

NEWTON MULLER PEREIRA

O BRASIL E O MERCADO INTERNACIONAL DE URÂNIO

Tese apresentada à Escola
Politécnica da USP para a
obtenção do Título de Doutor
em Ciências de Engenharia

CONSULTA
FT-579

São Paulo, 1990

BC
FT-579

NEWTON MULLER PEREIRA

Geólogo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1972

Mestre em Geociências - Universidade Federal da Bahia, 1979

O BRASIL E O MERCADO INTERNACIONAL DE URÂNIO

Tese apresentada à Escola
Politécnica da USP para a
obtenção do Título de Doutor
em Ciências de Engenharia

Orientador: Prof. Dr. **EDUARDO CAMILHER DAMASCENO**
Professor Titular do Departamento de
Engenharia de Minas da EPUSP

São Paulo, 1990

À Silvia, Pablo e Mariana

Agradecimentos

Aos professores Dr John M. A. Forman, Dr Adilson de Oliveira, e Dr André T. Furtado, pelo estímulo, sugestões e material bibliográfico colocado a disposição.

Ao Professor Dr Eduardo C. Damasceno, pelo acompanhamento e orientação prestada.

Ao Convênio UNICAMP/CCPG/CAPES/PICD, pela Bolsa de Deslocamento.

Resumo

Os recursos físséis se constituíram em importante instrumento de política nuclear no pós-Guerra. Através de seu controle, os Estados Unidos procuraram manter a hegemonia da tecnologia nuclear, política que influenciou nas diretrizes nacionalistas traçadas para o setor nuclear brasileiro em 1951. Essas diretrizes, enfatizaram o papel estratégico dos recursos físséis em detrimento de seu valor de mercado, impedindo que fossem aproveitados enquanto o país não dispusesse de tecnologia nuclear e não dominasse o ciclo do combustível.

Somente em 1988, com a criação da Urânio do Brasil, as atenções voltaram-se para o mercado internacional, atualmente desfavorável aos produtores. Mas essa situação não deve persistir. A se configurar o déficit previsto de 62600 toneladas U, até o ano dois mil, os estoques estarão reduzidos a menos de dois anos de consumo da capacidade nuclear instalada, exigindo investimentos na produção. Assim, novas oportunidades apresentar-se-ão nos anos noventa. Para aproveitá-las, o Brasil deverá desmitificar a importância estratégica do urânio para o país, e atrair investimentos na sua exploração e produção.

Abstract

In the post-war era fissionable material has constituted an important instrument of nuclear politics. Through its control the United States has endeavoured to maintain the hegemony of nuclear technology, a policy which influenced nationalistic guidelines drawn up for the Brazilian nuclear sector in 1951. These guidelines emphasized the strategic role of fissionable material in detriment to its market value, preventing its use until such time that the country possessed nuclear technology and had dominated the fuel cycle.

Only in 1988, when the Brazilian Uranium Co. (Urânio do Brasil) was formed, the attention return to the international market. At the present time this market is unfavourable to producers although this situation should not persist. If the deficit of 62600 tons U predicted by the year 2000 comes about, stocks will be reduced to less than two years consumption of the installed nuclear capacity thus requiring investments in production. Therefore, new opportunities will become available in the nineties. To take full advantage of them, Brazil should demystify the strategical importance of uranium and attract investments for its production.

O BRASIL E O MERCADO INTERNACIONAL DE URÂNIO

índice

	páginas
Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
índice de Tabelas.....	vii
índice de Figuras.....	viii
Introdução.....	1
1.URÂNIO: UMA REVOLUÇÃO CIENTÍFICA.....	5
2.A POLÍTICA BRASILEIRA PARA OS RECURSOS FÍSSEIS.....	15
3.A DEMANDA DE URÂNIO.....	74
3.1.Panorama de Longo Prazo.....	75
3.2.Panorama de Curto e Médio Prazos.....	91
3.2.1.Requerimentos de Urânio.....	92
3.2.1.1.Ciclo do Combustível Nuclear.....	94
3.2.1.2.Relações de Custos do Ciclo.....	101
3.2.1.3.Fontes de Incertezas.....	105
3.2.2.Estoques de Urânio.....	118
3.2.3.Reprocessamento do Combustível.....	125
3.2.4.Preços do Urânio.....	130

4.0 SUPRIMENTO DE URÂNIO.....	143
4.1. Distribuição Temporal dos Depósitos.....	151
4.2. Depósitos de Interesse Econômico.....	155
4.3. Recursos e Reservas.....	167
4.3.1. Classificação.....	168
4.3.2. Distribuição Geográfica.....	180
4.4. Produção.....	184
4.4.1. Perspectivas de Produção.....	191
4.5. Fontes de Incertezas.....	199
4.5.1. Fatores Econômicos.....	199
4.5.2. Fatores Políticos.....	202
4.5.3. Fatores de Produção.....	203
4.5.4. Estoques Formados pelos Produtores.....	204
4.5.5. Urânio como Sub ou Co-Produto.....	205
4.5.6. Outras Fontes de Suprimento.....	206
5.0 MERCADO DE URÂNIO.....	212
5.1. Mercado de Curto Prazo.....	215
5.2. Mercado de Longo Prazo.....	218
CÓNCCLUSÕES.....	229
Siglas e Abreviaturas.....	233
Bibliografia.....	235

índice de Tabelas

Tab.1-	Taxa Média Anual de Crescimento do Consumo de Energia, de Eletricidade e da Produção Nuclear no Período 74-86.....	76
Tab.2-	Participação das Diferentes Fontes na Geração de Eletricidade.....	78
Tab.3-	Prognósticos da Participação Nuclear na Geração de Eletricidade Até o Ano 2000.....	81
Tab.4-	Comparação entre Prognósticos da Capacidade Nuclear Elaborados nos Anos Setenta e a Efetivamente Instalada	84
Tab.5-	Prognósticos da Capacidade Nuclear Até 2000.....	86
Tab.6-	Distribuição da Capacidade Nuclear Instalada e sua Participação na Geração de Eletricidade....	88
Tab.7-	Requerimentos de Urânio.....	93
Tab.8-	"Requirements" e "Procurements" de Urânio.....	120
Tab.9-	Comparação entre "Requirements" x "Procurements" de Urânio.....	122
Tab.10-	Comparação entre Investimentos na Exploração de Urânio no Mundo Ocidental e no Brasil.....	150
Tab.11-	Comparação da Distribuição Geopolítica dos Recursos de Urânio com Outros Recursos Minerais e Energéticos.....	181
Tab.12-	Recursos Razoavelmente Assegurados de Urânio....	183
Tab.13-	Produção Histórica de Urânio.....	186
Tab.14-	Capacidade de produção de Urânio.....	196
Tab.15-	Balanco entre Requerimento e Produção de Urânio.....	225

índice de Figuras

Fig.1-	Distribuição da Capacidade Nuclear Mundial.....	89
Fig.2-	Taxa de Crescimento Médio Anual da Produção de Energia Nuclear entre 1988-2005.....	90
Fig.3-	Representação Esquemática do Ciclo do Combustível Nuclear.....	95
Fig.4-	Desdobramento dos Custos de Geração Nucleoelétrica (LWR).....	103
Fig.5-	Desdobramento dos Custos do Ciclo do Combustível Nuclear (LWR).....	104
Fig.6-	"Requirements" e "Procurements" de Urânio.....	121
Fig.7-	índices de Preços para o Carvão, Petróleo e Urânio, nos Estados Unidos, entre 1970 e 1982.....	133
Fig.8-	Preços Históricos do Urânio (Nuexco price).....	134
Fig.9-	Esquema de Classificação dos Recursos de Urânio.....	175
Fig.10-	Correlação entre Diferentes Sistemas de Classificação dos Recursos de Urânio.....	180
Fig.11-	Principais Reservas de Urânio.....	182
Fig.12-	Principais Produtores de Urânio.....	188

Introdução

A literatura sobre os recursos físséis brasileiros é eminentemente técnica. São bem documentadas as atividades de exploração dos recursos de urânio e de tório, assim como a descrição geológica dos depósitos e dos minérios desses elementos energéticos conhecidos no país. Quando se trata, porém, do aproveitamento desses recursos, é extremamente pobre. Pode-se mesmo afirmar que inexistem trabalhos publicados enfocando especificamente a política de utilização dos recursos físséis brasileiros, as relações técnico-econômicas do urânio no ciclo do combustível nuclear, ou que analisem as reservas de urânio do país no cenário internacional de suprimento e demanda desse insumo energético. Quando aparecem, são em forma de breves comunicações, na maioria das vezes patrocinadas por instituições oficiais, não se detendo na análise de oportunidades de comercialização do urânio. A comunidade acadêmica, em particular, não tem se ocupado do assunto.

O presente trabalho, embora não tenha a pretensão de preencher essa lacuna na literatura especializada brasileira, aborda, prioritariamente, a questão do aproveitamento dos recursos de urânio do Brasil.

A demarcação do tema partiu da seguinte questão: por que o Brasil não participa do mercado internacional de urânio se possui uma das grandes reservas desse elemento químico energético?

Procurou-se encontrar resposta para a questão no mercado dessa "commodity" mineral, mas não foi convincente. Novas pesquisas demandaram incursões pela história, pela política e pela economia dos recursos fósseis e de geração nucleoeleétrica. Assim, de uma demarcação concebida a partir da análise de suprimento e demanda, a pesquisa adquiriu componentes históricos e políticos importantes. O tratamento panorâmico passou a ser imperativo para o desenvolvimento do tema.

A diversidade de assuntos tratados fez com que se optasse por apresentar, no final de cada capítulo, um apanhado dos principais argumentos desenvolvidos e suas conclusões, os quais não constam do índice pois serão reunidos nas conclusões do trabalho.

Estruturado sob um prisma abrangente, o trabalho inicia por enfatizar o esforço científico que se seguiu à descoberta do urânio, até que as aplicações do elemento fossem direcionadas para o aproveitamento da energia nele contida. A partir daí, o trabalho mostra a importância que

os recursos físséis tiveram no limiar da era atômica, e relata como foram alçados ao centro dos embates políticos da questão nuclear.

