquinas e equipamentos, permitindo uma significativa ampliação do setor de bens de capital. No mesmo período, passaram por significativa expansão as indústrias básicas como a siderúrgica, a de metais não-ferrosos, química pesada, petróleo, papel e celulose. Com relação à participação direta do Estado, merece destaque a ampliação da Companhia Siderúrgica Nacional, bem como a criação de mais três companhias produtoras de aço. Ademais, expandiram-se consideravelmente a Petrobrás e o setor estatal de produção de energia elétrica, organizando-se, no início dos anos 60, a Eletrobrás, holding do setor hidroelétrico (SERRA, 1998).

Contribuíram para os avanços acima mencionados as bases instrumentais herdadas do Governo Vargas (1951-54), no qual ocorreu “a primeira aproximação à política de desenvolvimento” (LESSA, 1981). Foram tomadas, durante esse período, três iniciativas governamentais que viriam a ser de vital importância para o salto industrial posterior: (1) “a Instrução 70 da SUMOC, que disciplinava a alocação de importações de forma mais racional e definida em função dos interesses industriais. Além disso, mediante o leilão de divisas, passou a representar uma fonte fundamental de recursos para o Estado”; (2) “a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDE), com a função primordial de apoiar a ampliação da infra-estrutura de transportes e energia”; (3) “a Instrução 113 da SUMOC, que permitia às empresas estrangeiras sediadas no país importarem máquinas e equipamentos sem cobertura cambial, sempre que as autoridades governamentais estimarem ‘conveniente para o desenvolvimento do país’” (SERRA, 1998, p.88).

Com relação à ciência e à tecnologia, as diretrizes de política econômica contidas no Plano de Metas, principalmente as relativas ao capital estrangeiro e à importação de bens de capital, consubstanciadas nas Instruções 113 e 70 da SUMOC, traziam implícitas

soluções para o suprimento da tecnologia requerida pela etapa de industrialização que se propunha inaugurar. O tratamento liberal e os incentivos concedidos ao capital estrangeiro, ao induzirem a implantação no país de filiais de empresas de economias já industrializadas, geraram efeitos de duas naturezas. De um lado, “criaram um canal de transferência de conhecimentos técnicos para o país, como decorrência da necessidade de que a matriz suprisse a subsidiária da tecnologia requerida para sua instalação e operação”. De outro, “afetavam favoravelmente a capacidade nacional de importar bens de capital, seja pelo aporte de divisas propiciado pela inversão externa, seja pelo ingresso de máquinas e equipamentos como parte do mesmo investimento estrangeiro” (GUIMARÃES & FORD, 1975, p.393).

Em síntese, o Plano de Metas caracterizou-se pela escolha de um objetivo central: responder às exigências tecnológicas do sistema produtivo, acelerando a incorporação e a difusão de inovações no âmbito desse sistema, mas indiferente à opção entre produção interna e importação de tecnologia. Por conseguinte, o Governo Kubitschek optou, implicitamente, no que concerne à política científica e tecnológica, pelo que GUIMARÃES & FORD (1975) classificou de “política de resposta”.

O desenvolvimento científico e tecnológico não foi, pois, uma meta específica do referido governo. Apesar de sua incursão no campo da energia nuclear, o Plano de Metas atribuiu à infra-estrutura científico-tecnológica a tarefa de ministrar um ensino meramente profissionalizante, voltado para a formação de quadros técnicos necessários à **operação** da estrutura produtiva industrial em processo de expansão e diversificação (FERREIRA, 1983).

Uma das características historicamente enraizadas da estrutura social brasileira, a carência de “recursos humanos qualificados” era então vista pelo Governo Kubitschek como um “ponto de estrangulamento” que poderia prejudicar a meta geral de expansão econômica. Entretanto, nada se fez para sanar o problema da má distribuição de renda, ocupando posição de reduzido destaque as inversões e gastos sociais (LESSA, 1981). Em 1950, a taxa de analfabetismo assumia a calamitosa marca de 56,6%.

Institucionalizada em 1951, por meio da criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), a “ciência nacional” permaneceu desvinculada das necessidades tecnológicas do sistema produtivo no decorrer dos anos 50. Os reflexos da “política de resposta” adotada pelo Plano de Metas se manifestaram de dois modos sobre o CNPq, evidenciados por FERREIRA (1983, p.80) nos seguintes termos:

“Em primeiro lugar, o rebaixamento de seu poder político, a tal ponto que não desempenha qualquer papel na estruturação e execução do Programa de Metas mesmo que confinado ao aspecto tecnológico, em contraste com a situação vivida no Governo Vargas, quando o seu presidente tinha acesso direto ao Presidente da República, preocupava-se com a formação de quadros qualificados para a pesquisa e se dedicava à montagem de um programa de pesquisa e desenvolvimento autônomo para a utilização da energia nuclear. O outro efeito que também reflete o nível de prioridade atribuído à pesquisa, diz respeito à perda de substância do CNPq, caracterizada pelo forte declínio dos recursos atribuídos ao conselho, que se mede por sua proporção relativamente ao orçamento da União, que se reduz em mais da metade entre 1956 e 1961”.

Os dados fornecidos por LEITE LOPES (1964) demonstram o estado de penúria pelo qual passou o CNPq no decorrer do “êxtase desenvolvimentista”: de 1956 a 1960, a dotação orçamentária do CNPq decresceu de 0,28% do orçamento da União para 0,09%, e o número de bolsistas enviados ao exterior passou de 86 para 26. Ademais, durante essa fase ocorreu uma intensa emigração de cientistas e técnicos de qualificação superior para outros países, principalmente para os Estados Unidos. Segundo pesquisa realizada pelo Instituto de Ciências Sociais da UFRJ, em colaboração com a Academia Brasileira de Ciências, entre 1950 e 1965, teriam emigrado 261 pesquisadores oriundos de 152 institutos nacionais. Os motivos teriam sido as más condições de trabalho (13,6%), a falta de compensação financeira (32,5%), a incompatibilidade com a direção (7%), questões ideológicas (4,7%) e o desejo de ampliação dos horizontes profissionais (39,5%) (MOREL, 1979).

Embora a estrutura industrial ainda apresentasse algumas desconexões, “em termos qualitativos, o Brasil abre a década de 60 com um perfil industrial de economia madura” (LESSA, 1981, p.85). Uma nova fase da política econômica brasileira teve início nos primeiros anos da década de 60, caracterizada pelo deslocamento do núcleo de preocupações do desenvolvimento industrial para a atenuação da alta de preços. Os problemas de curto-prazo tornaram-se prioritários, postergando para outras circunstâncias a inclusão da ciência e da tecnologia no planejamento econômico. Apesar de sua execução ter sido impedida pela crise política vigente na época, o Plano Trienal, embora sem considerar o desenvolvimento científico e tecnológico como um objetivo explícito, inova, entretanto, ao dar destaque a metas importantes, sob esse aspecto, nos capítulos dedicados à educação, agricultura e energia nuclear (GUIMARÃES & FORD, 1975).

O novo regime político instaurado em 1964 buscou legitimar-se através da ideologia cuja ênfase residia no planejamento, na subordinação do poder ao saber e no

mito da eficiência. Tratava-se, segundo IANNI (1981), de substituir o “político” pelo “técnico”, a “demagogia” pela “ciência”, o “carisma” pela “eficiência”. A ideologia nacional-desenvolvimentista gerada e difundida pelo aparato estatal pós-1964 opunha-se ao nacional-desenvolvimentismo que integrava o pacto populista. Este, como observado por MOREL (1979), seria identificado como emocional e irracional. O “novo” nacionalismo possuía um matiz mais técnico, atuando, de um lado, como elemento de desmobilização política da sociedade civil e, de outro, como fundamento das medidas estatais de estabilidade política e crescimento econômico. Dentro de um quadro de baixa informação política e de consenso limitado, os planos foram definidos por grupos restritos de técnicos e políticos, de forma elitista e antipopular, embora com a aceitação generalizada, no plano ideológico, quanto à necessidade do fortalecimento da nação.

Todo um esforço de modernização e racionalização do aparato estatal foi empreendido pelos governos pós-1964. A partir de então, a ênfase dada às realizações científicas e tecnológicas torna-se coerente com a tentativa de projetar uma imagem de nação moderna, potência emergente, legitimando, assim, o regime, interna e internacionalmente. Além de suas funções políticas, o desenvolvimento científico e tecnológico encontrou respaldo no processo de desenvolvimento econômico.

O envolvimento do principal banco de investimento brasileiro no campo da ciência e da tecnologia é a característica de maior relevo desse novo período. Através da análise dos resultados do Plano de Metas, os técnicos do BNDE extraíram duas conclusões essenciais:

“(1) O crescimento futuro da economia nacional estaria basicamente determinado por sua capacidade de absorver inovações tecnológicas. O novo núcleo dinâmico da economia distinguia-se por elevada densidade tecnológica e requereria, para sua expansão, um fluxo continuado de inovações; e que (2) a expansão do sistema industrial, em situação de menor dependência, demandaria uma participação ativa da **empresa nacional**, tanto na geração quanto na absorção de tecnologias provenientes do exterior, o que significaria, por outro lado, contar com o apoio de uma infra-estrutura científico-tecnológica que prepararia o pessoal técnico habilitado à pesquisa e desenvolvimento, como ainda prepararia os serviços tecnológicos e laboratoriais que viesse a requerer. E, além disso, com o apoio financeiro, e de outros tipos, a viabilizar a sua participação em projetos de risco, como a pesquisa” (FERREIRA, 1983, p.88).

Ademais, alegavam que o valor da tecnologia importada onerava cada vez mais o balanço de pagamentos, com as despesas maciças em *know-how*, assistência técnica e aluguel de marcas e/ou patentes. A partir dessas conclusões, decidiu-se que o BNDE examinaria a sua possível contribuição à montagem da infra-estrutura científico-

tecnológica e ao engajamento da empresa nacional no processo de desenvolvimento tecnológico. Aproximaram-se dos técnicos do BNDE cientistas e professores militares que há muito tempo reivindicavam um instrumento vigoroso de apoio à ciência e à tecnologia que complementasse o esforço até então isolado do CNPq, além daquele realizado pela Campanha de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), vinculada ao Ministério da Educação e Cultura.

Desse trabalho em conjunto resulta, em 1964, a proposta de instituir no BNDE o Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (FUNTEC), “que se converte nos 12 anos seguintes no mais poderoso e eficaz mecanismo de financiamento da formação de pesquisadores e de profissionais de alta qualificação, via instalação e manutenção de cursos de pós-graduação, de projetos de pesquisas científicas e tecnológicas e da infraestrutura laboratorial correspondente; da implantação de serviços tecnológicos, atuando, assim, pelo lado da oferta. Do lado da demanda, busca interessar a empresa nacional nas atividades de pesquisa e desenvolvimento, oferecendo colaboração financeira em condições compatíveis com os riscos da pesquisa, e mais, o apoio junto à universidade e institutos especializados para a obtenção eventual de colaboração técnica” (FERREIRA, 1983, p.89).

Ainda nesse mesmo ano, foi formalizada a união entre esses dois entes públicos, com a reforma da legislação orgânica do CNPq, passando o BNDE a ocupar a condição de membro nato do seu mais alto órgão decisório, o conselho deliberativo. Pela lei nº 4.533 de 8 de dezembro de 1964, o CNPq amplia sua área de competência, passando a formular a política científica e tecnológica nacional mediante programas periodicamente revistos, articulando-se com ministérios e órgãos do governo nas questões científicas e tecnológicas. Ademais, assume o dever de: incentivar as pesquisas, visando o aproveitamento das riquezas potenciais do país, sobretudo as que podem contribuir para a economia, a saúde e o bem-estar; incentivar e auxiliar financeiramente a realização de pesquisas em universidades e institutos; colaborar com as indústrias, fornecendo assistência técnico-científica (MOREL, 1979).

Todas essas iniciativas governamentais confluíram para o que veio a ser o “divisor de águas” na história da política científica e tecnológica no Brasil – o Programa Estratégico de Desenvolvimento 1968-70 (PED). Em 1968, o PED define, pela primeira vez, ao nível do governo federal, uma política explícita de ciência e tecnologia com objetivos e um programa de ação que seriam, em boa medida, mantidos nos planos posteriores. Até então, “o padrão de acumulação de capital no Brasil, as características de seu sistema político e a

forma de inserção do país no sistema internacional não propunham ao Estado razões econômicas e políticas suficientes e necessárias a uma maior intervenção na área de ciência e tecnologia, a não ser em casos específicos de alcance limitado”, cujo exemplo clássico reside na política nuclear (ERBER, 1980, p.52).

Diante do fracasso da estratégia de desenvolvimento do Governo Castelo Branco, baseada na tese do combate à inflação como chave para deslindar o enigma do atraso econômico, o discurso oficial opera uma notável transformação retórica, uma autêntica “inovação ideológica”: materializa-se no PED a prioridade estratégica do desenvolvimento científico e tecnológico. De acordo com o referido programa, o fator determinante da desaceleração do ritmo de crescimento residia no esgotamento do processo de substituição de importações, que deveria ser complementado por uma “substituição de tecnologia”, visto que “a tecnologia importada nem sempre é adequada a constelações de fatores do país importador” e que a própria absorção de tecnologia requer, à medida que a indústria se integra, pesquisas e desenvolvimentos locais” (BRASIL, 1968, p.4).

Nesse sentido, conforme ressaltado pelo PED:

“A substituição de importações de produtos industriais, na forma do intenso processo desenvolvido no pós-guerra, não é suficiente para assegurar um desenvolvimento auto-sustentável, devido particularmente às suas implicações no tocante à criação de mercado e à adequação da tecnologia instalada. Será preciso complementa-la através da substituição de tecnologia, tomada esta, racionalmente, no sentido de adaptação de tecnologia importada e gradual criação de um processo autônomo de avanço tecnológico. Será difícil encontrar experiência de algum país em que o crescimento rápido e auto-sustentado não tenha sido apoiado num processo interno de desenvolvimento tecnológico” (BRASIL, 1968, p.8).

Ou seja, em 1968, pelo PED, diz-se oficialmente que:

“a) O padrão de industrialização anterior é inadequado, por não garantir o desenvolvimento auto-sustentado indispensável para a superação do atraso econômico da nação; b) a industrialização anterior foi inadequada, porque não gerou amplo mercado interno (de massa) nem internalizou a tecnologia adequada; c) faltou algo ao padrão anterior. Faltou um processo interno de desenvolvimento tecnológico, fator que agregado à industrialização constitui a receita historicamente comprovada para o crescimento rápido e auto-sustentado; d) logo, a Nação deverá complementar a política de fomento à industrialização mediante uma política de substituição de tecnologia que atue em duas frentes: adaptação da tecnologia importada e gradual constituição de um processo autônomo de avanço tecnológico” (LESSA, 1988, p.59).

Renovar a fé – este foi o sentido principal, na visão de LESSA (1988), da descoberta da tecnologia pela Retórica Oficial. A garantia de longo prazo de viabilidade da nação – o crescimento rápido e auto-sustentado – advém de algo até então desconsiderado: a produção interna de tecnologia. No intuito de se alcançar essa finalidade suprema, foram tomadas, no governo Costa e Silva, importantes medidas visando a “racionalizar” e tornar mais “eficientes” a formação de recursos humanos e o desempenho do sistema nacional de ciência e tecnologia: a reforma universitária, o tempo integral, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Iniciativas importantes que, aliás, atenderam a antigas reivindicações da comunidade científica (MOREL, 1979).