O Brasil ganha destaque no trabalho, ao se opor a proposta norte-americana que visava controlar os recursos físséis do planeta, momento em que passam a ser relatadas as diversas fases da política nuclear brasileira, no que diz respeito ao aproveitamento do tório e do urânio. Nesse relato, encontra-se os motivos pelos quais o país não participa do mercado internacional de urânio.

Ao ser constatado que o Brasil não produz e não comercializa urânio por imposição de natureza diversa às forças de mercado, outra questão se colocou: haverá oportunidade para o país produzir urânio para o mercado internacional num futuro próximo?

Retoma-se a análise de suprimento e demanda como forma de identificar oportunidades no mercado internacional de urânio, até o ano dois mil. A matéria passa a ser desenvolvida com enfoque prospectivo.

No capítulo dedicado à demanda de urânio, discute-se a participação nuclear na geração de eletricidade e descreve-se, sucintamente, o ciclo do combustível nuclear. As relações técnico-econômicas, que

influenciam os requerimentos de urânio dos reatores nucleares, são também analisadas.

O suprimento de urânio é apresentado no capítulo seguinte, realçando-se os aspectos geológicos e econômicos que influenciam a produção de "yellowcake". Discute-se o sistema de classificação dos recursos utilizada internacionalmente e a adotada pela a Nuclebrás. Apresenta-se a capacidade de produção de concentrados de urânio dos países de economia de mercado e analisá-se as perspectivas para o ano dois mil.

Por fim, focaliza-se o mercado de urânio, sua história e características, e faz-se o balanceamento entre suprimento e demanda para a década de noventa, procurando, assim, responder a segunda questão que demarcou o assunto pesquisado.

As conclusões evidenciam os motivos que levaram a marginalização do Brasil do mercado internacional de urânio, as atuais tendências desse mercado, identificando-se as condições sob as quais o país poderia produzir e comercializar suas reservas desse energético.

1. URÂNIO: UMA REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

URÂNIO, o elemento químico natural mais pesado que ocorre na crosta terrestre, foi reconhecido, pela primeira vez, em 1789 por H. M. Klaproth. Muito antes de seu reconhecimento científico, contudo, o urânio era utilizado pelos romanos para dar coloração verde pálida a vidros e cerâmicas, propriedade também familiar aos vidreiros europeus antes e depois do Renascimento.

Apesar de Klaproth ter percebido que estava trabalhando com um elemento químico até então desconhecido, não conseguiu obtê-lo em sua forma elementar. Suas experiências limitaram-se a isolar o dióxido de urânio (UO_2) na forma pura, levando-o a classificar o elemento como semi-metálico. Empolgado com a recente descoberta do planeta Urano, batizou o elemento químico, alvo de seu trabalho, com o mesmo nome.

Pesquisadores alemães e franceses empenharam-se em confirmar a descoberta desse elemento tão pesado, ao que se seguiu intenso esforço na identificação de seus minerais. Berzelius, em 1816, descreveu a autunita,

$\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, em amostras procedentes de Autun, França. Em 1825, Haidinger identificou a lantanita $(\text{La}, \text{Ce})_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ e, no ano seguinte, a fergusonita $\text{Y}(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_4$ ⁴.

O ritmo de desenvolvimento que alcançava a mineralogia do urânio não se fazia acompanhar, entretanto, por progressos sensíveis em seu conhecimento químico. "Ninguém até àquela época, apesar de amplamente divulgada a existência do novo elemento, havia visto o urânio metálico"⁵. Isso só veio a acontecer em 1841, por obra do químico E. M. Peligot, ou seja, cinquenta e dois anos depois de ter sido descoberto.

Uma vez isolado o urânio metálico, suas propriedades puderam ser melhor estudadas, todavia não trouxeram inovação alguma quanto a outras utilizações além daquelas amplamente conhecidas. A revolução nas aplicações do elemento veio somente ocorrer em 1896, quando Henri Becquerel descobriu que os sais de urânio possuem a capacidade de impressionar películas fotográficas, mesmo não estando diretamente em contato com elas e sem o

⁴(N.da A.)- Lantanita e fergusonita são minerais portadores de terras raras, podendo conter quantidades mínimas de urânio substituindo isomorficamente o Nb, o La ou o Y. Não são considerados minérios de urânio. A citação tem caráter histórico.

A mineralogia do urânio pode ser obtida em C.FrondeI, Systematic Mineralogy of Uranium and Thorium, U.S.Geol. Survey, 1960, 400p. e em R.De Voto, Uranium Geology and Exploration, Colorado School of Mines, Golden, 1978, p.42-49, que apresenta um resumo do trabalho de FrondeI.

⁵Rômulo Argentiére, Urânio e Tório no Brasil, São Paulo, s.d., p.187.

concurso dos raios solares. A experiência excluía a possibilidade da radiação emitida ser atribuída à propriedades luminescentes do elemento. Descobriu Becquerel a radioatividade, nome cunhado por Marie Curie³ que encontrou no elemento químico rádio, as mesmas propriedades que Becquerel atribuía ao urânio.

Mal acabara Madame Curie de constatar que os minerais portadores de urânio apresentam, em maior grau do que os sais do elemento, capacidade de impressionar filmes fotográficos⁴, ela e seu esposo, Pierre Curie, solicitaram, por via diplomática, uma pequena quantidade de resíduos da planta de extração de urânio existente em Joachimsthal, na Tchecoslováquia. O exótico pedido, feito em 1898, despertou a curiosidade de cientistas europeus, desencadeando uma série de pesquisas no campo da radioatividade, as quais receberam forte apoio da Academia de Ciências de Viena⁵.

Sucederam-se um sem número de investigações e experimentos, que vieram implementar o conhecimento da matéria e de suas propriedades. Rutherford e Soddy, em 1902, assentaram as bases da teoria da desintegração radioativa. Boltwood, dois anos adiante, constatou que a relação urânio/rádio se mantinha constante na maioria dos

³Gunter Faure, *Principles of Isotope Geology*, New York, 1986, p.3.

⁴Arthur Holmes e Doris L.Holmes, *Geología Física*, Barcelona, 1980, p.258.

⁵John P. Marble, *Nuclear Geology*, New York, 1954, p.1.

minerais portadores de urânio e, logo a seguir, anunciou que o chumbo era o produto estável do decaimento radioativo do urânio e do tório.

Somente a partir daí, as pesquisas relacionadas com a radioatividade, passaram a extrapolar as fronteiras da mineralogia como campo de aplicação. A utilização terapêutica e industrial da radioatividade se estabeleceu em Paris, em 1906, quando foi fundado o Hospital do Rádio, especializado no tratamento de determinados tipos de câncer e na eliminação de pelos supérfluos.*

A constatação de que o decaimento radioativo é um processo exotérmico, abriu novos horizontes para o estudo dos materiais radioativos antes do século XX. Rutherford, McClung, Strutt, os Curies e Laborde, entre outros, pesquisaram o assunto, e os resultados, mais uma vez, abalaram os alicerces do conhecimento, notadamente o geológico.

Rutherford, em 1906, realizou as primeiras datações de minerais através da relação entre o urânio e o hélio. Ressalvadas as incorreções decorrentes da metodologia empregada, os resultados permitiram-lhe atribuir a idade mínima de 500 milhões de anos para a

*Rômulo Argentiére, op.cit., p.187.

origem da Terra, muito superior à estabelecida por Lord Kelvin⁷. Sem dúvida, uma revolução nas Geociências⁸.

A seguir, em 1907, Bertrand Boltwood ampliou para 2000 milhões de anos a idade mínima da Terra, medindo o chumbo radiogênico de minerais de urânio. Mas coube a John Joly publicar, em 1909, o mais importante trabalho da época, "Radioactivity and Geology", no qual abordou a formação de halos pleocróicos, o efeito da energia físsil no gradiente geotérmico e, antes de todos, apontou a desintegração nuclear como a fonte de energia do processo formador de montanhas⁹.

Depois de Joly, a Terra passou a ser considerada um globo energético com vasta quantidade de calor estocado em seu interior, e com capacidade para gerá-lo continuamente. Teorias que estabeleciam para o planeta poucas dezenas de milhões de anos, a exemplo dos vinte e quatro milhões matematicamente calculados pelo todo poderoso geofísico Lord Kelvin, tiveram de ser abandonadas¹⁰. O pressuposto esfriamento da Terra, pela perda do calor original, não se prestava mais, definitivamente, para medir sua idade.

⁷Henry Faul e Carol Faul, *It Began with a Stone*, New York, 1983, p.221.

⁸John P. Harble, *op.cit.*, p.3.

⁹Gunter Faure, *op.cit.*, p.3.

¹⁰Gunter Faure, *ibidem*, p.8.

As pesquisas no campo da radioatividade continuaram a se desenvolver mas não aumentaram, substancialmente, as reduzidas quantidades de urânio requeridas mundialmente. Isso veio a ocorrer, encerrando "the heroic age of natural radioactivity", somente quando o químico alemão Otto Hahn obteve, em laboratório, a fissão do núcleo do átomo de urânio em dois outros mais leves, com liberação de significativa quantidade de energia. Fora descoberta a energia nuclear em 1938⁴⁴.

"Así, en lugar de ser padre de dioses, Urano, junto con Thorio, ha resultado ser padre de elementos. De ser señor de los rayos, Thorio se ha convertido, junto con Urano, en generador centelleante de proyectiles atómicos de gran velocidad."⁴⁵

O urânio, elemento de número atômico 92 e peso atômico 238,03 consiste, na realidade, numa mistura de quatorze espécies naturais, a maioria com meia-vida tão curta que se torna impossível detectá-las.⁴⁶ Dentre as variedades isotópicas, três podem ser destacadas por

⁴⁴(N.da A.)- A descoberta da fissão nuclear também é, frequentemente atribuída ao físico Fritz Strassman, colaborador de Hahn em suas pesquisas.

⁴⁵Arthur Holmes e Doris L.Holmes, op.cit., p.259.

⁴⁶R.W.Fairbridge, The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences, Pensilvania, 1972, pp. 1215-1238.

ocorrerem em materiais naturais; todas três radioativas mas somente uma espontaneamente físsil, ou seja, o isótopo 235.

Isótopo	Abundância(%)	Meia-vida(anos)
238	99,27	$4,51 \times 10^9$
235	0,72	$7,13 \times 10^8$
234	0,0056	$2,48 \times 10^5$

A maior abundância do isótopo 238 é creditada a forte interação entre seus prótons e nêutrons, a qual lhe confere maior estabilidade nuclear do que às demais espécies. Portanto, enquanto a abundância relativa dos isótopos do urânio é uma propriedade nuclear, o comportamento químico e a distribuição do elemento nas diferentes partes e materiais do planeta é controlada pela configuração eletrônica, não diferindo dos outros elementos químicos naturais.

Configuração eletrônica

da camada de valência: $5f^3 6d^1 7s^2$

As formas iônicas do urânio vão do U^{+3} ao U^{+4} , passando por todos os estados de oxidação intermediários, o que lhe propicia formidável capacidade de adaptação aos diversos ambientes naturais.

O processo de ionização compreende a perda dos eletrons $6d^1$ e $7s^2$, os quais, frouxamente ligados entre si e ao núcleo do átomo, podem ser removidos com maior facilidade para a formação do U^{+6} . A remoção sucessiva dos três eletrons $5f$, mais intimamente ligados ao núcleo, leva ao aparecimento das espécies iônicas U^{+4} , U^{+5} e U^{+6} . A presença desses íons depende da maior ou menor capacidade de oxi-redução do meio. Entretanto, as espécies U^{+4} e U^{+6} são mais frequentes, pois o íon U^{+5} é muito instável, passando instantaneamente a uma das outras duas. Soluções fortemente ácidas favorecem a estabilidade das espécies menos oxidadas, podendo mesmo levar ao aparecimento de urânio elementar.

O urânio é, sem dúvida, versátil, adaptando-se aos mais diversos ambientes geológicos conhecidos. Por tratar-se de um elemento litófilo, é extremamente sensível aos mecanismos atuantes na crosta, tais como, intemperismo, sedimentação, metamorfismo, tectonismo e tantos outros.

A abundância do urânio na crosta terrestre é matéria controversa. Qualquer número que seja proposto entre 1ppm e 4ppm estará coberto pela literatura especializada. Mas se, sob a ótica científica essa variação não chega a ser importante, passa a ser quando modelos

exploratórios, com base na abundância crustal, são formulados para o elemento.

Adotando-se o modelo proposto por Clark, no clássico "Structure of the Earth"¹⁴, podem ser estimadas quantidades de urânio na crosta terrestre entre 23×10^{12} e 92×10^{12} toneladas. Mas esses limites devem ser bem menores, visto a concentração do elemento decrescer, rapidamente, com a profundidade¹⁵.

Resta ainda mencionar que a abundância do urânio é aproximadamente a mesma do cobre, do zinco e do chumbo, elementos de uso muito mais corriqueiro nos dias de hoje.

* * *

Conclusões Parciais

A descoberta do urânio e de suas propriedades nucleares promoveram um dos maiores esforços científicos presenciados pela humanidade, cujas consequências abalaram os alicerces nos mais variados campos do conhecimento. Nas

¹⁴Sidney P. Clark, Structure of the Earth, Englewood Cliffs, 1971, p.3.

¹⁵I.B.Lambert e K.S.Heier, Estimates of the Crustal Abundances of Thorium, Uranium and Potassium, Chem.Geol. 3:233-238, 1968.

geociências, as repercussões não só foram imediatas como profundas, a mais notável das quais, estabeleceu idade para a Terra muito superior do que a suposta na época, isso passados tão somente dez anos das primeiras experiências com radioatividade.

O esforço científico, entretanto, somente veio repercutir nas quantidades de urânio requeridas mundialmente, quando a fissão do átomo foi dominada, abrindo-se, assim, novos campos para a utilização do elemento. Verificou-se, então, que o urânio é um elemento de ampla distribuição na crosta terrestre, adaptado aos mais diferentes ambientes geológicos, dos quais pode ser recuperado.

2. A POLÍTICA BRASILEIRA PARA OS RECURSOS FÍSSEIS

Da experiência de laboratório, conduzida por Hahn, ao funcionamento da primeira pilha atômica, construída pelo italiano Enrico Fermi, somente se passaram quatro anos. Menos que isso levou, contudo, para ser percebido o potencial destruidor que a descoberta de Hahn encerrava.

"A humanidade teve notícia da descoberta da energia atômica através da divulgação de duas hecatombes, deliberadamente provocadas, em que pereceram cento e cinquenta mil homens, mulheres e crianças..."⁴

Sobre Hiroshima, em 6 de agosto de 1945, foi lançada, pelos Estados Unidos, a mais impressionante e letal das apropriações científicas e tecnológicas para fins militares: A Bomba Atômica.

⁴Olympio Guilherme, O Brasil e a Era Atômica, Rio de Janeiro, 1957, p.25.

Desde que a indústria da guerra vislumbrou o potencial das armas nucleares e seu conseqüente poder político, as pesquisas nucleares passaram a ser matéria de absoluto sigilo, incorporadas a setores militares, e motivo de disputa entre nações. O Manhattan Engineering District, que emprestou suas dependências aos cientistas e engenheiros norte-americanos, britânicos e canadenses para o desenvolvimento da bomba atômica, foi palco do primeiro embate internacional pela posse da tecnologia nuclear.

Em meados de 1945, os norte-americanos apoderaram-se toda a informação que havia sido gerada em Manhattan, impondo sua direção às pesquisas. Não bastasse isso, alguns dias após o "êxito" do Projeto Manhattan, atestado pela destruição de Hiroshima e Nagasaki, o Congresso dos Estados Unidos proibiu, aos cidadãos desse país, facilitar qualquer tipo de acesso à informação nuclear para os antigos aliados, Canadá e Grã-Bretanha, na construção da bomba.

O Departamento de Estado Norte-americano logo percebeu a ineficácia de tal medida. A fissão nuclear fora resultado de pesquisas realizadas por mais de uma geração de cientistas espalhados por toda a Europa. Tudo de importante sobre ela já havia sido fartamente divulgado.

"Assim sendo, dificilmente se poderia pensar na conservação de um segredo que nunca existira de fato, que jamais fora patenteado, e que só por isso, porque nunca existira, tornara possível o avanço admirável da física e da química nucleares ao ponto em que os Estados Unidos as encontraram no advento da Segunda Guerra."⁸

Mesmo não havendo o "grande segredo", a posse da tecnologia da fissão continuou sendo motivo de escaramuças diplomáticas entre os antigos aliados no Projeto Manhattan. A par dessas, outros interesses não menos sensíveis à questão nuclear apontavam para o hemisfério sul e, em especial, para o Brasil.

Conscientes de que a tecnologia nuclear brevemente seria do conhecimento de outros países, restava aos Estados Unidos empenhar-se em postergar ao máximo a sua disseminação, o que poderia ser conseguido dificultando-lhes o acesso aos recursos físséis. Assim, a ação não se fez esperar.

⁸Olympio Guilherme, *op.cit.*, p.28.

Na Conferência Interamericana sobre Problemas da Guerra e da Paz³, realizada em fevereiro e março de 1945, antes mesmo da fissão nuclear ser considerada alternativa energética importante, os Estados Unidos conseguiram aprovar, por unanimidade, uma proposta de solidariedade continental, garantindo-lhes o "...abastecimento de matérias-primas estratégicas, em quantidade suficiente e no menor prazo possível"⁴.

A intenção de controlar os materiais físséis, a partir de então, tornou-se evidente.

Mas, se a nível das nações americanas a proposta dos Estados Unidos obteve apoio incondicional, o mesmo não se podia afirmar em relação ao restante do mundo.

Assim, após destruir Hiroshima e Nagasaki, os Estados Unidos procuraram apoio da Inglaterra e da União Soviética, para criar uma entidade internacional que se ocupasse dos mais variados aspectos da energia nuclear, inclusive suas implicações bélicas.

À sombra dessa louvável iniciativa escondia-se o Relatório Acheson-Lilienthal, sugerindo ao Departamento de Estado Norte-americano que colocasse todas as minas de materiais suscetíveis de fissão nuclear sob controle internacional.

³(N.da A.)- Realizada na capital mexicana, e também conhecida por Conferência de Chapultepec.

⁴Conferência de Chapultepec, Resolução Nº XXI, In: Olympio Guilherme, op.cit., p.29.

Na primeira reunião da recém fundada Organização das Nações Unidas, em 24 de janeiro de 1946, foi criada a Comissão de Energia Atômica. Seis meses após sua criação, quando se reuniu pela primeira vez, Bernard Baruch, chefe da delegação estadunidense, apresentou um plano de controle internacional da energia atômica, incorporando as recomendações do Relatório Acheson-Lilienthal.

Para surpresa geral, o Plano Baruch, como ficou conhecido, foi vetado pela União Soviética, a qual apoiara a proposição norte-americana de criação da Comissão de Energia Atômica. A essa proposta também se manifestou contrária a delegação brasileira, chefiada pelo Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva.

"A verdade é que o plano Baruch se desmoronou porque seu ideal de garantir uma segurança quase absoluta aos Estados Unidos dependia da aceitação de um programa de ação que teria colocado a União Soviética e o pequeno grupo de nações possuidoras de minerais físséis, como o Brasil e a Índia, numa posição de completa subordinação ao grupo de nações dominado por Washington."⁵

⁵Olympio Guilherme, op. cit., p.42.

A incansável movimentação diplomática norte-americana na busca de mecanismos internacionais, que assegurassem a não proliferação das armas atômicas, disfarçava, na verdade, a preocupação maior de postergar, tanto quanto possível, a utilização industrial da energia nuclear por outras nações.

Os recursos minerais foram instrumento dessa política subterrânea.