Ao mesmo tempo em que eram tomadas essas medidas, o governo brasileiro seguia uma série de políticas que contradiziam a orientação da política científica e tecnológica. A produção científica do país foi sensivelmente prejudicada pelo afastamento compulsório de inúmeros cientistas e pesquisadores e pelas restrições impostas à atividade de outros por razões de caráter político e ideológico. O caráter deletério de tais medidas repressivas não somente afetaram os indivíduos antigos, mas provavelmente tiveram importantes efeitos de encadeamento, dado o caráter coletivo do trabalho científico e o papel de liderança intelectual que os atingidos com frequência exerciam em uma comunidade que já não era grande.

Na área tecnológica, enquanto a política explícita postulava a busca de maior autonomia tecnológica como elemento de reforço da capacidade de competição da empresa nacional, as demais políticas econômicas “tinham como efeito aumentar a importância da tecnologia vinda do exterior, embutida em bens de capital ou sob a forma de acordos, quer pelo estímulo à entrada de capitais estrangeiros, quer pelo estímulo aos empresários nacionais a usar tecnologia importada como elemento de expansão da competição, entre si e com seus concorrentes estrangeiros” (ERBER, 1980, p.65).

Enquanto no PED a maior capacitação científica e tecnológica tinha por objetivo o desenvolvimento de tecnologias mais ajustadas à dotação de fatores de produção do país, de modo a assegurar maior absorção de mão-de-obra e criar um mercado de massas para garantir um crescimento auto-sustentado, nos planos posteriores (I e II PND) a ênfase recaí sobre o fortalecimento da empresa nacional (GUIMARÃES & FORD, 1975). Na década de 70, cada vez mais é submersa aquela preocupação inicial do PED com as tecnologias *labor intensive* e enfatizada como diretriz para uma política científica e tecnológica a busca das tecnologias de ponta – energia nuclear, pesquisa espacial, oceanografia, petroquímica,

eletrônica, computação, aeronáutica, etc., acoplada à idéia de fortalecimento da empresa nacional.

De acordo com a estratégia de desenvolvimento do II PND, torna-se impossível a construção da grande empresa nacional em posição competitiva se não for internalizada a produção científica e tecnológica. O fortalecimento do capital privado nacional nada mais é que o primeiro momento de uma estratégia que aponta a Nação-Potência.

Segundo LESSA (1988, p.53):

“A colocação das indústrias básicas como setor líder da industrialização; o fortalecimento da grande empresa nacional restabelecendo o ‘equilíbrio’ da organização industrial; e o aprofundamento das relações externas com as retificações necessárias para aumentar o ‘grau de independência da economia nacional com relação a fatores externos, no quadro de uma política mundial interdependente, em suas articulações recíprocas compõem o projeto de Nação-Potência. Este projeto guarda grande semelhança com o projeto nacional desenvolvimentista da década de cinquenta e, em parte, apresenta conotações ideológicas assemelhadas”.

Mas o que diferencia a nova “Estratégia do Regime” de indesejáveis identificações com proposições pré-1964 é a prioridade atribuída ao desenvolvimento científico e tecnológico. Tornou-se nítido o fascínio dos construtores sociais brasileiros pelo Japão como paradigma a ser internamente reproduzido. Por um país caracterizado pela grande empresa nacional, pela internalização do desenvolvimento científico e tecnológico e pelas qualidades admiráveis de seu “fator humano”, capazes de superar as restrições naturais a ele impostas. Seguindo o método comparativo, buscou-se a solução para o problema nacional, para o problema do subdesenvolvimento, mediante contraste com o paradigma exitoso para extrair por diferença o fator carente a ser passivamente suprido. Com o paradigma Japão e com a ferramenta do planejamento econômico, projetaram-se como fatores carentes obtidos por comparação: o grande grupo nacional, o desenvolvimento científico e tecnológico e o fato humano.

Mas como os paradigmas transmutam-se no tempo e no espaço, será que após os fatores carentes serem supridos, sairemos da condição periférica ou permaneceremos na mesma condição, porém metamorfoseada? Indo além: será que os próprios fatores carentes podem ser supridos dentro dos óbices estruturais do sistema capitalista?

PARTE III

ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR NO BRASIL

III. 1) A NACIONALIZAÇÃO DO ÁTOMO

“Álvaro Alberto vivia intensamente esse processo histórico singular e complexo do pós-guerra. Cientista, maravilhava-se com a magia apocalíptica do fenômeno atômico e nuclear. Militar, preocupava-se com o significado da bomba e da energia atômica como elementos básicos da segurança nacional. Nacionalista, via na nova forma de energia e nas suas matérias-primas uma caminho para a saída do subdesenvolvimento crônico da sua pátria. Destarte, ele alimentava fundadas esperanças de ver o Brasil no rol das potências na nova era em instalação, a era atômica, pois possuía o tório, um combustível nuclear”.

Shozo Motoyama
Álvaro Alberto e a Energia Atômica (1996)

Indubitavelmente, nos primórdios do processo de atualização histórica no campo da tecnologia nuclear no Brasil, a figura singular do Almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva foi a que mais se destacou. No decênio que se seguiu ao término da Segunda Guerra Mundial, coube a ele a articulação e execução de uma política nacional cujo objetivo último seria o pleno domínio da energia atômica.

Em 1946, nomeado representante brasileiro na recém-criada Comissão de Energia Atômica da ONU (CEA-ONU), Álvaro Alberto participou dos tensos debates sobre o controle internacional da utilização da energia do átomo. Opondo-se com veemência à expropriação de todas as minas de urânio do mundo em favor da Autoridade de Desenvolvimento Atômico, medida então idealizada pelo Plano Baruch, Álvaro Alberto não contou com o apoio de outras nações detentoras de minerais físséis (Canadá, Congo Belga, Índia), que se contentavam apenas com as compensações monetárias advindas da venda de suas riquezas atômicas.

Sendo o Brasil um dos poucos fornecedores de minérios atômicos estratégicos, o Almirante estava convicto de que o princípio norteador de suas relações exteriores deveria ser o das “compensações específicas” – os minérios só seriam concedidos em troca da tecnologia indispensável à sua utilização. Foi durante essa missão na CEA-ONU que suas idéias fundamentais acerca da política nuclear brasileira foram gestadas e moldadas, estando apoiadas no tripé nacionalismo, monopólio estatal e compensações específicas (MOTOYAMA, 1996).

Diante da posição periférica do Brasil na hierarquia internacional de poder, convém questionar as razões que propiciaram a sua representatividade no referido “Clube Atômico”, além daquelas relacionadas aos minerais estratégicos. A esse respeito, LEITE LOPES (1978) alegou que a física brasileira possuía algum prestígio no cenário internacional da época, sendo este um dos principais motivos que asseguraram ao governo brasileiro a posição por ele ocupada nos organismos internacionais de energia atômica.

Assim como uma das muitas atividades culturais, a física nuclear foi transplantada artificialmente para o Brasil em 1934, com a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Reflexo do regime fascista na Itália, a “fuga de cérebros” trouxe ao Brasil o professor Gleb Wataghin, procedente da Universidade de Turim, cuja presença nessa instituição recém-criada desempenhou um importantíssimo papel histórico no desenvolvimento da física brasileira. Além de ter criado em torno de si uma escola, trouxe consigo uma nova mentalidade (GOLDEMBERG, 1977). De acordo com SCHWARTZMAN (1979, p.253), “a proximidade de Wataghin, ainda que como iniciante, do grupo de cientistas que lançava, naquela época, as bases da física atômica, seria fundamental para o sucesso de seu trabalho posterior no Brasil. Sua vinda para o Brasil se explica, entre outras coisas, pelo fato de que suas perspectivas de carreira, na Itália, não pareciam promissoras; pelo fato de que o contrato inicial era de somente seis meses, e porque o salário inicial era compensador”.

Ao chegar em São Paulo, Wataghin empenhou-se em introduzir o campo no qual já havia trabalhado há algum tempo, o de raios cósmicos. “A escolha não poderia ter sido mais feliz, porquanto além de estar na vanguarda, na época, esse campo não requeria grandes somas para a realização de trabalhos experimentais. Tinha também a vantagem adicional de ser um domínio para onde confluíam outros, como a Física Nuclear, a Física de Partículas Elementares, a Astrofísica etc., facilitando a progressão ulterior para essas áreas” (MOTOYAMA, 1979, p.74).

Com a ajuda de Mário Schenberg, Abraão de Moraes, Walter Schützer e outros, Wataghin obteve êxito em implementar a física teórica na USP. Em particular, deve-se destacar os trabalhos de Schenberg, cuja obra vasta e profunda, reconhecida internacionalmente, abrangendo a teoria das partículas elementares, a física dos raios cósmicos, a eletrodinâmica, a teoria da relatividade, a teoria geral dos campos, a mecânica quântica etc., está por merecer análises e desdobramentos futuros.

No campo da astrofísica, em 1941, Schenberg e George Gamow elaboraram um trabalho que viria a se tornar um referencial científico – o chamado Processo Urca⁵ - que explicava a expansão e explosão das estrelas supernovas. As proposições a que os dois cientistas chegaram se basearam na ação de partículas elementares ainda não detectadas experimentalmente, os neutrinos. Por essa razão, o trabalho foi hostilizado e depreciado pelos especialistas em astrofísica da época, só recebendo o reconhecimento da comunidade científica duas décadas depois, quando a existência do neutrino foi comprovada.

Bem mais duradoura foi sua parceria com o cientista indiano Chandra Sekhar, ao longo de 1941, no Observatório Astronômico de Yerkes, em Chicago. Ali, Schenberg e Sekhar produziram uma teoria conjunta sobre o que aconteceria quando o hidrogênio acabasse no centro do sol. Estabeleceram assim o chamado “Limite de Sekhar-Schenberg”, outra contribuição seminal à astrofísica.

A partir de 1938, com o auxílio de Giuseppe Occhialini, Gleb Wataghin conseguiu formar uma equipe de jovens e talentosos físicos experimentais, composta por Marcello Damy de Sousa Santos, Paulus Aulus Pompéia, Oscar Sala, Yolande Monteux, César Lattes entre outros. “Wataghin e Occhialini, mesmo distantes dos centros produtores de ciência, não cortaram os vínculos com a elite européia e americana da física da qual faziam parte. A interlocução contínua possibilitou o acesso de brasileiros a laboratórios estrangeiros e, também, a formação de pesquisadores independentes e altamente qualificados. Na Universidade de São Paulo se fazia ciência de alcance internacional, mesmo estando instalada em um país de periferia” (ANDRADE, 1999, p.25).

Dentre os trabalhos em raios cósmicos dessa equipe destacam-se: o estudo sobre componente ultramolde (1941); sobre a influência de um eclipse solar na intensidade (1940); a descoberta dos *showers* penetrantes (1940), principalmente esse último, de grande destaque na literatura internacional. Segundo MOTOYAMA (1979, p.75), “a maturidade alcançada nesse campo pôde ser constatada no Simpósio Internacional sobre Raios Cósmicos, realizado em 1941 no Rio de Janeiro, quando os nossos trabalhos nada ficaram a dever aos da delegação norte-americana sob a chefia de A. M. Compton Prêmio Nobel”.

Mas o grande triunfo da física brasileira no domínio experimental da radiação cósmica e da física de partículas elementares foi a descoberta do Méson- π por Lattes,

⁵ Vale uma explicação bem-humorada: foi Gamow que batizou o estudo de Processo Urca, dizendo que, com a emissão de neutrinos, as estrelas perdiam energia de modo tão rápido quanto se perdia dinheiro nas roletas do Cassino da Urca, no Rio de Janeiro (SCHENBERG, 1977).

Occhialini e Powell (1947), ao analisarem as emulsões nucleares expostas à altitude de 5600 metros nos Andes bolivianos. Logo em seguida, em 1948, Lattes, com a colaboração de Gardner, realizou a façanha de produzir artificialmente o Méson- π no ciclotron do *Radiation Laboratory* de Berkeley. O meio experimental, ao promover o encontro entre Lattes e os mésons, fez da descoberta dessa partícula um acontecimento histórico. Parceiros de uma nova história, Lattes & Méson- π tornaram-se capazes de arregimentar forças antes dispersas pela sociedade brasileira em prol da institucionalização da ciência.

Época em que os efeitos místicos da bomba atômica repercutiam no imaginário coletivo, fortalecendo a crença na capacidade criadora quase ilimitada dos cientistas. Depois das novas leis da física e da constatação de ser possível a aplicação quase imediata dessa ciência, as pesquisas realizadas nessa área ficaram associadas ao mundo das inovações tecnológicas e a tudo o que, genericamente, era denominado de progresso. Ademais, o átomo, imbuído de um espírito desenvolvimentista, seria capaz de impulsionar todo e qualquer processo de industrialização com o seu potencial energético.

Em 1948, influenciados por essa atmosfera, antigos e futuros presidentes da república, políticos e empresários se misturaram a professores e militares para financiar o instituto de pesquisas básicas idealizado por César Lattes e Leite Lopes – o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) – começando a tecer, juntos, a primeira rede tecnocientífica brasileira voltada para o desenvolvimento das ciências nucleares e suas aplicações. “O projeto de criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas no Rio de Janeiro teve apoio porque o retorno de Lattes coincidiu com a efervescência do pensamento industrializante, que nem mesmo o liberalismo econômico inicial do governo Dutra conseguiu imobilizar. As possibilidades de aplicação da ciência interessavam aos desenvolvimentistas do setor público e do setor privado de ambos os matizes, apesar de as dificuldades de financiamento da ciência estarem longe de ser vencidas” (ANDRADE, 1999, p.94).

Entre esses atores sociais existia a expectativa infundada de que os princípios teóricos da física nuclear seriam imediatamente aplicados na produção de energia atômica no país. COSTA RIBEIRO (1956, p.22) esclareceu esse equívoco nos seguintes termos:

“Em linhas gerais podemos dizer que a Física Nuclear é um capítulo da ciência, da investigação pura, da pesquisa desinteressada, ao passo que o domínio da Energia Atômica é um ramo da tecnologia, da engenharia, da ciência aplicada, utilizando para fins práticos os mais variados conhecimentos e técnicas e envolvendo mesmo, como observa Oppenheimer, muito maior número de problemas da engenharia química e da tecnologia de que de física nuclear. É claro que não existe sempre uma linha divisória nítida, pois em certos casos especiais o objeto da investigação é o

mesmo, o que difere é apenas o espírito com que é feita a pesquisa ou a finalidade a que ela se destina”.

Conseqüentemente, “a noção de que o ‘físico atômico’ é alguém que trabalha competentemente tanto em pesquisa de ponta sobre a estrutura do átomo quanto no desenvolvimento de sistemas energéticos para fins aplicados é demasiado simplificada e errônea” (SCHWARTZMAN, 1979, p.305). Com efeito, desenvolver a tecnologia indispensável à produção de energia atômica significa não apenas impulsionar um conjunto de atividades ligadas à produção e aplicação do conhecimento científico, como também desenvolver indústrias de interesse nacional, tais como a eletrônica e a mecânica.

O mito que assim se formou em torno da atividade científica – nutrido no Brasil com a descoberta do Méson- π por Lattes – foi o que assegurou a estabilidade da rede de atores que, visando a produção de energia atômica, mantinha o CBPF. Entretanto, o “mecenato científico” se mostrou efêmero e raro e a tão esperada participação da iniciativa privada no financiamento da ciência foi substituída pela participação do Estado, devido à rápida ação dos representantes da comunidade científica e dos militares. Com acesso a vários escalões do governo, eles persuadiram especialmente os parlamentares, acentuando o papel da ciência nos países desenvolvidos e a capacidade dos cientistas para vencer o subdesenvolvimento nos países periféricos. Sofismas eram assim utilizados na legitimação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) a ser criado. Portanto, cientistas e militares acreditavam que a tecnologia nuclear poderia ser utilizada como argumento irrefutável para a implementação de uma infra-estrutura científico-tecnológica, sem a qual nenhuma atualização tecnológica poderia ser feita.