Em todo caso, analisar se a intenção dos Estados Unidos era de fato abolir as armas nucleares, como fora dramaticamente anunciado por Baruch, ou limitar a si próprio esse conhecimento, não cabe aqui pormenorizar. Cabe, entretanto, ressaltar que,

"...não há milagre: a potência máxima para o bem, sob a forma de energia elétrica em profusão, e a potência máxima para o mal, sob a forma de ameaças de destruições massivas, são o verso e reverso da mesma técnica, não teremos uma sem a outra."⁴

⁴L. Puisseaux, A Controvérsia da Questão Nuclear, Rio de Janeiro, Rev. do Clube de Engenharia 425, 1982, p. 50.

O acesso aos recursos minerais físséis tornou-se vital às pretensões bélicas norte-americanas, a partir da implantação do Projeto Manhattan, em 1941. Para tanto, valeu-se de um abrangente "Programa de Cooperação" no setor mineral, firmado em 1940, para vasculhar o território brasileiro, sobretudo em busca de minerais de tório e de urânio⁷.

A esse Programa, seguiu-se uma proposta de compra de minerais físséis, apresentada à delegação do Brasil na Conferência de Chapultepec, referendada pelo governo brasileiro em 10 de julho de 1945. Celebrava-se, assim, o Primeiro Acordo Atômico, pelo qual o Brasil se comprometeu a entregar, com exclusividade, 5000 toneladas de monazita aos Estados Unidos, num prazo máximo de três anos.

Enquanto o Primeiro Acordo Atômico era assinado, o Departamento de Estado Norte-americano preparava a proposta de criação da Autoridade de Desenvolvimento Atômico-ADA, objetivo maior do Plano Baruch. Para essa organização internacional deveria ser transferida a propriedade de todas as minas de minerais físséis existentes ou que viessem a ser descobertas no planeta.

⁷(N.da A.)- Apesar de Olympio Guilherme deixar claro que esse Programa de Cooperação teve por objetivo o "...levantamento de nossas reservas petrolíferas, mas sobretudo, toríferas e uraníferas", essa afirmação merece ser investigada em maior detalhe.

Na reunião inicial da Comissão da ONU (15-VI-1946), o chefe da delegação norte-americana (Baruch) apresentou oficialmente a proposição de seu governo, obra-prima de rabulice do Departamento de Estado:

'Os Estados Unidos propõe a criação de uma Autoridade de Desenvolvimento Atômico, à qual serão confiadas tôdas as fases da produção e uso da energia atômica, partindo das matérias-primas...

...A Autoridade deverá exercer poderes de direção completa sôbre a produção de materiais físséis. Isto significa que ela deverá dirigir e fazer funcionar tôdas as usinas produtoras dêsses materiais em quantidade perigosas, e que ela DEVERÁ POSSUIR a produção dessas usinas e delas dispor livremente.'

Assim sendo, portanto, se o Plano Baruch - síntese dos planos anteriores de contrôle da energia atômica - continha as disposições acima transcritas, como poderia qualquer das nações possuidoras de minerais físséis, como o Brasil, submeter-se às suas imposições sem comprometer

irremediavelmente o futuro desenvolvimento de sua energia nuclear, mesmo para fins pacíficos ?

Apesar de bloqueada pela contraproposta soviética (Plano Gromyko), a delegação norte-americana junto à Comissão de Energia Atômica da ONU entrou na segunda fase de sua manobra ao apresentar o Memorandum Nº 1, no dia 2 de julho de 1946, contendo o plano detalhado para o funcionamento da entidade internacional encarregada do controle da energia atômica que incluía, não apenas o controle dos materiais físséis, na boca das minas, mas a apropriação por parte da referida entidade, das próprias fontes de matérias-primas nucleares. O primeiro item do documento estabelecia os poderes que deveriam ser atribuídos à Autoridade:

'...estar habilitada a assegurar o controle completo ou mesmo a PROPRIEDADE de todo o urânio, de todo o tório e de tôdas as outras fontes potenciais de energia atômica...'

Os protestos do delegado brasileiro na Comissão de Energia Atômica da ONU, a respeito da tentativa de expropriação das jazidas de minerais físséis, não foram de

todo em vão. No Primeiro Relatório dessa Comissão ao Conselho de Segurança da ONU, em 30 de dezembro de 1946, a questão foi apresentada de maneira mais branda:

"La propiedad em manos de un organismo de control internacional de las minas y de los minerales que aún hallan en ellas no se considera como indispensable."*

E assim o Plano Baruch foi ratificado pelo Conselho de Segurança das Nações Unidas, com o voto favorável do representante brasileiro na Comissão de Energia Atômica, Almirante Álvaro Alberto.

A situação delicada dos países detentores de recursos físséis não foi resolvida, entretanto, com o aparente abrandamento dos interesses internacionalizantes, observados na nova redação do Relatório da Comissão. Muito pelo contrário. Ficaram eles expostos ao jogo de pressões que os detentores da tecnologia nuclear, especialmente os Estados Unidos, quisessem ou conseguissem, em determinado momento, aplicar.

* (N. da A.) - Olympio Guilherme, op. cit., p. 93, transcreve resumo do 1º Relatório da Comissão de Energia Atômica ao Conselho de Segurança da ONU, o qual consta no 2º Relatório dessa mesma Comissão, datado de 11 de setembro de 1947, editado pela delegação dos Estados Unidos junto à ONU.

Muito bem se ajusta a essa situação a doutrina que postulou a necessidade de corrigir as injustiças que a natureza cometeu ao distribuir de maneira tão desigual, nas diversas regiões do planeta, os recursos minerais físseis. Evidentemente, outra pérola sustentada pela delegação norte-americana na Comissão de Energia Atômica da ONU, a qual foi refutada pelo Almirante Álvaro Alberto "indagando se os possuidores de jazidas de ouro e petróleo estariam dispostos a distribuírem essas riquezas..."⁴⁰

A essa época, eram conhecidas jazidas de minerais físseis: no Canadá e no então Congo Belga, ambos com contratos com os Estados Unidos; na Índia, sob domínio da Inglaterra; na Tchecoslováquia, com toda a produção da célebre mina de Joachimsthal a serviço da União Soviética; e no Brasil⁴¹, sob o constante assédio norte-americano.

Expirado o Acordo Atômico de 1945, o Brasil negociou um novo programa de cooperação, com os Estados Unidos, nos moldes daquele que firmara em 1940, para estudar seus recursos minerais. Celebrado em 26 de novembro de 1948 sob a denominação de Acordo Administrativo,

⁴⁰Olympio Guilherme, *op.cit.*, pp.96-97.

⁴¹(N.da A.)- Em 1886, o inglês John Gordon se estabeleceu no litoral da Bahia, precisamente em Cumuruxatiba, onde concentrava monazita e exportava-a para ser beneficiada na Europa.

realçava, contratualmente, o caráter confidencial dos resultados das pesquisas que viessem a ser realizadas.

Mesmo não tendo sido prorrogado o Primeiro Acordo Atômico, as exportações de monazita continuaram sem que qualquer atitude fosse tomada pelo governo brasileiro. Entre 1945 e 1955 foram exportadas 32000 toneladas de monazita "in natura" ou industrializada sob a forma de óxido de tório¹².

As informações oficiais quanto as exportações de monazita, entretanto, estão longe das quantidades avaliadas por Heitor Façanha da Costa, engenheiro de minas da Divisão de Fomento da Produção Mineral, em seu depoimento à Comissão Parlamentar de Inquérito, instaurada em 1956, para proceder as investigações sobre o problema de energia atômica no Brasil. Arguido pelo Deputado Dagoberto Salles, Relator da Comissão, a respeito da quantidade de monazita que deixara o país até àquela data, o engenheiro confirmou dados atribuídos ao geólogo Othon Leonardos, que o Brasil sofrera um desfalque de mais de 110000 toneladas de monazita¹³, muito das quais "sem ser escriturada, como lastro de navios"¹⁴.

¹²Dagoberto Salles, Relatório da CPI para proceder a investigação sobre o problema de energia atômica no Brasil, Brasília, Câmara dos Deputados, 1962, p.21.

¹³Cf Aluisio C. Maciel e Paulo R. Cruz, Perfil Analítico do Tório e Terras Raras. Boletim n.28, DNPM, 1973. 72p.

¹⁴Dagoberto Salles, *ibidem*, p.22.

É necessário que se esclareça que, nos anos quarenta e cinquenta, enquanto não se tornara categórica a opção pelo ciclo do combustível nuclear com base no urânio, o tório, cujo principal minério era a monazita, era tão disputado por suas qualidades energéticas quanto o urânio. Ou até mais, seja pela facilidade de recuperar monazita nas areias de praias, seja pela localização litorânea de seus jazimentos, presa fácil para operações internacionais.

Inúmeras comitivas norte-americanas passaram pelo Brasil, entre o final da década de quarenta e início dos anos cinquenta, em busca de soluções para o problema de provisionamento de recursos físséis dos Estados Unidos. O Brasil sofria pressão cerrada quanto a questão dos recursos físséis, ao mesmo tempo em que era mantido totalmente à margem do desenvolvimento da tecnologia nuclear.

Internamente, o governo brasileiro oscilava ora ao sabor da política de subserviência aos interesses norte-americanos que imperava no Itamaraty, ora comprometido com postulações nacionalistas de setores militares, que encontravam, no Almirante Álvaro Alberto, um obstinado representante.

A tese defendida no Relatório Acheson-Lilienthal, que seria impossível manter por muito tempo o segredo da tecnologia nuclear para fins militares, verificou-se bem

antes que o esperado pelo Departamento de Estado Norte-americano. Em agosto de 1949, a União Soviética fez explodir seu primeiro artefato nuclear. Restava aos Estados Unidos, uma vez perdido o monopólio da bomba, concentrar-se, ainda mais, na política de dificultar o acesso aos materiais físséis necessários ao desenvolvimento atômico, militar e civil, de outras nações.

Os insistentes assédios norte-americanos sobre os recursos minerais físséis brasileiros, começaram alertar, cientistas e políticos, para a importância que o tório e urânio teriam com o desenvolvimento da energia nuclear. Por outro lado, a experiência adquirida pelo Almirante Álvaro Alberto na Comissão de Energia Atômica da ONU, sugeria a necessidade de formar pesquisadores e técnicos para acompanhar o desenvolvimento da tecnologia nuclear, e a premência em adotar uma posição soberana sobre os recursos físséis do país. Entre as chefias militares começou a se difundir a idéia de se esboçar, com urgência, uma política atômica nacional.

Assim é que, em 15 de janeiro de 1951, o Congresso aprovou a Lei 1310, criando o Conselho Nacional de Pesquisas-CNPq, cujo ante-projeto havia sido elaborado por Álvaro Alberto da Motta e Silva, seu primeiro presidente.

A Lei 1310 estabeleceu, também, o monopólio estatal da energia atômica no Brasil e proibiu a comercialização de recursos físséis¹⁵:

"Art.3º.....

Parágrafo 3º - O Conselho incentivará, em cooperação com órgãos técnicos oficiais, a pesquisa e prospecção das reservas existentes no país de materiais apropriados ao aproveitamento da energia atômica.

Art.4º - é proibida a exportação, por qualquer forma, de urânio e tório e seus compostos e minérios, salvo de govêrno a govêrno, ouvidos os órgãos competentes.

Art.5º - Ficarão sob contrôle do Estado, por intermédio do Conselho Nacional de Pesquisas ou, quando necessário, do Estado-Maior das Forças Armadas, ou de outro órgão que fôr designado pelo Presidente da República, tôdas as atividades referentes ao aproveitamento da energia atômica, sem prejuízo da liberdade de pesquisa científica e tecnológica."

¹⁵Olympio Guilherme, op.cit., pp.281-188.

Após a promulgação da Lei 1310, seguiu-se um período de íntima colaboração entre o Conselho Nacional de Pesquisas, o Estado Maior das Forças Armadas (EMFA) e o Conselho de Segurança Nacional (CSN), os quais traçaram as diretrizes da política nuclear brasileira fundamentando-a em dois princípios :

a) O princípio das *compensações específicas*, o qual propugnava que além do valor comercial intrínseco, os minérios físseis brasileiros só poderiam ser exportados mediante compensações, por parte do comprador, que propiciassem o aparelhamento do Brasil para a era atômica.

b) O princípio da *liberdade de relações com outros povos*, o qual procurava retirar o Brasil da tutela norte-americana, abrindo-se para a colaboração atômica com outras potências.

Mas, sem que os mentores dessas diretrizes soubessem, o governo brasileiro, sob pressão do presidente da Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos, Gordon Dean, em visita ao Brasil, concordou em celebrar um novo acordo atômico, que não contemplasse as compensações específicas.

A resistência do Conselho Nacional de Pesquisas em aceitar as razões de "ordem superior" evocadas, embora

nunca admitidas pelo Ministro das Relações Exteriores João Neves da Fontoura, para desconsiderar o princípio das compensações, levou o Chanceler a criar a Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos-CEME. A partir de 21 de fevereiro de 1952, a CEME passou a se responsabilizar pela comercialização dos minérios físseis brasileiros.

Através do Segundo Acordo Atômico, o Brasil comprometeu-se a vender anualmente 2500 toneladas de óxido de tório, e os Estados Unidos a comprar sais de cério e terras raras derivados do processamento de outras 2500 toneladas de monazita.

Meses após a celebração do Segundo Acordo, aliás, assinado no mesmo dia em que foi criada a CEME, o governo norte-americano solicitou ao Brasil que entregasse toda a cota de óxido de tório prevista para os três anos de vigência do Acordo. Com o parecer favorável da CEME, toda a cota foi entregue, tendo os Estados Unidos, então, se desinteressado em adquirir ou pagar os sais de cério e terras raras, conforme o convencionados.

Alijado da condição de responsável pela comercialização dos minérios físseis brasileiros, depois da criação da CEME, o CNPq passou a concentrar todos os esforços nas atividades referentes ao aproveitamento da energia atômica. Assim, no início de 1953, o Almirante

Álvaro Alberto foi à Alemanha Ocidental contratar a compra de três ultra-centrífugas, para proceder o enriquecimento isotópico de urânio no Brasil.

Nessa mesma época, a empresa francesa Societé de Produits Quimiques des Terres Rares foi convidada para projetar, também por iniciativa do Almirante Álvaro Alberto, uma usina de beneficiamento de urânio para ser instalada em Poços de Caldas.

Apesar do aval do Presidente Vargas e do pagamento de 80 mil dólares ao governo alemão, as ultra-centrífugas somente chegaram ao Brasil muitos anos depois, indo parar nos depósitos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Por seu lado, o projeto francês da usina de beneficiamento nunca saiu do papel.

As circunstâncias que levaram a esses acontecimentos não foram satisfatoriamente esclarecidas até hoje. Tem-se conhecimento, porém, que a aquisição das ultra-centrífugas foi considerada, se não um ato de traição, pelo menos uma grave insubordinação do governo brasileiro aos interesses norte-americanos.

Pela ousadia e tantos outros deserviços prestados aos interesses norte-americanos no Brasil, o Almirante Álvaro Alberto passou a ser considerado "persona non grata" aos Estados Unidos da América do Norte.

De certa forma, para aplacar as repercussões negativas geradas pelo descumprimento do Segundo Acordo, o governo norte-americano se prontificou a adquirir, do Brasil, mais 5000 toneladas de areias monazíticas e 5000 toneladas de derivados de cério e terras raras, a serem entregues em dois anos. O Brasil receberia em pagamento 100000 toneladas de trigo, que seriam entregues imediatamente.

Aprovado pela CEME, sob protestos do representante do Conselho de Segurança Nacional, o Terceiro Acordo Atômico foi firmado em 20 de agosto de 1954. Passou para a história como o "Acordo do Trigo".

O governo dos Estados Unidos, após acertados os detalhes do Acordo, recusou-se a assumir a compra dos sais de cério e de terras raras contratada, tal como aconteceu no Acordo anterior. Ofereceu ao governo brasileiro, a título de compensação, um crédito suplementar para a aquisição de mais 500000 toneladas de trigo. Com o dinheiro apurado nessa transação, aí sim, compraria os sais de cério e de terras raras de que tratava esse último Acordo. Em 16 de novembro de 1955 a operação foi totalmente concluída.

Antes disso, porém, o Itamaraty submeteu, ao governo brasileiro, outra proposta norte-americana para

adquirir mais 200 toneladas anuais de óxido de tório, por um período de dois anos. A proposta recebeu parecer favorável da CEME em 15 de janeiro de 1956.

Essa transação revestiu-se de particular importância, pois serviria para aliviar a crítica situação financeira em que se encontrava a Orquima- Indústrias Químicas Reunidas S.A., que se instalara em São Paulo, em 1948, para produzir óxido de tório e sais de terras raras. O próprio CNPq, preocupado em incentivar a indústria dos materiais físséis no país, entendia a necessidade de recuperar financeiramente a Orquima.

"Portanto, em consequência da falta de cumprimento dos termos do acôrdo de 52, por parte do Govêrno norte-americano, o Govêrno brasileiro consentiu em suplementares desfalques em suas reservas de minerais atômicos, e já agora, não mais se falou nas compensações específicas. Extravagante solução!"¹⁶

O Segundo Acordo Atômico, firmado em 1952, trouxe, sem dúvida, compensações ao Brasil. Não foram elas, entretanto, em prol do desenvolvimento nuclear, como

¹⁶Dagoberto Salles, op.cit., p.35.

pretendia o CNPq, e sim, de natureza político-econômica. O que se pode alegar é que não foram específicas, certamente.

A ascensão de Getúlio Vargas ao poder, em 31 de janeiro de 1951, foi encarada com muita desconfiança pelo governo norte-americano, envolvido no conflito da Coréia. O apoio solicitado pelos Estados Unidos à América Latina contra a ameaça comunista, não sensibilizou Vargas, que se negou, terminantemente, a enviar tropas para a região conflagrada. Mas pareceu politicamente sensato, ao governo brasileiro, demonstrar solidariedade a outra nação americana envolvida na guerra, fornecendo-lhe recursos minerais físseis. A barganha foi aceita: 7500 toneladas de monazita no lugar de tropas brasileiras na Coréia.

Por outro lado, desde que Vargas assumira o poder, o Brasil não havia sido contemplado com ajuda norte-americana significativa. O Catete estava ávido por financiamentos. A promessa norte-americana de emprestar 500 milhões de dólares ao Brasil, materializada pelo "gentlemen's agreement" firmado em 2 de novembro de 1951, em Washington, sensibilizou as autoridades brasileiras para a assinatura do Segundo Acordo. Os dólares do "gentlemen's agreement" foram decisivos para as "razões de ordem superior" que relegaram ao esquecimento as compensações específicas sempre que estivesse em pauta a exportação de minérios físseis.

O governo brasileiro barganhou às custas de sua riqueza mineral.

O Terceiro Acordo Atômico, por sua vez, deu-se num cenário mundial completamente diferente daquele em que aconteceram os anteriores, no que diz respeito ao setor nuclear. Além de ter perdido o monopólio da bomba, os Estados Unidos também não detinham mais o monopólio da tecnologia nuclear. Reatores atômicos já operavam, em 1953, na França, no Canadá e na Noruega, em adição aos existentes nos Estados Unidos, na Inglaterra e na União Soviética⁴⁷. Definitivamente o "Grande Segredo" não tinha mais razão de ser.

A política nuclear norte-americana começou, então, a sofrer completa redefinição, passando da intransigente não-cooperação aos dramáticos apelos conclamando as potências mundiais a se unirem, num esforço concentrado, para o desenvolvimento dos usos pacíficos da energia atômica. Essa foi a essência do histórico discurso pronunciado pelo Presidente Eisenhower, na Assembléia Geral das Nações Unidas, a 7 de dezembro de 1953.

⁴⁷(N.da A.)- A existência de reatores nucleares em diversos países em 1953, não deve ser confundida com a primazia da conexão da energia gerada por um reator à rede de distribuição de eletricidade, a qual é da Inglaterra, em 1956.