Acrescente-se que a criação do CNPq não pode ser dissociada do debate acerca da segurança nacional e do clima de nacionalismo que dominavam a sociedade brasileira na segunda metade da década de quarenta. Em 1948, de regresso ao Brasil após ter cumprido sua missão na CEA-ONU, Álvaro Alberto e sua fé inabalável no princípio das compensações específicas se incorporaram à luta dos desenvolvimentistas nacionalistas em defesa do petróleo e dos minerais estratégicos.

A partir de sua participação na referida comissão, Álvaro Alberto apresentou ao presidente Dutra, em 25 de novembro de 1947, relatório no qual constavam as bases de um programa de nacionalização do átomo, sintetizadas nos seguintes termos:

“Nacionalização de todas as minas de material aproveitável na energia atômica, que é especialmente o tório e o urânio; a intensificação imediata das atividades científicas e técnicas e a montagem de centros de cultura e pesquisa especializada; a

formação e aperfeiçoamento de técnicos nos grandes centros estrangeiros; a fundação do Conselho Nacional de pesquisas, para fomentar e coordenar as atividades científicas e técnicas; a escolha de pessoal idôneo a ser imediatamente encaminhado ao estrangeiro para aperfeiçoamento e outras funções; a instituição de uma Comissão Nacional de Energia Atômica, nos moldes do projeto elaborado e entregue ao Ministério das Relações Exteriores” (NAGAMINI, 1996, p.108).

Embora considerasse de fundamental importância a organização desses dois órgãos – da Comissão Nacional de Energia Atômica e do Conselho Nacional de Pesquisas – Álvaro Alberto se defrontou com a oposição de Dutra, que optava pela criação de apenas um, a do CNPq, pois, ao seu ver, era a solução mais econômica e, para começar, a mais criteriosa. Além disso, argumentava que o país ainda não possuía, em suma, todas as condições necessárias para se construir, isoladamente, uma Comissão de Energia Atômica (CEA) sem um CNPq. Diante da primazia do CNPq sobre a CEA então instituída por Dutra, coube a Álvaro Alberto a presidência da comissão composta de 23 notáveis (Quadro 2), responsável pela elaboração do anteprojeto de lei propondo a criação do CNPq. No entender da Comissão:

“A criação do novo órgão corresponde à urgente imperativa da nossa evolução histórica, que terá no Brasil o mesmo salutar efeito verificado em outros países, contribuindo, decisivamente – se lhe não faltarem os indispensáveis recursos – para o aproveitamento das riquezas potenciais, o alevantamento do padrão de vida das populações e o fortalecimento da integridade da Pátria Brasileira, ao mesmo tempo que virá realçar nossa contribuição para o bem estar humano. Todos os países vanguardeiros da civilização procuram dar o máximo desenvolvimento à cultura, incrementando a ciência, a técnica e a indústria, como bases de seu progresso e de seu prestígio. Para comprova-lo bastaria um simples realce de olhos sobre o que se tem registrado mormente sob o aguilhão da guerra em todas as épocas e em todas as Nações cultas” (SILVA *et alli*, 2000, p.184).

Implícita está, nessa declaração, a idéia de ciência como panacéia universal capaz de sanar todos os problemas do subdesenvolvimento sem a necessidade de promover profundas modificações estruturais no sistema capitalista. Desse modo, institucionalizava-se a falsa expectativa de que os mecanismos de planificação da ciência elaborados pelos países centrais e copiados pelos periféricos produziram os mesmos efeitos, independente do tecido social no qual fossem aplicados.

QUADRO 2
COMISSÃO REDATORA DO ANTEPROJETO DO CNPq - 1949

Nomes	Status Profissional e Vínculos em 1949
Adalberto Menezes de Oliveira	Almirante, professor Escola Naval, sócio da Academia Brasileira de Ciências (ABC), fundador do CBPF.
Álvaro Alberto da Mota e Silva	Contra-almirante, professor Escola Naval, industrial, vice-presidente CBPF, presidente ABC.
Álvaro Osório de Almeida	Biólogo, professor Faculdade Nacional de Medicina, sócio ABC.
Armando Dubois Ferreira	Coronel, comandante da Escola Técnica do Exército, fundador e membro Conselho Deliberativo CBPF.
Arthur Moses	Biólogo, presidente ABC (1933-35; 1941-49; 1951-65), fundador e membro Conselho Deliberativo CBPF.
Carlos Chagas Filho	Biofísico, diretor Instituto Biofísica, sócio ABC, fundador e membro da direção técnica CBPF.
César Lattes	Físico, descobridor do Méson- π , sócio ABC, fundador e diretor científico do CBPF.
Ernesto Lopes Fonseca Costa	Diretor Instituto Nacional de Tecnologia, representante Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio.
Euvaldo Lodi	Empresário, presidente Confederação Nacional da Indústria, fundador e mecenas CBPF, deputado (PSD-MG).
Franciso José Maffei	Professor Escola Politécnica – SP, superintendente Instituto Pesquisas Tecnológicas.
Ignácio M. Azevedo do Amaral	Professor Escola Naval de Engenharia, ex-reitor da Universidade do Brasil, sócio ABC.
Joaquim Costa Ribeiro	Físico, descobridor do efeito dielétrico, chefe depto física FNFi, sócio ABC, fundador e membro Direção Técnica CBPF.
Jorge Latour	Presidente do Conselho de Imigração e Colonização.
José Carneiro Felipe	Físico-químico, Inst. Oswaldo Cruz, professor Escola Nacional de Química, sócio ABC, fundador e membro do Conselho Deliberativo CBPF.
Luiz Cintra do Prado	Professor Depto. Física Escola Politécnica de São Paulo, sócio ABC, fundador e membro Direção Técnica CBPF.
Marcello Damy Souza Santos	Físico, descobridor dos chuveiros penetrantes, chefe Depto. Física USP, sócio ABC.
Mário da Silva Pinto	Engenheiro de minas, diretor do Departamento Nacional da Produção Mineral, sócio ABC.
Mário de Bittencourt Sampaio	Engenheiro, diretor-geral do Departamento Administração do Serviço Público – Dasp.
Mário Paulo de Brito	Professor Escola Nacional de Engenharia.
Mário Saraiva	Fundador e diretor do Instituto de Química do Ministério da Agricultura.
Marinho Santos	Tenente-coronel-aviador, representante do Ministério da Aeronáutica.
Orlando Rangel Sobrinho	Tenente-coronel, químico, advogado, fundador e membro Conselho Deliberativo CBPF, sócio ABC.
Theodoreto Arruda Souto	Professor Escola Politécnica de São Pulo, diretor Escola de Engenharia de São Carlos.

Fonte: ANDRADE (1999, p.111)

No que tange ao problema específico da utilização da energia atômica no Brasil, segundo a Comissão presidida por Álvaro Alberto:

“Para conseguir este desiderato, é imprescindível o concurso de vários fatores: (a) a existência de homens de ciência e de técnicos de várias especialidades; (b) a posse de matérias primas adequadas; (c) a existência de indústrias subsidiárias; e (d) recursos financeiros. Temos que começar do início. As matérias primas fundamentais não nos faltam, especialmente o tório, de que é o Brasil um dos maiores depositários. Contamos, outrossim, num plano mais alto, com a matéria prima espiritual – que são os nossos cientistas e pesquisadores; seu número é, porém, insuficiente nas diversas especialidades. Quanto ao nosso parque industrial, o seu crescimento é função dos aperfeiçoamentos que há de receber da própria tecnologia e da pesquisa. À clarividência dos Altos Poderes Públicos caberá promover os meios à consecução de tão elevados objetivos” (SILVA *et alli*, 2000, p.191).

Nesse aspecto, lúcidos estavam na compreensão do problema, ao proporem implicitamente nos termos acima citados a construção de um triângulo científico-tecnológico plenamente integrado.

Passados vinte e dois meses de gestação, somente em 15 de janeiro de 1951 que o Congresso Nacional, através da Lei nº 1310, aprovou a criação do CNPq. Além da sua finalidade de promover, coordenar e estimular a pesquisa científica e tecnológica, o novo órgão ficaria responsável pela condução da política nuclear brasileira. Incluíam-se ainda nessa lei outras reivindicações de Álvaro Alberto. Assim, “ao CNPq competia incentivar a pesquisa e prospecção de reservas de materiais apropriados ao aproveitamento da energia do núcleo. Proibia-se a exportação de tório e urânio, a não ser de governo a governo. Outra função referia-se ao estímulo à investigação e à industrialização da energia atômica. Deveria, também, promover a instalação de empresas destinadas ao tratamento de minérios de utilidade para a fruição da “força do átomo”, como o cádmio, lítio, berílio, boro e, especialmente, urânio e tório” (MOTOYAMA, 1996, p.75-76).

Com a instauração do monopólio estatal dos minérios atômicos, Álvaro Alberto e sua política das compensações específicas ganharam maior ímpeto, o que degradou ainda mais as relações entre Brasil e EUA. De acordo com as normas estabelecidas, além de cobrar o valor monetário das exportações de areia monazítica e de outros minérios estratégicos, o Brasil deveria também exigir dos EUA, como contrapartida, o *know-how* e facilidades para a aquisição de equipamentos, assim como dos mais modernos reatores em uso nos EUA, que o capacitassem a dominar o ciclo completo da produção de energia atômica.

Entretanto, apesar dos EUA, impulsionados pela corrida armamentista, serem os principais importadores desses minérios, não apenas restringiam a difusão da tecnologia nuclear, como também desejavam que o Brasil não a desenvolvesse. Pautados na Lei McMahon, consideravam o princípio norteador da política nuclear brasileira inaceitável, chegando ao extremo de proibir o envio de técnicos brasileiros aos cursos de engenharia de Oak Ridge para especialização em projeto, construção e operação de reatores nucleares (BANDEIRA, 1978). As posições dos dois países não se conciliavam e traduziam o fatal antagonismo existente entre os interesses de um país detentor de processos tecnológicos avançados, mas carecendo de matéria-prima, e de outro, como o Brasil, que a possuía e procurava trocá-la pelo conhecimento indispensável à sua utilização. Incompatibilidade essa inerente à constante tensão existente na dinâmica centro-periferia.

O fato é que o Brasil se inseriu na Era Atômica desde o seu início, só que em situação subordinada. Como periferia daquela dinâmica. Como fornecedor de matérias-primas. Como mercado cativo dos centros irradiadores de inovações tecnológicas. Antes mesmo da destruição de Hiroshima, o governo brasileiro assinou o “Acordo Secreto de 1945”, comprometendo-se “a vender exclusivamente aos Estados Unidos, pelo prazo de três anos (prorrogáveis até o máximo de dez vezes), cinco mil toneladas anuais de monazita, ao preço de 30 ou 40 dólares a tonelada, cotações que seriam revistas periodicamente” (GUILHERME, 1957, p.85).

Se a difusão da tecnologia nuclear era vetada pelos EUA, se ainda não existia a fabricação em escala comercial do produto-mercadoria reator nuclear, então uma possível solução seria a busca de outros parceiros objetivando o desenvolvimento endógeno da capacitação nuclear. Diante de tal perspectiva, Álvaro Alberto, então presidente do CNPq, ao perceber que o Brasil não poderia esperar qualquer tipo de cooperação estadunidense, procurou entrar em contato com aqueles países que estavam inseridos na Era Atômica por meio de sua capacidade criadora.

Com a Itália, o CNPq conseguiu celebrar um convênio com o Consiglio Nazionall delle Ricerche, cujo objetivo seria promover o intercâmbio de pesquisadores. Através de entendimentos com a Grã-Bretanha, obteve-se a anuência do Sir John Cockroft, diretor do órgão responsável pela energia atômica daquela nação, para encaminhar jovens pesquisadores brasileiros para lá se aperfeiçoarem. Deve-se reconhecer a importância dos contatos face a face na transferência do conhecimento tácito (*know-how*), pois a pessoas e seus ambientes amarrado está. É o atrito inerente à difusão do conhecimento no espaço que levou FELDMAN (1994, p.2) a declarar sua célebre frase: “*knowledge traverses corridors*

and streets more easily than continents and oceans”. Daí a relevância da formação de recursos humanos nacionais nos pólos de produção do conhecimento nuclear.

Outro contato foi com o professor Paul Harteck, antigo reitor da Universidade de Hamburg, por quem soube estarem os alemães a desenvolver um processo para separar o isótopo U-235 mediante a ultracentrifugação do fluoreto de urânio e que ao Brasil poderiam fornecer esses equipamentos. Vargas, de posse dessas informações, autorizou o início dos entendimentos com os professores Wilhelm Groth, do Instituto de físico-química da Universidade de Bonn, Konrad Beyerle, da Sociedade Max Plank para o Progresso da Ciência, e Otto Hahn, um dos responsáveis pela descoberta da fissão nuclear, que se dispuseram a instalar no Brasil uma usina de enriquecimento de urânio com três ultracentrífugas. Atividade de pesquisa essa vetada na Alemanha pelo “Estatuto de Ocupação⁶”. Os trâmites desse projeto absolutamente sigiloso são sintetizados pela seguinte passagem de BANDEIRA (1994, p.93):

“Vargas aprovou a execução do projeto, em despacho de 25 de novembro de 1953, o CNPq enviou três químicos brasileiros à Alemanha, a fim de que treinassem no manuseio de gases pesados, especialmente hexafluoretos, e o Banco do Brasil, por ordem de 21 de janeiro de 1954, depositou no Banco Alemão para a América do Sul a importância de US\$ 80000 como parte do pagamento das três ultracentrífugas, para a montagem das quais Groth e Beyerle, secretamente, encomendaram as peças a 14 diferentes fábricas na Alemanha. O Governo do Estado do Rio de Janeiro já, inclusive, oferecia um local, em Petrópolis, para a construção das usinas”.

Ao plano para produção de urânio enriquecido acoplou-se o projeto de construção de uma usina de tratamento químico dos minérios atômicos e produção de urânio metálico, nuclearmente puro, em colaboração com os cientistas franceses, a ser instalada em Poços de Caldas. Álvaro Alberto considerava esse projeto de fundamental importância para a etapa subsequente – a construção dos primeiros reatores nucleares no Brasil – que, segundo ele, proporcionaria a inserção do país na “nova era de engrandecimento e de prestígio”. O Comissariado de Energia Atômica da França e a Société des Produits Chimiques des Terres Rares aprovaram o projeto em abril de 1953. O professor Francis Perrin, do Alto Comissariado, e Mathiessent, técnico-chefe da referida firma francesa, vieram ao Brasil estudar o problema, visitando, inclusive, Poços de Caldas (BANDEIRA, 1978).

⁶ Do final da Segunda Guerra Mundial até 5 de maio de 1955, a Alemanha ocidental esteve impedida de desenvolver qualquer tipo de atividade nuclear, por força de Lei n° 22 do Alto Comando Aliado, que proibia a produção de urânio e tório metálico, bem como a fabricação de reatores nucleares (em parte ou totalmente) (MARQUES, 1992).

No plano interno, o CNPq concedeu inúmeros privilégios ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas; fez grandes investimentos em pesquisas geológicas em parceria com o Departamento Nacional da Produção Mineral; incentivou a pós-graduação e enviou até estudantes de graduação para completar o curso de física nos EUA. O que deve ser ressaltado é que o CNPq conferiu principalmente ao CBPF a tarefa de desenvolver o conhecimento tecnocientífico que se acreditava necessário à produção de energia nuclear, conseqüência essa do assim denominado “Efeito Méson- π ” anteriormente abordado. Havia uma concentração de recursos em favor do CBPF, conforme os dados apresentados por ANDRADE (1999, p.132-133):

“Entre 1951-1953, **75%** do total dos recursos do setor de Pesquisas Físicas foram repassados para a instalação de novos laboratórios e oficinas no CBPF, montagem do acelerador eletrostático cockroft-walton e desenvolvimento de programas de pesquisa em raios cósmicos, eletrônica, técnicas de alto-vácuo, construção de contadores de partículas, detectores de cintilação, e câmaras de Wilson (...) Os 25% restantes foram distribuídos entre o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) do professor Francisco Magalhães Gomes na Escola de Engenharia de Belo Horizonte; o Instituto de Física e Matemática da Universidade de Recife (criado por Luiz Freire, em 1952); o Instituto de Física da Universidade do Rio Grande do Sul; o Departamento de Física da USP (Marcello Damy recebeu parte do auxílio solicitado para reequipar o seu bétraton); o Instituto Nacional de Tecnologia; o Observatório Nacional; e o Instituto de Matemática Pura e Aplicada”.

Na qualidade de participante dessa história, JAQUES DANON (1977, p.16) desmistificou as pretensões do CNPq com relação ao CBPF nos seguintes termos:

“Jamais o Conselho poderia pretender do Centro mais do que um Instituto de Pesquisa, porque, isso era claro, o grupo que dominava o Centro – o Lattes, o Tiomno, o Leite, todo mundo aqui – fazia pesquisa básica. Não tínhamos condições, fazíamos um pouco de eletrônica com o IME (Escola Técnica do Exército, na época), etc., mas não pesquisa aplicada. Não se podia pensar em transformar isso daqui num Instituto de Energia Atômica. Isso foi criado em 1956, dentro de um quadro diferente, com a Comissão de Energia Nuclear já em São Paulo; enfim, toda uma processuística diferente”.

Em suma, durante os quatro primeiros anos de sua existência, no decorrer de sua fase “heróica”, a iniciativa de maior relevo tomada pelo CNPq no campo da energia atômica foi a encomenda das usinas de urânio à França. Com o sucesso dessa iniciativa, dominar-se-ia, pois, a primeira etapa do ciclo do combustível nuclear – a mineração e o beneficiamento do minério. Ademais, segundo MOTOYAMA (1996, p.103), “o CNPq havia chegado até o estágio da conversão de hexafluoreto de urânio, no limiar daquele do enriquecimento. É por isso que Álvaro Alberto comprara as três ultracentrífugas da

Sertorius Werke A G., de Göttingen, Alemanha. Assim o Brasil chegara muito próximo da fase final do ciclo que antecede a operação do reator. Com respeito a esse último, a dificuldade residia mais na falta de capacidade industrial do país do que de pessoal habilitado para projetá-lo. Daí o empenho do Almirante em comprá-lo”.

Entretanto, com a descoberta do sigiloso projeto teuto-brasileiro e a conseqüente apreensão das três ultracentrífugas na Alemanha, a consolidação da etapa do enriquecimento isotópico foi abortada. Somada a este fato está a não aplicação do princípio das compensações específicas nas negociações de exportação de minerais estratégicos aos EUA, impossibilitando, pois, a aquisição de reatores. Enquanto o governo dos Estados Unidos embargava o envio das três ultracentrífugas, Vargas violava, pela segunda vez⁷, as diretrizes do CNPq e do Conselho Nacional de Segurança por ele mesmo aprovadas. No dia 7 de julho de 1954, Vargas concordou com a proposta encaminhada pelo ministro da fazenda Oswaldo Aranha para a troca, realizada com os EUA, de 5.000 toneladas de monazita e da mesma quantidade de sais de cério e terras raras por 100.000 toneladas de trigo tipo *Hard Winter* n° 2, sem exigir qualquer compensação específica.

Devido à morte de Vargas, a Comissão Parlamentar de Inquérito não pôde esclarecer as razões pelas quais ele autorizou a transação. Na época, foi alegado que os EUA tinham descoberto jazidas de minerais radioativos dentro de seu território, o que levaria a uma diminuição da demanda pela monazita brasileira e, conseqüentemente, à perda de seu poder de barganha. Entretanto, essa justificativa não correspondia à realidade, pois os EUA voltaram a pleitear novas importações de monazita em 1955 (BANDEIRA, 1978).

O que Vargas tentou, provavelmente, foi aliviar as tensões entre o seu governo e os EUA. Sem a pretensão de tecer comentários pormenorizados sobre a substância do nacionalismo do II Governo Vargas, o fato é que devido às suas intervenções nacionalistas na economia – monopólio estatal do petróleo, projeto de nacionalização das empresas de energia elétrica (Eletrobrás), limitação das remessas de lucros ao exterior, dentre outras – Vargas enfrentava crescentes dificuldades com os EUA. Dificuldades essas refletidas no ambiente político interno, com o acirramento das forças de oposição ao seu governo.

Ao projeto de instalação da usina de enriquecimento de urânio, dentro de um programa para o desenvolvimento do Brasil no campo da energia nuclear, Vargas, em sua

⁷ A primeira violação de Vargas ocorreu em 1952, ao ser permitida a exportação de 7.500 toneladas de monazita, além das mesmas quantidades de cério e terras raras, sem quaisquer compensações específicas (GUILHERME, 1957).

carta-testamento, não se referiu. No entanto, esse teria sido um dos principais fatores a fomentar a campanha de desestabilização do Governo Vargas, segundo a opinião do deputado Renato Archer, cujo papel relevante veio a desempenhar na Comissão Parlamentar de Inquérito criada na Câmara Federal para investigar a ingerência dos EUA no Programa Nuclear Brasileiro. Com efeito, a mudança mais significativa propiciada pela queda de Vargas (e de Álvaro Alberto) ocorreu, silenciosamente, na política nuclear brasileira.

“Assim terminou o que poderíamos chamar de primeira fase da luta pelo desenvolvimento da energia nuclear em nosso país. A iniciativa da mais alta importância foi a encomenda, à França, das usinas de urânio. O ensinamento importante foi a revelação da existência de poderosas forças internacionais e de grupos nacionais contra o desenvolvimento autônomo do país no setor da energia nuclear” (LEITE LOPES, 1978, p.190).

III. 2) A DIPLOMACIA ATÔMICA

“O programa Átomos para a Paz foi genial, foi a melhor maneira de impedir que os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos realmente ingressassem na Era Atômica de uma maneira autônoma. O reator é um pouco caixa preta. É um gerador de nêutrons, e toda a energia do pessoal jovem, que devia estar voltada para problemas básicos, estava absorvida com o funcionamento do reator. (...) Se o policiamento da difusão do conhecimento nuclear tivesse sido mantido, seguramente, nós já teríamos o reator brasileiro. (...) E o caminho teria sido, evidentemente, o urânio natural”.

José Israel Vargas
Entrevista (1977)

No interregno Café Filho, mais especificamente em agosto de 1955, ocorreu o primeiro ponto de inflexão na trajetória histórica da tecnologia nuclear no Brasil. Naquela ocasião, o Brasil atrelou sua política nuclear ao programa “Átomos para a Paz”, à ofensiva diplomática norte-americana cujo objetivo último seria a manutenção de sua hegemonia na área nuclear. Vendo-se na impossibilidade de manter o “grande segredo”, os Estados Unidos passaram a difundir, sob seu domínio e fiscalização, a tecnologia nuclear. Segundo GOLDEMBERG (1976, p.49), “Átomos para a Paz”:

“era um programa muito hábil, no seguinte sentido: achava que a energia nuclear iria se espalhar pelo mundo, era inevitável que se espalhasse pelo mundo. Como de fato ocorreu. Então, era muito melhor controlar os espalhamentos do que deixar que ela se espalhasse de várias formas independentes. E a forma bolada era o Programa Átomos para a Paz, do Eisenhower, um programa pelo qual os americanos forneciam reatores de pesquisa⁸ aos países. É uma forma hábil. É como uma criança a quem você corrompe, dando um aparelho de um certo tipo para ela. Quer dizer, você dá um reator para eles, eles ficam contentíssimos brincando com o aparelho, etc.; no fim, ficam acostumados a usar a tecnologia que gira em torno daquele reator. (...) E os reatores são construídos de maneira tal que há uma garantia intrínseca de que você não consegue o domínio da tecnologia nuclear”.

Sob os auspícios do referido programa, o primeiro reator de pesquisa, o do tipo “*swimming pool*”, fornecido pela empresa norte-americana Babcock & Wilcox, foi

⁸ Reator de pesquisa é um reator basicamente projetado para fornecer nêutrons ou uma radiação ionizante para fins experimentais. Pode ser utilizado para treinamento, testes de material e produção de radioisótopos (MIROW, 1979).

instalado no Instituto de Energia Atômica⁹, tornando-se crítico em 16 de julho de 1957. Em 1960, foi inaugurado, no Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR)¹⁰, o reator de pesquisa TRIGA (*Training Research Isotope General Atomic*) Mark 1, cuja finalidade

“(…) era treinar pessoal para lidar com o reator atômico e fabricar radioisótopos para pesquisa, fundamentalmente. E qualquer reator de pesquisa não deixa de ser um modelo-piloto de um reator de potência. Este, tendo as dimensões que tem, só podia ser de urânio enriquecido. Isso dependia de o governo americano conceder uma quantidade razoável de urânio enriquecido para utilizarmos o reator. E isso, a própria firma fornecedora (General Atomic) obteve, confiando ao governo brasileiro a quantidade necessária (uns poucos quilos de urânio enriquecido), com o compromisso estrito de só trabalhar em pesquisa, de não aproveitá-la para nenhum outro fim. A Comissão de Energia Atômica americana tinha o direito de fiscalizar, de seis em seis meses, o uso e o gasto do reator” (GOMES, 1976, p.5).

Com o apoio da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), então desmembrada do CNPq em 1956, a fundação do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) resultou dos esforços empreendidos pelos primeiros engenheiros nucleares do Rio de Janeiro. Enviados para treinamento nos Estados Unidos como bolsistas do programa Átomos para a Paz, eles propuseram, na volta ao país, a construção de um reator experimental para o desenvolvimento das aplicações pacíficas da energia nuclear.

Assim, por meio de um convênio firmado entre a CNEN e a Universidade do Brasil, atual Universidade Federal do Rio de Janeiro, nascia no campus da UFRJ, em maio de 1962, o Instituto de Engenharia Nuclear, com a responsabilidade de abrigar e operar o reator de pesquisa. Batizado de “Argonauta”, esse reator foi desenvolvido segundo projeto do laboratório norte-americano de Argonne. Redesenhado e construído com 93% de componentes nacionais, atingiu sua primeira criticalidade em 20 de fevereiro de 1965. Como se pode constatar, o Brasil atingiu, no início da década de sessenta, um nível de desenvolvimento da estrutura industrial e da infra-estrutura científico-tecnológica tal que o permitiria a pensar em um desenvolvimento nuclear razoavelmente auto-sustentado (MOTOYAMA & MARQUES, 1994).

No que tange à política nuclear dos governos de Juscelino Kubitschek e João Goulart, verifica-se uma certa continuidade em suas proposições.

Em agosto de 1956, foram aprovadas pelo presidente Juscelino Kubitschek as Diretrizes Governamentais para a Política Nacional de Energia Nuclear. Em seus dezoito

⁹ O Instituto de Energia Atômica, atual IPEN – CNEN/SP, foi criado em 1956 graças aos esforços do CNPq e da USP.

¹⁰ Criado em 1952 pela Universidade Federal de Minas Gerais, o IPR foi a primeira instituição do Brasil a dedicar-se inteiramente à energia nuclear.

pontos consta a necessidade de: estabelecer um programa para a “determinação urgente de nossas disponibilidades em minerais de interesse para a produção de energia nuclear”; “apoiar a indústria nacional na pesquisa, lavra e beneficiamento de minerais”; “exercer controle do governo sobre o comércio, compra, armazenagem e venda, inclusive exportação, de materiais de aplicação no campo da energia nuclear”; “produzir no país combustíveis nucleares sob controle e propriedade do governo”. Ademais, o documento exige que, no caso de negociações de governo a governo, sejam garantidas as “compensações específicas”, isto é, instrumentos e técnicas, “visando a desenvolver a aplicação industrial da energia nuclear no país”. O governo brasileiro poderia socorrer-se da experiência científica e tecnológica de todos os países amigos, “guiado apenas pelo que nos for mais conveniente”; e nos acordos internacionais de qualquer espécie, no campo da energia nuclear, deveria sempre constar uma cláusula de que “somente terão validade se aprovados pelo Congresso Nacional” (GUILHERME, 1957, pp.198-201). Em tese, essas diretrizes recuperavam por completo os princípios basilares da política anteriormente formulada pelo CNPq (MARQUES, 1992).

Merecedor de destaque é o fato do Governo JK dar início à participação do átomo nos planos nacionais de desenvolvimento. No Plano de Metas, a energia nuclear se constitui na meta nº 2, na qual consta: a fabricação nacional de combustíveis nucleares – o urânio natural e o levemente enriquecido; o planejamento e a realização de instalação de usinas termoeletricas nucleares; a formação de pessoal especializado.

Por sua vez, o Plano Trienal de Desenvolvimento Econômico e Social (1963 – 1965) menciona a necessidade da utilização da energia nuclear, “dado o esgotamento progressivo do potencial hidráulico economicamente explorável” imposto pelo ritmo de desenvolvimento industrial que se processava naquela época. Com relação à energia nuclear, “o plano delineia um conjunto de iniciativas que caracterizam bem um programa setorial de desenvolvimento científico e tecnológico” (GUIMARÃES & FORD, 1975, p.400), cuja importância para seus formuladores pode ser evidenciada na seguinte citação:

“Na medida em que se considere industrialmente desenvolvido o País, que possa atender às suas necessidades básicas mediante técnica e recursos próprios, o Brasil não vencerá, nem a longo prazo, o ciclo do subdesenvolvimento se, nessa época, por deficiência do programa governamental, de técnica e aptidão industrial, permanecer dependente da importação de experiência, técnica, equipamentos e combustível nuclear, com a evasão de divisas estrangeiras daí decorrentes, para a produção de eletricidade de fonte nuclear. O desenvolvimento de uma indústria nuclear integrada exige o estabelecimento e execução de um programa a longo prazo, mediante a colaboração do governo e da iniciativa privada” (BRASIL, 1962, p.113).

Com relação à linha tecnológica a ser adotada, o referido plano determina que:

“A construção de centrais nucleares no Brasil obedecerá à política de independência do suprimento externo de combustível, da utilização de matérias primas nucleares existentes no país e de máxima participação da indústria nacional. Nesse sentido, foi definido um programa baseado na construção de centrais a urânio natural, com aproveitamento do plutônio formado em uma segunda linha de reatores, funcionando no ciclo plutônio-tório e urânio 233-tório” (BRASIL, 1962, p.114).

Com o abandono da idéia de enriquecimento isotópico, uma colaboração estreita com a França foi restabelecida. Os esforços de De Gaulle em prol da autonomia tecnológica, materializados no desenvolvimento da linha de reatores urânio natural – gás grafita, levaram o Brasil a firmar um acordo de cooperação técnica com a França. O traço nacionalista assim impresso na política nuclear do Governo Goulart teve como principal responsável a gestão de Marcello Damy (1961-1964) na presidência da CNEN. De certa forma, Damy seguia as linhas mestras outrora formuladas pelo Almirante : “a posição de Álvaro Alberto, desenvolvimento nuclear autônomo, na época de Damy era equivalente (ou se traduzia) à linha de urânio natural” (VARGAS, 1977, p.94).