O "Acordo do Trigo" foi assinado, portanto, quando, teoricamente, não havia mais restrições à difusão da tecnologia nuclear por parte dos Estados Unidos, que surpreenderam o mundo com a proposta "Átomos para a Paz". Mesmo com a conjuntura aparentemente favorável, a Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos abriu mão das compensações tecnológicas, em troca do minério de tório contratado no Terceiro Acordo Atômico. A troca de monazita e sais de seu tratamento por trigo, do excedente norte-americano, foi uma transação puramente comercial.

Enquanto que para o CNPq, para o EMFA e para o CSN o caráter estratégico dos minérios físseis era supervalorizado, para a CEME não passavam de um bem comercializável como outro qualquer.

"Não há dúvida de que as contradições fundamentais entre os objetivos da política americana e brasileira em matéria de energia atômica, tem sua causa no choque de interesses...e que se constitui, em última análise, no conflito de uma nação subdesenvolvida, detentora de matérias primas, e outra, no auge de seu progresso industrial e tecnológico, que necessita destas matérias

primas. Trata-se de uma luta de ordem econômica."¹⁰

Merece especial atenção um aspecto que se manifestou, de maneira mais que evidente, desde as primeiras tentativas para estabelecer uma política atômica para o Brasil, até a contratação do programa nuclear com a Alemanha: a preocupação de dominar o ciclo do combustível em sua totalidade. A pretexto dessa bandeira, verdadeira obsessão dos círculos militares nacionalistas, foi e vem sendo desprezada a oportunidade do Brasil participar de importantes segmentos desse ciclo, entre os quais, da produção de concentrados de urânio para o mercado internacional.

Desde a Comissão de Fiscalização dos Minerais Estratégicos, constituída em 1947 para formular uma política de aproveitamento criterioso dos recursos de tório do país, a obrigatoriedade de tratamento dos minerais físséis, em território nacional, aparecia claramente. Se, por um lado, essa diretriz pretendia fomentar a indústria brasileira no campo do tratamento dos minérios radioativos, por outro, almejava acentar as bases para uma futura autonomia no ciclo do combustível.

¹⁰Renato Archer, Política Nacional de Energia Atômica, in: Dagoberto Salles, Energia Atômica, São Paulo, 1958, p.212.

Muito mais explícito se tornou o interesse pelo ciclo completo, quando o Almirante Álvaro Alberto, em 1953, dirigiu-se à Alemanha Ocidental para adquirir, em nome do CNPq, as três ultra-centrífugas já referidas, ao mesmo tempo em que buscou, na França, auxílio para instalar um complexo mineiro-industrial na jazida de urânio de Poços de Caldas. Essas ações solitárias do Almirante Álvaro Alberto, mais em repúdio ao tratamento dispensado pelo governo norte-americano às pretensões nucleares brasileiras do que devido a premência da utilização de energia nuclear, não lhe permitiram perceber que o domínio do ciclo do combustível não era tarefa para ser implementada por um país isoladamente.

Enquanto procurava-se adquirir ultra-centrífugas no exterior, na Europa era articulada a European Atomic Energy Community - EURATOM, através da qual os países europeus puderam superar as necessidades financeiras e tecnológicas requeridas por um empreendimento da envergadura do exigido para o domínio do ciclo do combustível nuclear.

A pretensão brasileira de dominar o ciclo do combustível nuclear não foi alcançada na década de cinquenta, mas a obsessão continuaria a se manifestar muito tempo depois, ou melhor, até hoje.

Enquanto a disputa pela tecnologia nuclear arrefecia com a campanha "Átomos para a Paz", a situação política, no Brasil, não propiciava avanços na estruturação do setor nuclear. Muito pelo contrário. O suicídio de Vargas, em 24 de agosto de 1954, colocou o país numa crise sem precedentes, facilitando o surgimento de articulações para modificar a política atômica, e assim torná-la mais alinhada e receptiva aos interesses norte-americanos.

Em 4 de novembro de 1954, o General Juarez Távora, Chefe do Gabinete Militar no governo Café Filho, solicitou ao Conselho de Segurança Nacional a revisão das diretrizes da política nuclear brasileira. Para tanto, deveriam ser levados em consideração, além das diretrizes anteriormente traçadas pelo CNPq e pelo CSN, quatro outros documentos, secretos, aos quais só o General tivera acesso até então.

A solicitação, na prática, buscava compatibilizar as diretrizes da política atômica, traçadas até àquela época, com os "documentos secretos", cuja origem não fora revelada pelo General Távora, mesmo quando arguido na CPI, em 1956. Somente tempos depois, quando da publicação de suas memórias, o General esclareceu que aproveitara as relações que parente seu, Elysiário Távora, tinha na Embaixada Norte-americana no Rio de Janeiro, para indagar

os motivos pelos quais o Brasil não havia "logrado, até então, uma colaboração mais efetiva de seu Governo para o nosso desenvolvimento no tocante a energia nuclear"¹⁹. Esclareceu-se, assim, vinte anos depois, a origem dos "documentos secretos", história controvertida, mas de qualquer forma lastimável para um país que almejava a autonomia tecnológica no setor nuclear.

Desses quatro documentos, os dois primeiros referiam-se a um tratado de colaboração no campo da prospecção de minerais atômicos e, os dois últimos, protestavam e ameaçavam o Brasil pelo seu envolvimento com a Alemanha Ocidental, de onde o CNPq adquirira as três ultra-centrí fugas. A destituição do Almirante Álvaro Alberto, da presidência do CNPq, era considerada prioritária para que novos entendimentos, no campo nuclear, pudessem evoluir satisfatoriamente.

A Secretaria do Conselho de Segurança Nacional, acatando a solicitação do Chefe do Gabinete Militar, redefiniu as diretrizes da política nuclear brasileira acentada nos seguintes pontos básicos:²⁰

¹⁹Juarez Távara, *Uma Vida e Muitas Lutas*, Rio de Janeiro, 1976, v.III, p.23.

²⁰Olympio Guilherme, *op.cit.*, p.15.

"a) orientar o esforço principal do programa brasileiro de energia atômica no sentido do aproveitamento industrial dessa forma de energia;

b) recorrer aos países amigos, de preferência aos Estados Unidos da América, para a obtenção de equipamentos e orientação técnica indispensáveis à montagem e funcionamento da indústria atômica;

c) admitir, para o financiamento dessas atividades, a exportação de minerais físséis, feita, porém, sempre mediante acôrdo de Govêrno a Govêrno, e vinculação das divisas obtidas ao fornecimento de equipamentos e assistência técnica conducentes à pronta consecução dos objetivos de nossa política de energia atômica."

Dois aspectos marcantes dos "Documentos Secretos" foram incorporados ao pensamento do Conselho de Segurança Nacional, após a solicitação do General Távora: a preferência manifesta aos Estados Unidos em todos os segmentos da indústria atômica, e a concordância para que as exportações de minerais físséis fossem feitas sem o concurso das compensações específicas. Simplesmente as verbas auferidas com as exportações de minérios, foram

vinculadas à aquisição de equipamentos e serviços de natureza atômica.

Retirou-se dos recursos físséis seu poder de barganha. Poderiam ser negociados pelo seu valor de mercado e não pelo seu valor estratégico.

Estabeleceu-se, assim, o triunfo da política pragmática do Itamaraty sobre a nacionalista do CNPq, o qual culminaria com o pedido de exoneração do Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva, em 13 de janeiro de 1955, arrolado num processo de malversação de verbas²¹.

"O que importa saber é que no dia 3 de agosto de 1955 foram assinados no Itamaraty dois instrumentos internacionais, um dos quais profundamente lesivo à nossa política nuclear: o Acôrdo de Cooperação para o Desenvolvimento da Energia Atômica com Finalidades Pacíficas (...) e o Programa Conjunto para o Reconhecimento e Investigação de Urânio no Brasil..."²²

²¹(N. da A.)- O pedido de exoneração do Almirante Álvaro Alberto ocorreu por sugestão do General Juarez Távora. Leia-se sobre esse episódio em Milton Cabral, *A Questão Nuclear*, Brasília, Senado Federal, 1983, pp.30-36, e em Dagoberto Salles, *Energia Atômica*, São Paulo, Fulgor, 1958, pp.147-154.

²²Olympio Guilherme, *op.cit.*, p.169.

A ingerência do General Juarez Távora na política nuclear brasileira foi arrasadora em todos os seus aspectos. Por ingenuidade política, como acreditam alguns, ou por ambição desmesurada, como sentenciam outros, seus oito meses de atuação à frente do Gabinete Militar renderam-lhe uma Comissão Parlamentar de Inquérito. Foi Távora a figura central e o alvo privilegiado da Comissão instaurada na Câmara Federal, em 1956, para apurar os problemas da energia atômica no Brasil.

Em 1955, como bem demonstra o Programa Conjunto para o Reconhecimento e Investigação de Urânio no Brasil, já não era mais o tório o alvo preferencial das investidas norte-americanas no Brasil, mas o urânio. A monazita, como minério de tório, perdera totalmente seu valor de mercado.

As 32000 toneladas de monazita, bruta ou industrializada sob a forma de óxido de tório, que deixaram o Brasil entre 1945 e 1955 com destino aos portos da América do Norte, renderam ao país a quantia de 7 milhões de dólares. Incrível saldo para um desfalque energético da ordem de 5 bilhões de toneladas de carvão²³.

O Programa Conjunto para o Reconhecimento e Investigação de Urânio no Brasil reorientou toda a pesquisa

²³Godin da Fonseca, *Brasileiros Contra o Brasil*, in: Dagoberto Salles, *Energia Atômica*, Pref., São Paulo, 1958.

de minerais físseis que vinha sendo realizada no país. Os levantamentos geofísicos aéreos e as verificações de campo executadas pelo CNPq, em conjunto com a Divisão de Fomento da Produção Mineral, foram bruscamente interrompidos e as equipes desarticuladas. Os "Átomos para a Paz" eram de urânio e não de tório.

Há muito eram conhecidas ocorrências radioativas no Planalto de Poços de Caldas. Já em 1953, o CNPq fazia gestões junto ao governo francês para, naquele local, instalar uma usina de tratamento de urânio. Mas logo que o Almirante Álvaro Alberto pediu exoneração da presidência do Conselho Nacional de Pesquisas, esses planos foram sustados pelo seu substituto, Professor José Baptista Pereira. Alegou, para tanto, que os estudos da jazida de zircônio uranífero de Poços de Caldas

"...ainda não estavam bastante adiantados para assegurar a existência de uma reserva mineral que permitisse instalar essa usina com suficiente segurança de funcionamento para um prazo razoável."²⁴

²⁴Dagoberto Salles, Energia Atômica, 1958, p.155.

Assim é que, depois de tantos acordos e programas, o Brasil continuava na mesma situação que há dez anos atrás. Sem um plano para o aproveitamento das areias monazíticas, sem reservas ou recursos assegurados de urânio, e sem as ultra-centrífugas para o enriquecimento do isótopo 235. Havia alcançado, entretanto, capacitação para a pesquisa na área nuclear, haja vista a instalação, em 1955, do primeiro reator de pesquisa no país²⁵. Apesar disso, a comunidade científica brasileira pouco interferiu nas questões de natureza atômica em que o Brasil envolveu-se até meados dos anos cinquenta.

A criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, em 10 de outubro de 1956, subordinada diretamente à Presidência da República como órgão de política atômica em todos os seus aspectos, ordenou o caos institucional que se instalara desde o alijamento do CNPq como entidade orientadora da política nuclear brasileira. Significou, também, a extinção da CEME e a reedição da política nacionalista do CNPq, quanto a exportação de minerais físséis. Mas, sobretudo, representou importante passo para o reconhecimento dos minerais radioativos do Brasil. Pode-

²⁵(N.da A.)- O primeiro reator de pesquisa instalado no Brasil foi no Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais, hoje Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear.

se mesmo afirmar que foi concebida, prioritariamente, para se ocupar da questão dos minerais físséis do país**.

Uma das primeiras ações da CNEN foi estabelecer, com os Estados Unidos, um novo Programa Conjunto para Reconhecimento dos Recursos de Urânio do Brasil. Para isso valeu-se de estrutura existente no CNPq, onde técnicos norte-americanos, sob os auspícios da Comissão de Energia Atômica daquele país, orientavam os trabalhos de prospecção de urânio no território brasileiro.

Apesar dos desencontros de interesses entre a política brasileira e a norte-americana, nas questões da transferência de tecnologia nuclear e do acesso aos recursos físséis, missões do Serviço Geológico dos Estados Unidos permaneceram no Brasil desde 1952 até 1960. Acompanharam, assim, os trabalhos de prospecção de minerais físséis realizados nos primeiros anos da CNEN. Os resultados do Programa Conjunto foram, contudo, desanimadores. Nenhum depósito importante de urânio foi definido.

Mal havia sido constituída a CNEN, a política nuclear norte-americana alcançava seu grande intento internacional: criar uma entidade para se ocupar da

** (N. da A.) - A proposta de criação da Comissão de Energia Atômica (Projeto Nº944-A--1956, Câmara dos Deputados), depois denominada Comissão Nacional de Energia Nuclear, permite sustentar a afirmação.

distribuição e inspeção de materiais físséis em qualquer parte do planeta. Em 29 de julho de 1957, foi criada em Viena, a International Atomic Energy Agency - IAEA, fruto do programa "Átomos para a Paz", que não abdicara, apesar de defender a cooperação para usos pacíficos do átomo, de controlar os materiais de interesse nuclear, como propusera o Plano Baruch.

A concepção original da IAEA era a de uma corretora ou distribuidora de materiais nucleares, especialmente de urânio. Se por um lado, países com governos impopulares, detentores de recursos uraníferos, teriam acesso ao mercado internacional sob os préstimos da Agência, por outro, países carentes nesses insumos não precisariam tratar diretamente, com esses governos, para adquirí-lo. O urânio da IAEA não teria nacionalidade. O importante era garantir o suprimento de urânio para que a opção nuclear pudesse ser adotada sem temores.

"Thus the Agency's role as a material distributor came to be viewed, at best, as a paper function, and, at worst, as an opportunity for political mischief by withholding supplies from politically unpopular regimes."²⁷

²⁷The Atlantic Council, Nuclear Power and Nuclear Weapons Proliferation, Boulder, s.d., v.I, p.65.

Mas a IAEA não funcionou assim. Seus membros preferiram um relacionamento direto com os produtores de materiais físséis, relação essa que prevalecerá no mercado de urânio até os dias de hoje, como será visto adiante.

Em 22 de julho de 1960 a CNEN foi transferida da Presidência da República para o recém criado Ministério das Minas e Energia.

Encerrado o Programa Conjunto para Reconhecimento dos Recursos de Urânio do Brasil em 1960, a CNEN estabeleceu o Convênio de Cooperação Técnica com o Commissariat à l'énergie Atomique, da França. Resultou, desse novo Convênio, a implantação de uma infra-estrutura laboratorial para análise de minerais e minérios radioativos no Brasil e a especialização do corpo técnico para operá-la. Também foi organizado o Departamento de Exploração Mineral da Comissão Nacional de Energia Nuclear e sistematizada a metodologia de prospecção de urânio. Com a saída da Missão Francesa em 1966, todo o programa de exploração mineral da CNEN passou a ser planejado e executado por técnicos brasileiros.

Dentre todos os programas de cooperação técnica que contemplaram a prospecção e pesquisa de minerais

radioativos firmados até o final dos anos sessenta, o convênio com o Commissariat à l'énergie Atomique foi o que mais efetivamente contribuiu para o estabelecimento de uma capacitação nacional no setor²⁸ ²⁹.

Em 27 de agosto de 1962, a CNEN, elevada à condição de autarquia federal, voltou a ser subordinada à Presidência da República. A mesma Lei Nº 4118 que realocou a CNEN, instituiu o monopólio da União sobre os minérios radioativos.

No último dia de 1963, o Presidente João Goulart anunciou a decisão de construir a primeira central nuclear no Brasil. A construção dessa central deveria utilizar tecnologia que permitisse o aproveitamento do tório como energético. A política nuclear brasileira apontava novamente para o desenvolvimento tecnológico autônomo, com a utilização dos recursos físséis disponíveis no país.

O governo Goulart, apesar da diretriz nacionalista adotada, haja vista o estabelecimento do monopólio dos recursos físséis, percebeu a importância que a produção e comercialização de minerais de interesse nuclear poderiam ter para o desenvolvimento brasileiro. Em 18 de março de 1964, poucos dias antes de ser destituído do

²⁸André Grestner, Missão Brasil: 1961-1966, Boletim N.28, CNEN, p.19.

²⁹J.R. de Andrade Ramos e Aluisio C.Maciél, Atividades de Prospecção de Urânio no Brasil: 1966-1970. Boletim N.3, CNEN, 1974, p.8.

poder, Goulart assinou o Decreto Nº 53735, autorizando a criação de uma sociedade anônima para se ocupar da lavra, beneficiamento, refino, tratamento químico e comércio de minerais físseis. A CNEN deteria 51% das ações da Companhia de Materiais Nucleares do Brasil - COMANBRA, como se denominaria essa sociedade, honrando, dessa maneira, o monopólio já instituído. O empresariado nacional participaria com os 49% restantes do capital societário.

O Movimento de 64 não tomou conhecimento desse que foi o último decreto assinado por Goulart. Relegou ao esquecimento essa iniciativa pioneira, que poderia ter estabelecido as bases e a competência necessária para que o país se projetasse, como fornecedor de urânio, para o mercado internacional. No que se refere a construção da primeira central nuclear brasileira o Presidente Castelo Branco foi enfático³⁰:

"A energia nuclear não deve ser considerada, no presente estágio, como fonte de energia elétrica em larga escala."

O setor nuclear deve, entretanto,

³⁰Hilton Cabral, A Questão Nuclear, 1983, v.III, p.46, Discurso do Presidente Castelo Branco.

"...concentrar a atividade na formação de técnicos, na pesquisa, na prospecção, na produção de isótopos e, eventualmente, na instalação de uma usina átomo-elétrica pioneira."

No final de 1965, pouco antes da Missão Francesa deixar o Brasil, a existência de minério de urânio em Poços de Caldas estava comprovada. Sua viabilidade econômica, entretanto, permanecia uma incógnita.

A situação do tório, porém, era bem diferente. As reservas brasileiras eram vastas e, reconhecidamente, de baixo custo de exploração, o que estimulava o interesse no seu aproveitamento. Assim, foi constituído o Grupo do Tório, no Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais, em 1965, com o objetivo de estudar as possibilidades técnicas e econômicas do aproveitamento desse elemento como combustível em reatores de potência. Continuava a predominar a política de desenvolvimento tecnológico nuclear autônomo, apoiado em recursos nucleares amplamente conhecidos no país.

O governo Costa e Silva transferiu, outra vez, a CNEN para o âmbito do Ministério das Minas e Energia, e passou a encarar, com mais atenção, a possibilidade de

construir uma central nuclear, face ao aumento previsto para a demanda de energia elétrica. Chegou mesmo a obter, da Agência Internacional de Energia Atômica, o envio de uma missão ao Brasil para ajudar na preparação de um programa de usos pacíficos da energia atômica, a qual permaneceu, em 1968, mais de três meses no país.

Por ocasião da visita ao Brasil do então Ministro das Relações Exteriores da República Federal da Alemanha, Willy Brandt, foi apresentada, ao governo brasileiro uma proposta para o estabelecimento de um amplo Programa de Cooperação Científica e Industrial. Esse Programa, celebrado em Bonn, em 6 de junho de 1969, constituiu-se no embrião do programa nuclear com a Alemanha.

Em 1970, a CNEN foi contemplada com cota de 1% do imposto único sobre lubrificantes e combustíveis líquidos e gasosos, intensificando as atividades de prospecção e pesquisa mineral. Terminara a fase preparatória da prospecção de urânio no país e começava a dos grandes investimentos³¹. Já em 1972 foram anunciadas reservas da ordem de 770 toneladas de óxido de urânio em Poços de Caldas³².