Embora oficialmente criado em 1965, o “Grupo do Tório” do Instituto de Pesquisas Radioativas possui suas raízes no Plano Trienal. No primeiro semestre de 1965, a CNEN reuniu em um Comitê de Estudos de Reatores de Potência (CERP) um grupo de técnicos de seu próprio quadro e dos três institutos de pesquisa a ela associados, com a finalidade de realizar uma avaliação, a mais completa possível, das perspectivas da produção nucleoe elétrica no Brasil, com ênfase na região centro-sul. No entender da CERP:

“(…) parece claro que o Brasil deve buscar a melhor utilização de suas reservas, dirigindo sua política no sentido da independência do suprimento externo de combustível, a longo prazo, acompanhando a tendência geral da evolução tecnológica dos países mais desenvolvidos, no sentido da utilização crescente de materiais físséis especiais, e dos reatores regeneradores avançados, com o abandono progressivo das atuais técnicas de utilização do urânio, natural ou enriquecido, em reatores de baixo rendimento em combustíveis” (BRITO, 1966, p.1).

Segundo estudos realizados pela CERP, essa tendência da evolução tecnológica então verificada nos países desenvolvidos, baseada na produção de plutônio nos reatores térmicos e sua posterior utilização em reatores regeneradores, poderia ser reproduzida no Brasil através do “Ciclo do Tório”, oferecendo ao país “a possibilidade de desenvolver certas idéias originais em tecnologia de reatores visando a implementação de uma indústria

nuclear integrada que seria, em prazo relativamente curto, independente do suprimento externo de combustível” (BRITO, 1966, p.2).

De acordo com a orientação da CNEN, coube apenas ao Grupo do Tório, oficialmente criado em setembro de 1965 na Divisão de Engenharia de Reatores do IPR, a tarefa de desenvolver tais idéias originais. Tendo em vista os recursos limitados à disposição do grupo, decidiu-se que os estudos seriam concentrados em um único conceito de reator. “A tecnologia escolhida foi a da água pesada¹¹, que dava a flexibilidade pretendida, pois o reator poderia operar com três misturas de combustíveis: urânio altamente enriquecido e tório (Projeto Instinto), urânio natural (Projeto Toruna) e plutônio-tório (Projeto Pluto) (MOTOYAMA & MARQUES, 1994, p.405).

A opção de otimizar um único conceito básico para os diferentes ciclos de combustível é justificada por BRITO (1966, p.4) nos seguintes termos:

“A decisão de iniciar um programa de desenvolvimento de um determinado conceito de reator implica em uma hipótese sobre a evolução a médio e longo prazo da conjuntura técnico-econômica. Esta precisão pode ser alterada por fatores novos que intervenham a longo prazo (especialmente no que se refere ao mercado mundial de materiais físséis), de forma a tornar todo o programa inadequado. A consideração desse risco torna-se mais importante para países em desenvolvimento, cuja economia não poderia suportar o abandono total de um programa dessa magnitude, o que seria inevitável se a técnica escolhida para desenvolvimento dependesse basicamente de um determinado ciclo de combustível, e se este ciclo fosse desfavorecido pela evolução da conjuntura mundial”.

Após seu início, pairavam sobre o projeto do tório várias dúvidas concernentes ao rumo tecnológico por ele tomado. A primeira era sobre a possibilidade de se carregar um reator a urânio natural – água pesada com tório. E a objeção que José Israel Vargas (1977, p.97) fazia ao projeto centrava-se “na idéia de que se precisaria de qualquer maneira de urânio enriquecido. Portanto, a dependência, no que diz respeito ao combustível, pelo menos à sua carga inicial, permaneceria”. Outra crítica baseava-se no problema da necessidade de se obter água pesada, cuja fabricação em escala industrial era inexistente no Brasil daquela época.

O governo brasileiro chegou a pedir reiteradamente a Westinghouse que o ajudasse a desenvolver uma nova tecnologia que permitisse a utilização de suas enormes reservas de tório como combustível nuclear, orientando os trabalhos realizados pelo Grupo do Tório.

¹¹ Água pesada (D₂O) – água que contém uma proporção significativamente maior de átomos de hidrogênio pesado (deutério) em relação aos átomos de hidrogênio. Água pesada é utilizada como moderador em alguns reatores graças à sua eficácia na redução da energia de nêutrons e também à sua seção de choque de absorção de nêutrons (MIROW, 1979).

Entretanto, “a Westinghouse, que participava de um programa secreto de pesquisa da Marinha dos EUA com vistas à produção de um reator baseado no ciclo do combustível nuclear de tório, não aceitou a proposta do Brasil alegando que não podia comprometer-se a utilizar seus recursos no desenvolvimento dessa tecnologia, tal como é atualmente concebida, porque uma usina nuclear que utilizasse esse elemento atômico necessitaria de uma carga inicial de urânio próprio para armas, não sendo, portanto, economicamente competitiva” (GALL, 1980, p.311).

Como enfatizou GOLDEMBERG (1976, p.37), “nada disso seria justificativa para se dissolver o Grupo do Tório, pois ele estava fazendo o primeiro ensaio de desenvolver um protótipo nacional em energia nuclear. Água pesada, evidentemente, o Brasil não tinha, mas havia um grupo no Instituto Militar de Engenharia, um grupo muito incipiente ainda, produzindo água pesada em quantidades pequenas. Eles tinham um projeto piloto que também foi desencorajado sistematicamente pelo governo”. Ademais, havia a possibilidade de se importar água pesada, cuja produção não estava sujeita a segredos tecnológicos e salvaguardas internacionais, sendo realizada por diversos países.

Em 1968, o então presidente da CNEN, Hervásio de Carvalho, propôs a dissolução do Grupo do Tório, alegando que muito dinheiro era gasto sem nenhum resultado palpável. Após a retirada do apoio institucional ao Grupo do Tório, a CNEN optou pelo modelo “tecnologicamente comprovado”, pelo PWR (*Pressurized Water Reactor*), de água leve¹² e urânio enriquecido. A tradição prático-imediatista arraigada no corpo político o levava a crer que “o importante era possuir centrais nucleares em funcionamento. Logo, a saída encontrada pelo governo consistia simplesmente em importá-las” (MOTOYAMA & MARQUES, 1994, p.405). A essa mentalidade cabia o seguinte questionamento: por que, então, “reinventar a roda” todos os dias? Para que capacitação em pesquisa nuclear se existe tanto reator à venda?

Sob a perspectiva prático-imediatista, os conhecimentos tecnológicos vindos do exterior poderiam desempenhar a desejável função de aumentar a produtividade dos fatores nacionais de produção, ficando a capacidade criadora intrínseca à infra-estrutura científico-tecnológica sem um papel ativo em tal processo. Como bem observado por MOREL (1979, p.108), propostas como essa “não levam em conta que os processos tecnológicos são patenteados, e a aquisição deles terá que ser feita sob as condições impostas pelos países que os desenvolveram. Renunciar ao desenvolvimento interno da tecnologia – para não

¹² Água comum (H₂O) – nomenclatura utilizada para diferenciação da água pesada (D₂O). A água leve, nos reatores nucleares, encontra aplicação como refrigerante e moderador (MIROW, 1979).

‘reinventar a roda’ – representa, em última análise, acatar a existência de uma ordem internacional, cabendo ao Brasil o papel passivo de caudatário de inovações efetuadas alhures”.

A possibilidade de se aplicar esse tipo de raciocínio à industrialização da energia nuclear é atribuída à grande ofensiva de venda deflagrada pelas empresas norte-americanas na segunda metade dos anos sessenta, instalando no cenário internacional o que MARQUES (1992) chamou de “a grande feira” – a fase da competitividade avançada caracterizada pelo sucesso do produto-mercadoria reator nuclear. Nela, empresas multinacionais como Westinghouse e General Electric desencadeiam um brutal esforço para a venda de reatores dos tipos PWR e BWR (*Boiling Water Reactor*), respectivamente, destinados à geração de eletricidade. A única opção economicamente competitiva às duas famílias de reatores de urânio enriquecido era o reator canadense CANDU (*Canadian Deuterium-Uranium Reactor*), de urânio natural e água pesada.

O alto preço dos reatores e o grande interesse da indústria nuclear norte-americana em vendê-los permitiu a entrada de mais um setor na transação: os grandes bancos. O Eximbank dos EUA, por exemplo, concedia crédito a juros baixos ou nulos, mas que de qualquer forma contribuíssem para um endividamento ainda maior dos países subdesenvolvidos que optaram pela compra dos reatores das duas empresas estadunidenses. O quadro se complicava com a dependência desses países em relação ao urânio enriquecido, cuja produção era monopolizada pelos EUA.

No mesmo ano em que foi dissolvido o Grupo do Tório, ficou decidida a instalação em Angra dos Reis da primeira usina nuclear, optando a CNEN pela linha de reatores a água leve e urânio enriquecido. Estabelecida a concorrência internacional, saiu como ganhadora a Westinghouse, associada à Empresa Brasileira de Engenharia para a montagem, e às firmas Gibbs & Hill (EUA) e Promon Engenharia (Brasil) na elaboração do projeto. Importada como um todo, a usina nuclear Angra I restringiu a participação da indústria nacional a 8% dos fornecimentos relativos ao seu projeto, além daquela exercida pelos técnicos e cientistas, cujo papel se restringia a meros operadores do equipamento adquirido.

Faz-se necessário enfatizar que o Brasil assinou com a multinacional estadunidense um acordo comercial do tipo “caixa preta”, no qual o vendedor negocia pacotes tecnológicos fechados e, se possível, instalações do tipo “chave-na-mão”. Seria um equívoco classificá-lo como uma transferência de tecnologia, pois para isso seria preciso

que o receptor adquira o conjunto de conhecimentos que lhe permita inovar (BITARELLO, 1988).

Conforme observou o General Hugo Abreu, chefe do Gabinete Militar e secretário-geral do Conselho de Segurança Nacional do Governo Geisel, “os norte-americanos não apenas nos privaram do conhecimento dos detalhes técnicos como, muito mais que isso, nos forneceram uma ‘caixa preta’ lacrada e nem nos disseram o que há lá dentro. Nossos técnicos podem apenas operar a usina. Nada mais” (BANDEIRA, 1994, p.195).

Ademais, a fim de preservar o monopólio dos EUA e manter o *status quo* mundial, o Governo de Washington não permitia que as empresas norte-americanas participassem na produção de material fora do seu território ou cooperasse com outros países na compra, projeção ou construção de usinas para o enriquecimento do urânio e reprocessamento do combustível irradiado (BANDEIRA, 1994).

O paradoxo da política nuclear pós-1964 está no fato do Brasil ter se recusado a assinar o Tratado de Não Proliferação das Armas Nucleares¹³, por se opor ao que classificou de “colonialismo da Era Atômica” e, no mesmo período, ter abdicado do desenvolvimento nuclear autóctone ao dissolver o Grupo do Tório e assinar o acordo comercial com a Westinghouse. Indo além, cabe lembrar que 1968 foi o ano em que o desenvolvimento científico e tecnológico passou a fazer parte das prioridades estratégicas de governo. Verifica-se, pois, a completa dissociação entre o planejamento e a ação deliberada, entre o discurso de independência científico-tecnológica expresso no Programa Estratégico de Desenvolvimento e as ações tomadas no processo de industrialização da energia nuclear no Brasil.

Assinale-se que, de acordo com estudo fornecido em 1973 pela Bechtel Overseas, empresa de consultoria norte-americana, 55% dos componentes de uma central nuclear poderiam ser ofertados pela indústria nacional. Isso comprova que, na fase denominada por LEITE LOPES (1978) de “diplomática”, o Estado brasileiro dispunha de infra-estrutura científico-tecnológica e estrutura produtiva para, em um futuro não muito distante, dominar a tecnologia nuclear.

¹³ Apresentado em agosto de 1967 na Conferência de Desarmamento em Genebra, o Tratado de Não-Proliferação das Armas Nucleares foi elaborado pela União Soviética e Estados Unidos. Por esse tratado, as nações são divididas em duas categorias: potências nucleares – todo país que tiver fabricado ou explodido uma arma nuclear ou outro artefato explosivo nuclear antes de 1º de janeiro de 1967 – e potências não nucleares – todos os demais Estados. Estes ficariam proibidos de adquirir ou fabricar artefatos nucleares, mesmo os de utilização para fins pacíficos; as atividades nucleares desses países estariam sujeitas ao sistema de salvaguardas (MOREL, 1979).

III. 3) O ACORDO NUCLEAR BRASIL-ALEMANHA

“Esse modelo de desenvolvimento econômico, baseado numa associação íntima com capitais estrangeiros, não estimulou o desenvolvimento da tecnologia nacional. Nesse quadro, a importação da tecnologia é quase sempre o caminho mais eficiente para soluções imediatas. No caso das filiais de empresas estrangeiras, que têm na matriz a origem de toda a tecnologia que utilizam, a contribuição interna aos projetos limita-se à sua adaptação às condições locais. As empresas nacionais são também afetadas pelas características do nosso processo de desenvolvimento, que se traduzem em dependência tecnológica, não só em termos de técnicas de produção, como também em especificações de consumo feitas sobre padrões vigentes em outros países. É dentro desse quadro que se deve inserir o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha”.

Luiz Pinguelli Rosa
A Política Nuclear e o Caminho das Armas Atômicas
(1985)

Na primeira metade da década de setenta, ocorreu uma junção de importantes fatores, a nível nacional e mundial, cujo significado incide na própria compreensão da política nuclear implementada pelo governo Geisel e, por conseguinte, no entendimento das motivações que a levaram ao seu principal empreendimento – ao Acordo Nuclear firmado com a República Federal da Alemanha.

Dentre os fatores de ordem geopolítica, destaca-se o início da corrida nuclear entre os países do Terceiro Mundo, desencadeado pela detonação do primeiro artefato nuclear indiano, ocorrido em 18 de maio de 1974, no deserto de Rajastã. Pela primeira vez, tornou-se nítida a ausência de uma linha divisória entre os usos pacíficos e bélicos da tecnologia nuclear. Verificou-se que a criação de uma indústria nuclear civil permite formar pessoal qualificado e dispor das instalações e do plutônio necessários aos programas militares. Do civil ao militar, como do militar ao civil, funciona uma dupla articulação, com duas malhas que são a chave do ciclo do combustível nuclear e cujo controle exclusivo alguns países tentam conservar estrategicamente: o enriquecimento do urânio natural e, sobretudo, o reprocessamento do combustível irradiado (HÉMERY *et alli*, 1993).

Especialmente alarmados mostraram-se os EUA com a entrada de mais um país no Clube Nuclear, utilizando-se do argumento de que o principal problema a ser resolvido pelos países como a Índia e outros do Terceiro Mundo era a fome. No extremo oposto estava a reação dos periféricos com pretensões nucleares à bomba indiana, uma reação de entusiasmo em galgar degraus mais elevados na hierarquia internacional de poder, acompanhado do inevitável acirramento da concorrência entre os mesmos. Entre países como o Brasil e a Argentina, por exemplo, “vizinhos rivais e quase nucleares” que se recusaram a assinar o TNP, o impacto psicológico propiciado por essa explosão foi especial. Foi como se, a partir de então, tivesse sido provada a possibilidade de um país subdesenvolvido vir a constituir-se em uma potência nuclear. Ademais, a vantagem da Argentina sobre o Brasil na área nuclear era um fator que pesava nas preocupações geopolíticas dos militares brasileiros (BITARELLO, 1988).

Somado ao geopolítico está o fator econômico-energético, estando os dois consubstanciados no primeiro choque do petróleo, em setembro de 1973, por ocasião do conflito árabe-israelense. Época, aliás, em que o preço médio por barril salta de US\$ 2,80 para US\$ 11,30. A crise então instalada na economia mundial mostrou a urgente necessidade de o Brasil se capacitar em fontes alternativas de energia, de modo a atender a expansão industrial que se presumia continuar no ritmo intenso do Milagre Econômico. Como resposta às novas realidades estruturais da economia mundial emergentes da “crise do petróleo”, o governo Geisel formulou sua estratégia de desenvolvimento expressa no II PND.

No pacote dos projetos previstos pelo referido plano, a energia nuclear aparece como setor estratégico e altamente prioritário. A tecnologia nuclear era então vista pelo II Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (1974-79) como “uma das soluções tecnológicas para o atual estágio de desenvolvimento industrial e para a situação da crise de energia e os problemas do balanço de pagamentos” (BRASIL, 1976).

Nos governos Médici e Geisel, as decisões no sentido de adquirir reatores nucleares, expressas, respectivamente, no Acordo de 1972 com os EUA e no de 1975 com a Alemanha, foram justificadas em função de suas metas energéticas evidenciadas no I PND (1970-74) e II PND (1974-78). Os possíveis interesses militares atribuídos a tais acordos eram rotulados por esses governos como mera especulação dos “opositores ao Regime”.

Mesmo com a quadruplicação do preço do petróleo em fins de 73, o governo manteve a política de déficits comerciais e endividamento externo. A euforia do milagre

continuava a direcionar a política econômica brasileira, enquanto as autoridades financeiras internacionais diziam ser o Brasil “uma ilha de prosperidade num mundo em crise”. Assim como o primeiro, o II PND foi elaborado em clima de euforia, embora o milagre não mais se sustentasse. Nesse sentido, LESSA (1988) o classificou como uma estratégia autoritária que não levava em consideração a conjuntura econômica marcada pelo processo de reversão cíclica. Em seus próprios termos:

“A opção em matéria energética melhor que outras ilustra a idéia de que o II PND fez da ‘crise do petróleo’ a justificativa para a proclamação serena e não traumática do projeto de potência nascido no interior do aparelho de Estado (...) Porém a mesma crise não intimidou o suficiente para a adoção de políticas de contenção de desperdício e de conservação energéticas. Nesse sentido, a opção energética se inscrevia medularmente na visão estratégica e ao mesmo tempo preservava a mística do milagre. Benevolente com os padrões correntes de consumo e utilização de energia e arrojado em seu projeto de longo prazo, o Príncipe deve ter considerado sua opção magnífica” (LESSA, 1988, p.105).

A ausência de integração entre os projetos governamentais, exemplificada nas desconexões existentes entre a política industrial e a energética, torna-se evidente na seguinte passagem de CASTRO & SOUZA (1985, p.33):

“(...) a metalurgia e a petroquímica, merecedoras de grande destaque no bloco de setores privilegiados pelo II PND, são atividades particularmente energético-intensivas. Em outras palavras, a despeito da (reconhecida) gravidade do problema energético, as opções feitas em 1974 implicavam a intensificação do consumo de energia. Desta forma, não obstante visasse equacionar os problemas energéticos de longo prazo, o plano trazia embutido o seu agravamento a curto e médio prazos”.

Talvez a incoerência presente no II PND no que tange às suas motivações econômico-energéticas seja o reflexo da inconsistência existente naquele que serviu de base para a sua elaboração – o Plano 90. Elaborado pela Eletrobrás em 1973, tratava-se de um programa de obras visando o atendimento do mercado de energia elétrica entre 1975 e 1990. Baseava-se na expectativa de que a demanda de eletricidade cresceria à taxa anual de 8,7%, caso o mercado ficasse em baixa, ou de 11,4% no caso do mercado em alta, além de prever o pleno esgotamento do potencial hidroelétrico da região sudeste em 1990. Com base nessas previsões, o referido plano alegava ser indispensável a instalação, no país, de uma capacidade de geração nucleoeletrica complementar através da construção de 6 a 8 usinas termoeletricas de 1200 MW até 1990. A inconsistência estaria no viés existente em suas previsões, na superestimação da demanda de energia e no rebaixamento do potencial hidroelétrico disponível, conforme alegam PINGUELLI ROSA *et al* (1988).

No quadro ideológico do projeto “Brasil Grande Potência”, que na segunda metade da década de 70 já se deteriorava com a derrocada do nacional-desenvolvimentismo, a energia nuclear ganhava a oportunidade de se apresentar como solução não só compatível com a crise energética, mas também com a grandeza almejada de potência emergente. Estabelecida como necessária, seja pelas motivações de caráter econômico-energético, determinadas pela crise do petróleo e o Plano 90, e/ou pelas ocultas motivações militares, a implantação da indústria nuclear no Brasil passa então a depender da escolha de uma fonte externa de tecnologia.

Um episódio ocorrido no início de 1974, contudo, fornece o último ingrediente de que o governo brasileiro necessitava para desvencilhar-se do julgo monopolista nuclear exercido pelos norte-americanos. Tratou-se da negativa da Comissão de Energia Atômica dos EUA em assinar contrato de fornecimento de urânio enriquecido para Angra I. A instabilidade do fornecimento, pelos Estados Unidos, do serviço de enriquecimento ressaltou a extrema vulnerabilidade a qual estava exposto o Brasil.

Ao fazer a opção pela linha de reatores de potência a urânio enriquecido, pelos do tipo “comprovado”, o Brasil não podia permitir que os suprimentos desse combustível contivessem os mesmos elementos de incerteza que se configuravam no abastecimento do petróleo. Acreditava-se, pois, que essa vulnerabilidade seria extinta caso fosse absorvida a tecnologia de enriquecimento.

Seguindo tal orientação, naquelas circunstâncias engendradas pela bomba indiana, o General Geisel procurou entendimento com outros países no sentido de obter a cooperação necessária ao desenvolvimento, no Brasil, da indústria nuclear nascente, demonstrando, a fim de robustecer seu poder de barganha, a disposição de comprar até oito usinas nucleares. A França, através do Comissariado de Energia Atômica, manifestou o desejo de participar na prospecção de minerais radioativos e no estabelecimento de uma usina de componentes de reatores, mas não se interessou pela etapa do enriquecimento. Só a Alemanha se dispôs a negociar um acordo profundo e integrado, visando à implantação, no Brasil, de todo o ciclo de geração da energia nuclear, desde a pesquisa e lavra do urânio até o enriquecimento, produção do elemento combustível e reprocessamento, além da fabricação de reatores de potência.

Após um ano de negociações secretas, nas quais a opinião da comunidade científica nacional não foi levada em consideração, Brasil e Alemanha firmaram, em 27 de junho de 1975, o Acordo de Cooperação para Usos Pacíficos da Energia Nuclear, que previa a instalação, no Brasil, de oito centrais termonucleares, cada uma com capacidade de 1.200

MW, uma usina de enriquecimento de urânio através do processo de jato centrífugo (*jet nozzle*), ainda em fase de experimentação, bem como de uma fábrica de reatores, a ser construída em Sepetiba (Rio de Janeiro) e cuja produção, com início esperado para o fim de 1978, possibilitaria a completa nacionalização dos equipamentos.

A República Federal da Alemanha dispôs-se, desse modo, a cooperar com o Brasil na implementação e no desenvolvimento de uma indústria nuclear autônoma que seria capaz de abastecer a América Latina e outras regiões do Terceiro Mundo, bem como na transferência, paralelamente à construção das oito usinas de geração elétrica, dos conhecimentos tecnológicos associados ao tipo de reator escolhido (PWR). De fato, o acordo teuto-brasileiro constituiu-se no maior contrato comercial realizado no setor nuclear, em todo o mundo e em todas as épocas (BANDEIRA, 1994).

A execução desse programa ficou a cargo de consórcios firmados, basicamente, pela Nuclebrás, empresa estatal brasileira, vinculada, formalmente, ao Ministério de Minas e Energia, e pela Kraftwerk Union (KWU), subsidiária da Siemens e que, inicialmente, foi constituída como *joint venture* com a AEG-Telefunken. A partir do Acordo, foram criadas, como instrumento de implementação, as seguintes empresas binacionais: Nuclebrás Equipamentos Nucleares (NUCLEP), Nuclebrás Auxiliar de Mineração (NUCLAM), Nuclebrás Engenharia S/A (NUCLEN), Nuclebrás Enriquecimento Isotópico (NUCLEI).

Do lado alemão, as vantagens eram incontestavelmente cristalinas. “Com a transação comercial, ficava assegurado um novo mercado para a venda de seus reatores, visto que o programa alemão sofria oposição crescente por parte da sociedade civil germânica que, coincidentemente, de 1975 até o início dos anos 80, impediu a instalação de novas centrais nucleares em território alemão-ocidental. Por outro lado, havia interesse dos alemães pelas reservas brasileiras de urânio e o Acordo previa a participação da empresa alemã Urangesellschaft, na prospecção e extração dos minérios, em cooperação conjunta com a NUCLAM, uma das sete subsidiárias da *holding* Nuclebrás” (MARQUES, 1992, p.75).

Como contratantes da Nuclebrás e de suas subsidiárias, as empresas privadas nacionais fizeram contratos de transferência de tecnologia e assistência técnica com empresas alemãs, com a finalidade de suprir equipamentos específicos ou componentes para a parte convencional das centrais nucleares, sob a supervisão geral da NUCLEN. Nesse ponto, é oportuno assinalar que o Acordo previa, para as duas primeiras centrais – Angras I e II – índice de nacionalização de 30%, restritos unicamente aos componentes convencionais (ou seja, os não destinados exclusivamente aos circuitos primário e

secundário de uma usina termonuclear). Apesar de terem sido criadas subsidiárias vinculadas a Nuclebrás voltadas para a produção do vaso do reator e de outros componentes pesados (isto é, de partes não convencionais), seria impossível uma participação nacional na fabricação desses componentes mais sofisticados de uma central nuclear (PINGUELLI ROSA *et al*, 1988).

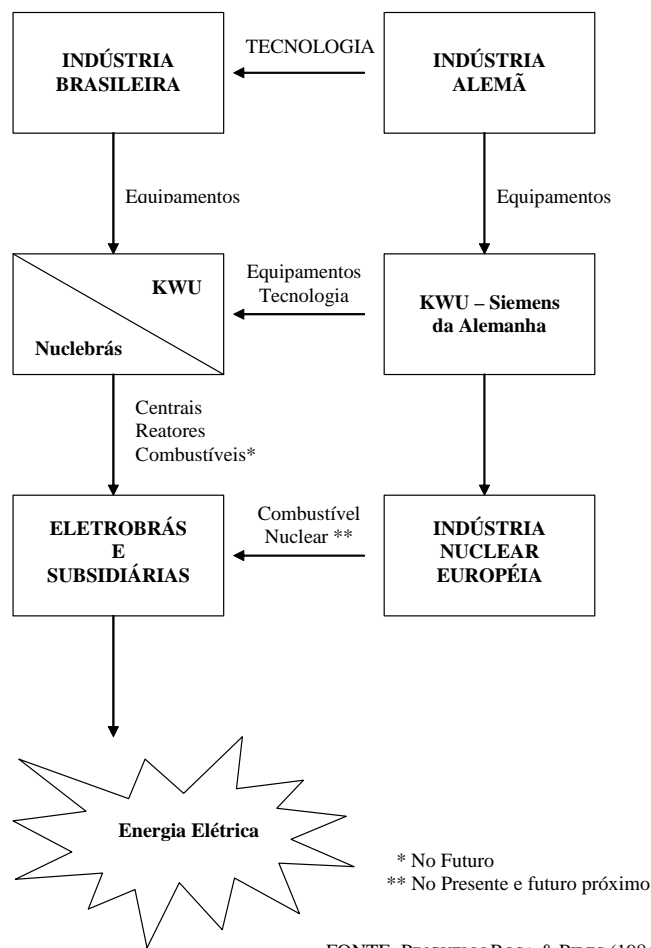
Assim, reproduzia-se na indústria nuclear o desequilíbrio da organização industrial tão combatido pelo II PND, segundo o qual torna-se impossível a construção da grande empresa nacional em posição competitiva sem a internalização da produção científica e tecnológica. Verifica-se, pela análise da Figura 2, o papel marginal exercido pela indústria privada nacional, aparecendo apenas uma vez no esquema proposto por PINGUELLI ROSA & PIRES (1984).

Segundo os autores acima citados, “a indústria brasileira aparece uma vez no esquema: importa tecnologia, associa-se à indústria estrangeira e fornece componentes e equipamentos ‘nacionalizados’ à empresa estatal e à multinacional no país. A indústria estatal brasileira aparece duas vezes no esquema: como produtora de equipamentos, associada à multinacional, e como empresa de serviço público (energia); importa tecnologia e equipamentos e compra da indústria privada nacional”. Mas a que possui maior relevo tecnológico é a indústria multinacional estrangeira, aparecendo quatro vezes no esquema: “como fornecedora de componentes e equipamentos à KWU na Alemanha e de tecnologia à indústria brasileira; como fabricante de reatores na Alemanha; como sócia da Nuclebrás no Brasil; como fornecedora de combustível nuclear” (PINGUELLI ROSA & PIRES, 1984).

Constata-se que o Acordo seguiu a lógica do desenvolvimento capitalista no Brasil, do processo de industrialização retardatária, não podendo deixar de ser extensiva à industrialização na energia nuclear. Após resistir a fortes pressões diplomáticas dos EUA, bem como às críticas de cientistas brasileiros e ecologistas alemães, o Acordo Nuclear começou a defrontar-se com vários transtornos, em meio às denúncias de irregularidades e de falhas técnicas na construção de Angra I (Westinghouse), reforçadas pelos novos cálculos de custos da energia nuclear, que recomendavam melhor aproveitamento dos recursos hídricos. Instaurada em 1978, em decorrência de tais denúncias, a CPI do Senado concluiu não ser a energia nuclear imprescindível à geração elétrica nos próximos 20 ou 30 anos. Conseqüentemente, os defensores do Acordo Nuclear redefiniram seu discurso, passando a alegar que o mesmo seria um instrumento para se adquirir a tecnologia nuclear, que num futuro próximo poderia ser necessária ao desenvolvimento do país. No que tange

à pretensa autonomia tecnológica no ciclo do combustível nuclear, o processo de jato centrífugo para enriquecimento de urânio adquirido pelo acordo demonstrou sua inviabilidade industrial. O país ficaria com os reatores, mas sem a garantia do suprimento de combustível, exatamente como no caso da dependência externa pelo petróleo (PINGUELLI ROSA, 1985b).

FIGURA 2
O MODELO DO TRIPÉ INDÚSTRIA MULTINACIONAL-ESTATAL-PRIVADA
NO CASO DO ACORDO NUCLEAR



No campo da pesquisa e desenvolvimento na área nuclear, a influência do acordo foi nula, ou melhor, foi negativa pelo menos nos institutos da própria Nuclebrás. “O antigo IPR, transformado em Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), teve enormes dificuldades para se recuperar do esvaziamento que sofreu. O Instituto de Engenharia Nuclear atravessou por uma crise, provocada pelo seu abandono por parte da Nuclebrás e da indefinição de objetivos em que permaneceu por anos, terminando por voltar a permanecer à Comissão Nacional de Energia Nuclear. Nesse meio tempo, pesquisadores com doutorado em física nuclear e radioquímica foram levados a trocar seus laboratórios pelos escritórios da administração da Nuclebrás, ou de outras empresas estatais. Outros se refugiaram na Universidade. Esse é um dado concreto e que mostra de maneira insofismável que não houve nenhuma transferência de capacitação séria ao nível de pesquisa e desenvolvimento” (PINGUELLI ROSA, 1985b, p.54).

Por fim, as encomenda de equipamentos para atender às necessidades do Programa Nuclear começaram a atrasar e os próprios empresários perceberam que ele dificilmente seria executado, tal como concebido no Acordo com a RFA. Em 1979, quando o general João Batista Figueiredo sucedeu Geisel na presidência, o clima era de expectativa. Não havia certeza sequer sobre a prioridade para a construção das três ou quatro primeiras usinas. A produção de energia nuclear já não era prioritária, havendo o governo Figueiredo (1975-1985) reduzido drasticamente os investimentos públicos previstos para os anos subsequentes.

A partir de 1979, a desaceleração das obras de construção das usinas termonucleares demonstrou que o Acordo Nuclear ruiu em virtude de sua própria grandeza, arquitetada pela euforia do Milagre Econômico, pelo projeto de Nação-Potência. Ruiu em virtude da própria crise do desenvolvimento brasileiro.

CONCLUSÃO

A experiência histórica exitosa relatada na gênese da tecnologia nuclear foi tomada como ponto de partida, não para servir como paradigma de análise, mas para destacar as principais nuances das interações entre ciência, tecnologia e sociedade. Indo além: para indagar sobre a influência do ciclo de vida da tecnologia nuclear sobre as motivações da política nuclear brasileira.

Verifica-se que a gênese da tecnologia nuclear foi o produto da capacidade criadora de homens situados em tempos, espaços, circunstâncias. De homens situados em sociedades desenvolvidas, nas quais seu gênio criador é sistematicamente canalizado para a inovação tecnológica. Em sociedades cujos protagonistas da dinâmica inovativa estabelecem entre si relações sinérgicas e simbióticas.

Talvez não tão fascinante, embora rica de ensinamentos, seja a história dos países periféricos que se aventuraram na busca pelo domínio da tecnologia nuclear. E o início de tal aventura ocorreu com término da Segunda Guerra Mundial, nos primórdios da Era Atômica. Época na qual a produção de conhecimentos científicos e de energia nuclear era considerada solução para o atraso crônico das nações subdesenvolvidas e forma de ostentar a grandeza cultural e o poder político-militar do Estado-Nação.

No Brasil, os primeiros esforços empreendidos na busca pelo domínio da energia nuclear se confundem e se mesclam com o próprio processo de institucionalização da ciência. Capitaneada pelo Almirante Álvaro Alberto, a fase heróica da política nuclear brasileira (1949-1954) tinha como nítida a motivação pelo desenvolvimento científico e tecnológico autóctone. Mesmo porque a difusão da tecnologia nuclear era então vetada pelo país que foi o pioneiro em seu desenvolvimento, pelos Estados Unidos – o detentor do “grande segredo”.

Apesar dos EUA, impulsionados pela corrida armamentista, serem os principais importadores dos minérios atômicos brasileiros, não apenas restringiam a difusão da tecnologia nuclear, como também desejavam que o Brasil não a desenvolvesse. As compensações específicas almejadas pelo Almirante não se concretizaram, passando a atrair a antipatia estadunidense, um dos fatores de desestabilização do II Governo Vargas.

Embora o mito da energia abundante fosse ao encontro do ideal nacional-desenvolvimentista, as motivações energético-econômicas não eram preponderantes na condução da política nuclear de Álvaro Alberto. Buscava-se, isto sim, o desenvolvimento

científico e tecnológico, a construção de um triângulo científico-tecnológico plenamente integrado, ambição essa expressa na proposta de criação do CNPq. Nessa fase, o principal entrave ao desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil residiu mais no caráter incipiente de sua estrutura produtiva, do que na ausência de recursos humanos qualificados.

Na fase diplomática, vários avanços foram feitos, com destaque para a criação dos institutos de pesquisa aplicada na área nuclear, além da manutenção das linhas basilares da política anteriormente formulada pelo CNPq. O desenvolvimento do reator Argonauta demonstra ter o Brasil atingido, no início da década de sessenta, um nível de desenvolvimento da estrutura industrial e da infra-estrutura científico-tecnológica tal que o permitiria a pensar em um desenvolvimento nuclear razoavelmente auto-sustentado.

Outro sinal do processo de maturação da capacidade criadora e da busca pelo desenvolvimento científico e tecnológico foi a formação do Grupo do Tório, demandada pelo Plano Trienal, cujo período de atividade infelizmente coincidiu com a fase de padronização da tecnologia nuclear, caracterizada pelo sucesso do produto-mercadoria reator nuclear.

Indubitavelmente, esse foi o principal fator responsável pela dissolução do Grupo do Tório, pois permitiu o uso do raciocínio prático-imediatista na industrialização da energia nuclear no Brasil. Raciocínio esse historicamente verificado nos processos de industrialização retardatária. No processo de internalização de inovações em espaços periféricos. A motivação anteriormente sustentada pelo desenvolvimento científico-tecnológico foi substituída pela econômico-energética. A escolha da linha tecnológica passa a ser ditada pelo reator do tipo comprovado, capaz de proporcionar, de modo econômico e seguro, o suprimento de energia elétrica.

Paradoxalmente, essa mudança de motivação na política nuclear ocorreu no ano em que o desenvolvimento científico e tecnológico passou a fazer parte das prioridades estratégicas de governo. Verifica-se, pois, a completa dissociação entre o planejamento e a ação deliberada, entre o discurso de independência científico-tecnológica expresso no Programa Estratégico de Desenvolvimento e as ações tomadas no processo de industrialização da energia nuclear no Brasil.

Nos governos Médici e Geisel, as decisões no sentido de adquirir reatores nucleares, expressas, respectivamente, no Acordo de 1972 com os EUA e no de 1975 com a Alemanha, foram justificadas em função de suas metas energéticas evidenciadas no I PND (1970-74) e II PND (1974-78). Entretanto, na segunda metade da década de setenta,

uma conjunção de fatores, composta pela a crise do petróleo, o início da corrida armamentista entre os países do Terceiro Mundo e a instabilidade no fornecimento de urânio enriquecido por parte dos EUA, levou o Governo Geisel a almejar o domínio não só da tecnologia de reatores, mas a do ciclo do combustível nuclear, incluindo aí a de enriquecimento e reprocessamento. Tecnologias essas cujo controle exclusivo alguns países tentam conservar estrategicamente.

Buscou-se, pois, com Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, um programa do tipo híbrido, que, além de atender as necessidades energéticas levantadas pelo Plano 90, possibilitaria a “transferência de tecnologia” tão almejada pelos periféricos com pretensões à bomba indiana.

O Acordo Nuclear ruiu em virtude de sua própria grandeza, arquitetada pela euforia do Milagre Econômico, pelo projeto de Nação-Potência. Ruiu em virtude da derrocada do nacional-desenvolvimentismo, da própria crise do desenvolvimento brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta e. Sistema nacional de inovações no Brasil: uma análise introdutória a partir dos dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia. **Revista de Economia Política**, v.16, n.3 p.63, jul./set. 1996.

_____. **Sistema estadual de inovações em Minas Gerais**: um balanço introdutório e uma discussão do papel (real ou potencial) da FAPEMIG para sua construção. Belo Horizonte: FAPEMIG, 2001. (mimeogr.).

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. **Físicos, mésons e política**: a dinâmica da ciência na sociedade. Rio de Janeiro: Hucitec, Museu de Astronomia e Ciências Afins, 1999. 261p.

BANDEIRA, Moniz. **Presença dos Estados Unidos no Brasil**: dois séculos de história. 2.ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1978. 497p.

_____. **O milagre alemão e o desenvolvimento do Brasil**: as relações da Alemanha com o Brasil e a América Latina (1949 – 1994). São Paulo: Ensaio, 1994. 246p.

BERNAL, J. D. **Historia social de la ciencia**. 4.ed. Barcelona: Peninsula, 1976. v.1, La ciencia en la historia. v.2, La ciencia en nuestro tiempo.

BIELSCHOWSKY, Ricardo. **Pensamento econômico brasileiro**: o ciclo ideológico do desenvolvimentismo. 3.ed. Rio de Janeiro: Contratempo, 1996. 496p.

BITARELLO, Beatriz Helena Domingues. **"Reinventar a roda"?** : estudo da política nuclear dos governos militares no Brasil pós-1964. 1988. 453f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciência Política, Universidade Federal de Minas Gerais, 1988.

BRASIL. **Plano Trienal de Desenvolvimento Econômico e Social**: 1963-1965: (síntese). Brasília: Imp. Oficial, 1962. 195p.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. **Programa estratégico de desenvolvimento, 1968-1970**: Brasília: Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, 1968. .

BRASIL. Presidência da República. **II PBDCT**: II Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Brasília: [Secretaria de Planejamento], 1976. 217p.

BRITO, Sérgio Salvo. **O grupo do tório**: formação e objetivos. Nota GT – 3. Belo Horizonte: IPR, 1966. (mimeogr.).

BRODY, David Eliot, BRODY, Arnold R. **As sete maiores descobertas científicas da história e seus autores**. São Paulo: Companhia das Letras, 1999. 436p.

CARNEIRO, Ricardo. **Desenvolvimento em crise**: a economia brasileira no último quarto do século XX. São Paulo: UNESP, 2002. 423p.

CASTRO, Antônio Barros de, SOUZA, Francisco Eduardo Pires de. **A economia brasileira em marcha forçada**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985. 217p.

CREASE, P. R., MANN, C. C. **The second creation: makers of the revolution in twentieth-century physics**. New York: Macmillan, 1986. 480p.

COSTA RIBEIRO, J. Utilização da energia atômica no Brasil. **Ciência e Cultura**, v.8, n.1, p.22-34, 1956.

DANON, Jaques. **Entrevista concedida a Ricardo Guedes Pinto e Carla Costa para o projeto "História da Ciência no Brasil"**. Rio de Janeiro: (CPDOC, FGV),1977.

ERBER, Fábio Stefano. Desenvolvimento tecnológico e intervenção do Estado: um confronto entre a experiência brasileira e a dos países capitalistas centrais. **Revista de Administração Pública**, v.14, n.4, p.10-72, out./dez. 1980. .

FEINBERG, J. G. **The story of atomic theory and atomic energy**. New York: Dover, 1960. 263p.

FELDMAN, M. P. **Geography of innovation**. Dordrecht: Kluwer, 1994. 154p.

FERREIRA, José Pelúcio. **Ciência e tecnologia nos países em desenvolvimento: a experiência do Brasil**. Rio de Janeiro: IEI/UFRJ, 1983. 117p. (Texto para discussão, 20).

FILGUEIRAS, Sérgio de Almeida. **Indústria nuclear: estratégia tecnológica e parceria com um instituto de pesquisa**. 2002. 178f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FREEMAN, Chris. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v.19, n.1, p.5-24, 1995.

FREEMAN, Christopher. **The economics of industrial innovation**. Cambridge: MIT, 1986. 250p.

FREYRE, Gilberto. **Homens, engenharias e rumos sociais : em torno das relações entre os homens de hoje, sobretudo os brasileiros, e as três engenharias indispensáveis a políticas de desenvolvimento e segurança, por um lado, e, por outro lado a ajustamentos a espaços e a tempos, a engenharia física, a humana e a social, considerando-se, inclusive, o desafio, a essas engenharias, das selvas do Brasil, em particular, das amazônicas**. Rio de Janeiro: Record, 1987. 223p.

FURTADO, Celso. **Cultura e desenvolvimento em época de crise**. 2.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1984. 128p.

_____. Os desafios da nova geração. **Revista de Economia Política**, v.24, n.4, p.96, out./dez. 2004.

_____. **A hegemonia dos Estados Unidos e o subdesenvolvimento da América Latina**. 2.ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1975. 192p.

_____. **Um projeto para o Brasil**. Rio de Janeiro: Saga, 1968. 132p.

GALL, Norman. Átomos para o Brasil. In: CARVALHO, Getúlio (Coord.) **Multinacionais os limites da soberania**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1980. p.277-325.

GALVÃO, Antônio Carlos F. Tecnologia e competitividade em países de industrialização tardia. In: VIOTTI, Eduardo B. (Org.) **Dimensão econômica das inovações tecnológicas**. Brasília: NPCT/UnB, ABIPTI, CNPq E SEBRAE, 1993. p.25-35.

GOLDEMBERG, José. A física nuclear no Brasil. **Ciência e Cultura**, v.29, n.9, p.1021-1026, set. 1977.

_____. **Entrevista concedida a Tjerk Franken, Nadja Vólia Xavier, Ricardo Guedes Pinto e Simon Schwartzman para o projeto “História da Ciência no Brasil”**. Rio de Janeiro: (CPDOC, FGV), 1976.

GOMES, Francisco de Assis Magalhães. **Entrevista concedida a Ricardo Guedes Pinto para o projeto “História da Ciência no Brasil”**. Belo Horizonte: (CPDOC, FGV), 1976.

GUILHERME, Olympio. **O Brasil e a era atômica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Vitória, 1957. 317p.

GUIMARÃES, E. A. A., FORD, E. M. Ciência e tecnologia nos planos de desenvolvimento: 1956/ 73. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v.5, n.2, p.385-432, dez. 1975.

HÉMERY, D., DEBEIR, J. C., DELÉAGE, J. P. **Uma história da energia**. Brasília: Universidade de Brasília, 1993. 440p.

HERRERA, Amílcar O. **Ciencia y política en América Latina**. México: Siglo Veintiuno, 1976. 206p.

HIRSCHMAN, Albert O. **Essays in trespassing: economics to politics and beyond**. Cambridge: Cambridge University, 1981. 310p.

HOBBSAWM, Eric. **Era dos extremos: o breve século XX: 1914–1941**. 2.ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. 598p.

IANNI, Otávio. **A ditadura do grande capital**. São Paulo: Civilização Brasileira, 1981. 227p.

LEITE LOPES, José. **Ciência e desenvolvimento: ensaios**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1964. 189p.

_____. **Ciência e libertação**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978. 244p.

_____. Oppenheimer: contrastes e conflitos de uma nova era. In: LEITE LOPES, José. **Uma história da física no Brasil**. São Paulo: Livraria da Física, 2004. p.12-67. Disponível em: <<http://www4.prossiga.br/lopes/ing/prodpol/ciencialibertacao/Cap4-1.htm#4>>.

- LESSA, Carlos. **Quinze anos de política econômica**. São Paulo: Brasiliense, 1981. 171p.
- _____. **Estratégia de desenvolvimento**: sonho e fracasso. Brasília: FUNCEP, 1988. 235p.
- MARQUES, Paulo. **Sofismas nucleares**: o jogo de trapanças na política nuclear do país. São Paulo: Hucitec, 1992. 169p.
- MARTINS, Jader Benuzzi. **A história do átomo**: de Demócrito aos Quarks. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001. 360p.
- MIROW, Kurt Rudolf. **Loucura nuclear**: os “enganos” do acordo nuclear Brasil-Alemanha. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1979. 299p.
- MOREL, Regina Lucia de Moraes. **Ciência e estado**: a política científica no Brasil. São Paulo: T. A. Queiroz, 1979. 162p.
- MORGENSTERN, O. **The question of national defense**. New York: Random Books, 1959. 306p.
- MOTOYAMA, Shozo. Álvaro Alberto e a energia nuclear. In: MOTOYAMA, S., GARCIA, J. C. V. **O almirante e o novo prometeu**: Álvaro Alberto e a C&T. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Centro Interunidade de História da Ciência e da Tecnologia, 1996. p.53-104.
- _____. A física no Brasil. In: FERRI, M. G., MOTOYAMA, S. **História das ciências no Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979. p.61-91.
- _____, MARQUES, Paulo Q. A história da tecnologia nuclear brasileira: um festival de equívocos. In: VARGAS, Milton (Org.). **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1994. p.399-412.
- MYRDAL, Gunnar. **Teoria econômica e regiões subdesenvolvidas**. 2.ed. Rio de Janeiro: Saga, 1968. 300p.
- NAGAMINI, Marilda. Álvaro Alberto e o Conselho Nacional de Pesquisas. In: MOTOYAMA, S., GARCIA, J. C. V. **O almirante e o novo prometeu**: Álvaro Alberto e a C&T. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Centro Interunidade de História da Ciência e da Tecnologia, 1996. p.107-131.
- NELSON, Richard. The simple economics of basic research. In: ROSENBERG, N. (Ed.) **The economics of technological change**. United Kingdom: Penguin Books, 1971. p.148-163.
- NUSSENZVEIG, Moysés. Para que ciência no Brasil? In: **CIÊNCIA & tecnologia**: alicerces do desenvolvimento. Brasília, DF.: CNPq, 1994. Cap.2: O papel da C&T na sociedade brasileira. p.69-78.

PANATI, Giovanni. O desenvolvimento da indústria nuclear nos Estados Unidos. In: MACHADO, A (Org.) **Energia nuclear e sociedade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1980. p.237-277.

PAULA, João Antônio de. Limites do desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil. **Revista de Economia Política**, v.19, n.2, p.74, 1999.

PAVITT, Keith. What makes basic research economically useful? **Research Policy**, v.20, n.2, p.109-119, 1991.

_____. Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v.13, n.6, p.343-373, 1984.

PINGUELLI ROSA, Luiz. Da gênese da bomba à política nuclear brasileira. In: ARNT, Ricardo (Org.) **O armamentismo e o Brasil: a guerra deles**. São Paulo, Brasiliense, 1985a. p.29-67.

_____. **A política nuclear e o caminho das armas atômicas**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1985b. 78p.

_____ *et al.* Características da estrutura de produção da energia nuclear no Brasil. In: PINGUELLI ROSA, Luiz, SIGAUD, Lygia, MIELNIK, Otávio (Coords.) **Impactos de grandes projetos hidrelétricos e nucleares: aspectos econômicos e tecnológicos, sociais e ambientais**. São Paulo: AIE/COPPE: Marco Zero, 1988. p.39-69.

_____, PIRES, Regina L. N. F. O acordo nuclear com a Alemanha no contexto do “modelo” e da crise. In: PINGUELLI ROSA, Luiz (Org.) **Energia e crise**. Petrópolis: Vozes, 1984. p.85-101.

ROSENBERG, Nathan. **Inside the black box: technology and economics**. Cambridge: Cambridge University, 1982. 304p.

RIBEIRO, Darcy. **O processo civilizatório: estudos de antropologia da civilização; etapas da evolução sócio-cultural**. 7.ed. Petrópolis: Vozes, 1983. 257p.

SABATO, Jorge, BOTANA, Natalio. La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. **Revista de la Integración**, v.1, n.3, p.15-36, nov. 1968.

SCHENBERG, Mario. **Entrevista concedida a Tjerk Frankel e Carla Costa para o projeto “História da Ciência no Brasil”**. Recife: (CPDOC, FGV),1977.

SCHUMPETER, Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Abril cultural, 1982. 169p.

SCHWARTZMAN, Simon. **Formação da comunidade científica no Brasil**. São Paulo: Nacional ; Rio de Janeiro: FINEP, 1979. 481p.

_____. **Ciência, universidade e ideologia: a política do conhecimento**. Rio de Janeiro: Zahar, 1980. 166p.

SERRA, José. Ciclos e mudanças estruturais na economia brasileira do pós-guerra. In: BELLUZZO, L. G. M., COUTINHO, R. (Orgs.) **Desenvolvimento capitalista no Brasil: ensaios sobre a crise**. Campinas: FECAMP, 1998. p.56-121.

SILVA, Álvaro Alberto da Motta *et ali*. A proposta de criação do CNPq. **Parcerias Estratégicas**, n.9, p.182-195, out.2000. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/CEE/revista/Parcerias9/17revista9CNPq.PDF>>.

VARGAS, José Israel. **Entrevista concedida a Ricardo Guedes Pinto, Nadja Vólia Xavier e Simon Schwartzman para o projeto “História da Ciência no Brasil”**. Belo Horizonte: (CPDOC, FGV),1977.

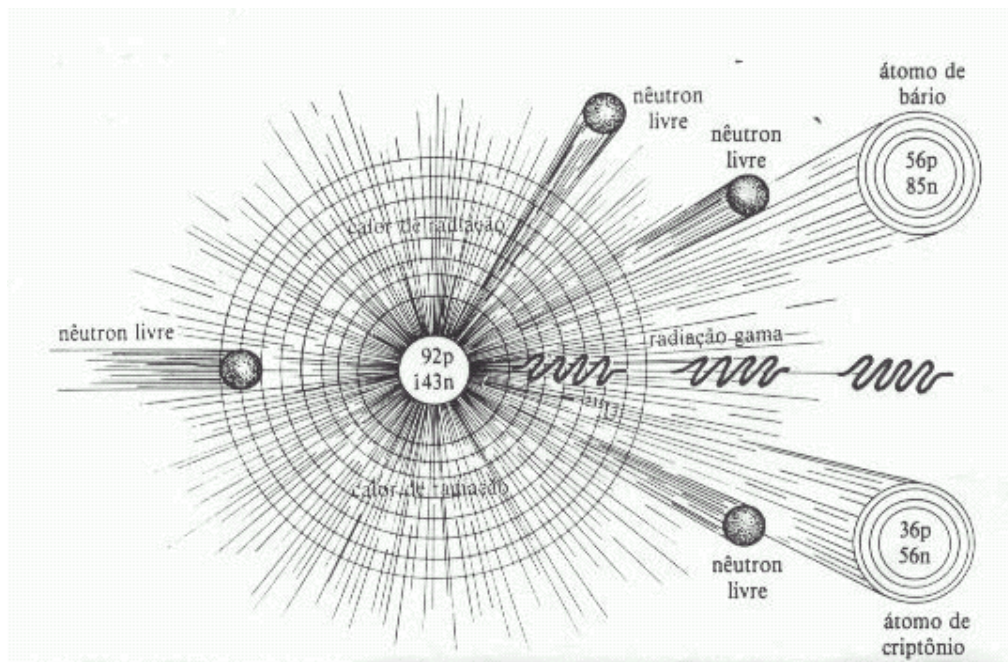
.

APÊNDICE: A TECNOLOGIA NUCLEAR

Fundamentalmente, a tecnologia nuclear abrange os reatores, as centrais nucleares e o ciclo do combustível nuclear.

Os reatores são equipamentos projetados para que neles se produzam, controladamente, reações em cadeia. Atualmente, o processo utilizado nos reatores nucleares é a fissão nuclear, sendo especialmente sensíveis à fissão os núcleos de urânio 235, de urânio 233 e de plutônio 239, quando atingidos por nêutrons de velocidade adequada. Nessa reação são produzidos dois fragmentos – altamente radioativos, sendo por isso o produto residual da fissão muito nocivo à saúde – e alguns nêutrons que vão alimentar a reação em cadeia, atingindo núcleos vizinhos, acompanhados de enorme liberação de energia.

FIGURA 3 – UM TIPO DE FISSÃO NUCLEAR



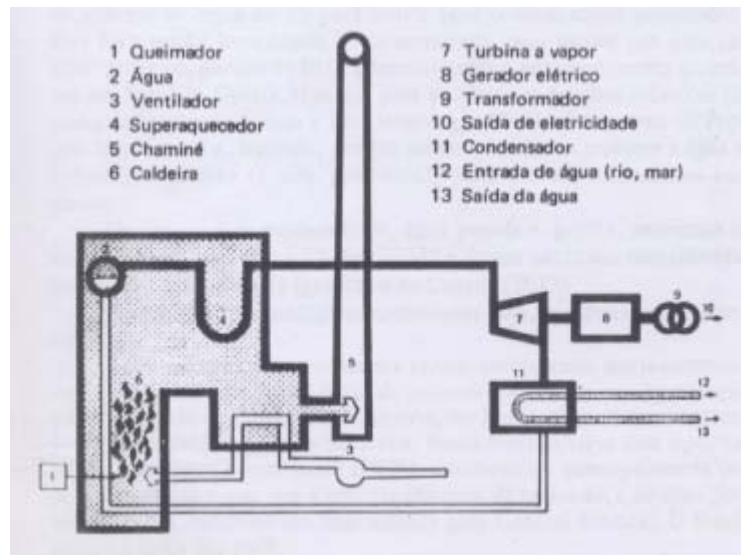
Em uma bomba atômica, deixa-se a reação em cadeia crescer descontroladamente, liberando imensa energia em uma fração de segundo. No reator nuclear, monta-se um sistema em que o excesso de nêutrons é absorvido de modo a manter a liberação de energia controlada no nível desejado. Em geral, os reatores nucleares são usados para uma das seguintes finalidades: (1) pesquisa e desenvolvimento, testes, etc.; (2) produção de fontes radioativas para aplicações em medicina, na indústria, entre outras aplicações; (3)

produção de plutônio – matéria prima para a bomba atômica e combustível para os reatores rápidos regeneradores; (4) produção de energia térmica (reatores de potência), convertida basicamente para propulsão naval (submarinos nucleares) e geração de eletricidade (centrais nucleares).

Em uma central nuclear de potência, o reator substitui a caldeira onde, nas centrais térmicas clássicas, é queimado carvão, petróleo ou qualquer outro combustível. A energia liberada da fissão do urânio aquece a água ou outro fluido, que se expande e vai fazer girar uma turbina acoplada a um gerador de eletricidade.

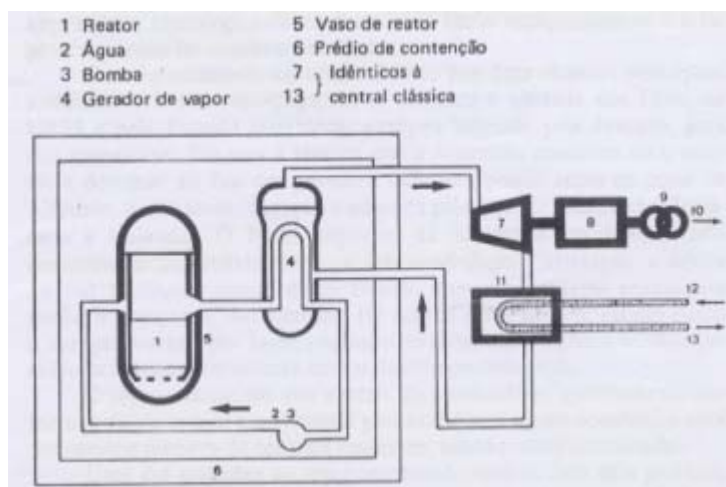
Dos três elementos físséis vistos, apenas o urânio 235 é encontrado na natureza, embora em percentual de apenas 0,7% no urânio natural. O plutônio 239 é artificial, sendo obtido a partir da absorção de pelo urânio 238, que constitui 99,3% do urânio natural. Geração de plutônio essa feita no interior dos próprios reatores nucleares no seu funcionamento normal. O urânio 233, também artificial, pode ser produzido a partir do tório 232. Por esta razão, o urânio 238 e o tório 232 são chamados de elementos férteis.

FIGURA 4 – CENTRAL TERMOELÉTRICA CLÁSSICA



Fonte: PINGUELLI ROSA (1985)

FIGURA 5 – CENTRAL NUCLEAR



Fonte: PINGUELLI ROSA (1985)

Há dois tipos de reatores de fissão: térmicos e rápidos. Nos reatores térmicos, os nêutrons são moderados de modo a perderem velocidade, aumentando assim a probabilidade de produzirem a fissão ao atingirem o urânio 235 ou o plutônio 239. Esta probabilidade é mais alta quando a velocidade do nêutron é praticamente igual à do núcleo do urânio ou do plutônio (que está em agitação térmica). Para isso, faz-se necessário um moderador, sendo usados para esse fim o água (H_2O), a água pesada (D_2O) e a grafita (C).

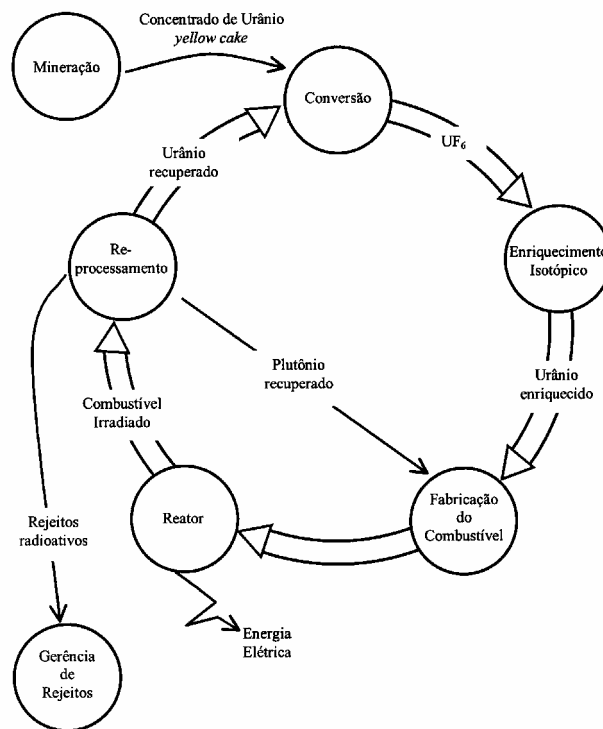
Apesar de ser mais simples de ser obtida, a água comum possui o defeito de absorver nêutrons na reação em que o hidrogênio se transforma em deutério. Para compensar essa perda, é preciso aumentar a proporção de urânio 235 no urânio natural, ou seja, enriquecer o urânio, devendo esse percentual ser elevado ao mínimo de cerca de 3% . Os outros dois moderadores, grafite e água pesada, permitem o uso do urânio natural (0,7% de urânio 235), sendo adotados inicialmente na França e na Inglaterra (grafite) e no Canadá (D_2O).

Dessas linhas tecnológicas, sobreviveram, comercialmente, apenas duas; (1) os reatores à água comum e urânio enriquecido norte-americanos, que ganharam a maior parte do mercado mundial e cuja tecnologia foi reproduzida na França, na Alemanha e no Japão, além de ter sido também desenvolvida pela União Soviética. Existem nessa linha dois tipos de reatores: de água pressurizada (PWR) e de água fervente (BWR); (2) os reatores à água pesada e urânio natural, desenvolvidos principalmente pelo Canadá e adotados pela Índia e

pela Argentina, visando uma maior autonomia tecnológica para evitar o enriquecimento de urânio.

Ainda no quadro dos reatores térmicos, é importante abordar o ciclo do combustível nuclear, que começa na prospecção, mineração e beneficiamento do minério de urânio e termina no armazenamento do lixo radioativo (“ciclo aberto”).

FIGURA 6 – CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR



Fonte: FILGUEIRAS (2002)

Acima destacada, a Figura 5 ilustra as etapas de um ciclo de combustível para o caso de se utilizar urânio enriquecido em U-235 como combustível, gerando o plutônio, em reatores moderados à água leve. As etapas tecnologicamente mais importantes são o enriquecimento e o reprocessamento do combustível nuclear. O enriquecimento do urânio é feito por duas técnicas principais: a difusão e a ultracentrifugação. O reprocessamento visa extrair do combustível queimado no reator o resto de urânio e plutônio gerado (PINGUELLI ROSA, 1985).