³¹J.R. de Andrade Ramos e Aluisio C. Maciel, op. cit., p.9.

³²Ibidem, p.80.

O Primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento, instituído pelo Presidente Médici em 1970, previu a construção de uma central atômica para funcionar em 1980. Como medida administrativa de suporte, foi criada, em dezembro de 1971, a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear- CBTN, para se ocupar das atividades relacionadas com o ciclo do combustível, inclusive "Negociar, nos mercados interno e externo, equipamentos, materiais e serviços de interesse da indústria nuclear."³³

Entre 1970 e 1972, foram abertas as concorrências para a primeira unidade da Central Nuclear de Angra dos Reis. A vencedora da licitação internacional foi a Westinghouse, a qual garantia o fornecimento de combustível para a primeira carga do reator. Esse combustível seria preparado com "yellowcake" adquirido da África do Sul, convertido em hexafluoreto na Inglaterra, e enriquecido no isótopo 235 nos Estados Unidos³⁴. A opção pelo urânio, relegou o "Grupo do Tório" ao esquecimento.

Em resumo, nem o concentrado de urânio, para abastecer sua primeira usina nuclear, estava o Brasil capacitado a produzir em 1972. Isso, vinte anos depois do Almirante Álvaro Alberto ter convidado, a Societé de Produits Chimiques des Terres Rares, a projetar uma usina

³³Nuclebrás, Legislação Básica, 1980, Lei Nº 5740, de 1/12/71, Art.3, inciso V.

³⁴Hilton Cabral, op.cit., p.52.

de beneficiamento para o urânio que acreditava existir em Poços de Caldas.

Como se não bastasse o "pacote fechado" adquirido da Westinghouse, ainda em 1972 o governo Médici foi buscar cooperação norte-americana para um novo Acordo para Usos Cíveis da Energia Atômica. A exemplo dos demais acordos dessa natureza, firmados com os Estados Unidos desde 1955, este também não previu a transferência de etapas fundamentais do ciclo do combustível nuclear, tais como o enriquecimento do urânio.

Sobre a impossibilidade dos Estados Unidos transferir tecnologia nuclear, o Almirante Álvaro Alberto já ouvira falar, há muito, e fizera o seguinte relato em 1959:

"Desde que iniciamos nossas conversações com a Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos, foi-nos invariavelmente afirmada a impossibilidade de qualquer forma de cooperação no terreno da tecnologia de reatores, a não ser o que já fora desclassificado. ...Essa barreira intransponível decorria da lei de energia atômica americana..."³⁵

³⁵Dagoberto Salles, Energia Atômica, 1958, p.123.

E assim foi. Mais um Acordo de Cooperação para Usos Civis da Energia Atômica celebrado com os Estados Unidos sem qualquer resultado prático.

Ao que parece, mais do que para cooperar, esses acordos vieram para confundir e retardar a entrada do Brasil na prenunciada era atômica.

No final da década de sessenta a estrutura econômica mundial necessitava de urgentes mudanças. O padrão de consumo dos países industrializados, até então responsabilizado pelo possível esgotamento dos recursos naturais do planeta, passou também a ser questionado por suas implicações ambientais.

Os países do Terceiro Mundo começaram a tomar consciência da exploração que vinham sofrendo²⁶. O preço das matérias primas se elevaram entre 1967 e 1980²⁷, assumindo forma dramática no início de 1974, quando os preços do petróleo passaram de um patamar histórico de dois dólares para mais de dez dólares o barril. A crise social e política generalizou-se, exigindo reestruturações

²⁶Penn State University, *The Finite Earth*, Bull. of Sc., Tech. & Soc. 3(1), 1983, 106p.

²⁷André Furtado, *Produtos Primários e Divisão Internacional do Trabalho*, in: *Prospectiva Tecnológica para America Latina*, Campinas, UNU/NPCT-UNICAMP, 1987, pp.01-15.

profundas do sistema produtivo²⁸. A indústria nuclear reconheceu chegado o momento de se lançar como alternativa energética efetiva, tirando proveito do desenvolvimento que atingira no grande esforço técnico-científico do pós-Guerra. Mas para isso, um problema teria que ser contornado de ante-mão: a limitação dos recursos de urânio.

Duas ações foram imediatamente postas em prática pelos países que apostavam na opção nuclear. A primeira, cuidou de canalizar maciços investimentos para a exploração de urânio, e a segunda, complementar, incentivou pesquisas que levassem ao desenvolvimento de tecnologias nucleares menos dependentes do isótopo físsil urânio 235. Desse modo, se o quadro de escassez de urânio não viesse a ser revertido com os investimentos na exploração, alternativas tecnológicas estariam habilitadas a dar suporte ao célere desenvolvimento atômico mundial. O nuclear viera para ficar, era irreversível.

Assim, entre 1973 e 1981, foram investidos 5,2 bilhões de dólares na exploração de urânio no mundo ocidental e, três vezes mais do que isso, no desenvolvimento da tecnologia dos reatores regeneradores rápidos (fast breeder reactor, FBR)²⁹, os quais produzem mais material físsil (Pu^{239} e U^{233}) do que consomem.

²⁸Adilson de Oliveira, *Energia e Sociedade*, Ciência Hoje 5(29):30-37, 1987.

²⁹Newton Pereira, *Existe mais urânio do que se imaginava*. Energia São Paulo n.35, 1987, p.17.

Ainda que o tório pudesse ser utilizado como material fértil nos FBR, o ciclo para transformá-lo em combustível nuclear jamais foi implementado. A indústria nuclear norte-americana desenvolveu-se com base no aproveitamento do urânio, e impôs sua tecnologia ao resto do mundo. Mesmo os regeneradores deveriam funcionar tendo o urânio e seus produtos-filho como combustível.

O primeiro choque do petróleo, em setembro de 1973, exigiu a avaliação das fontes energéticas disponíveis no Brasil, resultando no estabelecimento do que se pode chamar de "primeiro quadro energético brasileiro". Em decorrência do crescimento do consumo de eletricidade então previsto e da estimativa de breve esgotamento do potencial hídrico na região sudeste do país, foi autorizada a construção da segunda usina em Angra dos Reis, complexo que passou a ser denominado Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto.

Ainda sob o impacto da majoração dos preços do petróleo, o governo Geisel orientou a ação governamental no sentido de reduzir a dependência externa das fontes de energia, optando por incrementar a nucleoeletricidade. Para implementá-la, constituiu, pela Lei Nº 6189, de 16 de dezembro de 1974, as Empresas Nucleares Brasileiras S.A.-

NUCLEBRÁS, sucedendo, assim, a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear.

A escalada dos preços do petróleo e a conseqüente expectativa de crescimento da nucleoeletricidade a nível mundial, fizeram com que a procura pelo urânio se aquecesse. Com efeito, países que haviam investido na exploração de recursos físséis passaram a ser parceiros desejáveis para aqueles que, prevendo aumentar a participação nuclear na matriz energética, não dispunham desses recursos em quantidades adequadas.

O Brasil, sem dúvida, aparecia como um dos mais promissores produtores de recursos físséis. Além de reservas de tório, no litoral, de urânio, em Poços de Caldas, e de excepcional potencial para depósitos de urânio, prognosticado, sobretudo, depois da criação da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM, em 1969, havia investido maciçamente na prospecção de urânio. Tanto foi assim que, em 1973, esses investimentos somaram 56 milhões de cruzeiros, somente sendo menores, apesar do "rush" exploratório que se iniciava no mundo ocidental, do que os investimentos norte-americanos⁴⁰.

⁴⁰J.R. de Andrade Ramos e Aluisio C. Maciel, Prospecção de Urânio no Brasil 1970/1974, Boletim N.4, 1974, p.7.

Portanto, o Brasil dispunha, antes mesmo da crise do petróleo, das condições para se tornar um grande fornecedor de urânio ao mercado internacional.

A Lei Nº 6189, além de estabelecer as competências da CNEN e criar a Nuclebrás, reafirmou o monopólio da União sobre a pesquisa e a lavra dos minérios nucleares, localizados no território nacional. À Nuclebrás foi atribuída a comercialização, exclusiva, de materiais nucleares compreendidos no âmbito do monopólio, observado o disposto no artigo 16º da mencionada Lei, que reza⁴¹:

"Comprovada a existência de estoques para a execução do Programa Nacional de Energia Nuclear, ... a NUCLEBRÁS poderá mediante autorização do Presidente da República, ouvido o Conselho de Segurança Nacional, exportar os excedentes no mais alto grau de beneficiamento possível.

Mesmo existindo a possibilidade legal, não se tem notícia que a Nuclebrás tenha se empenhado na obtenção de contratos no mercado internacional de concentrados de urânio. Não trabalhou para isso.

⁴¹O grifo é nosso.

A obsessão pela tecnologia do enriquecimento isotópico não havia amainado nos meios militares. E continuavam eles a influenciar o setor nuclear brasileiro. O mais alto grau de beneficiamento, para comercializar urânio, permaneceu sendo o urânio enriquecido e não o possível, como especificou a Lei. Os investimentos na exploração de urânio realizados pela Nuclebrás visaram tão somente o abastecimento interno⁴².

É num cenário de crise energética mundial e de preocupação com a limitação de suprimento de urânio, que os governos do Brasil e da República Federal da Alemanha firmaram, a 27 de junho de 1975, o "Acordo de Cooperação de Usos Pacíficos da Energia Nuclear". Esse que foi o maior contrato bilateral de transferência de tecnologia que se tem notícia, O CONTRATO DO SÉCULO, incluía, como os setores militares sempre reivindicaram, a transferência da tecnologia do enriquecimento isotópico do urânio. Era a segunda tentativa do Brasil para obter essa tecnologia através da Alemanha.

Três premissas "altamente discutíveis" levaram o Brasil assumir a opção nuclear que desaguou no Acordo com a Alemanha:

⁴²(N.da A.)- A afirmação se fundamenta em várias colocações de John M. de A. Forman em "Urânio e o seu Aproveitamento", in: Simpósio sobre Fontes Convencionais e Alternativas de Energia, Brasília, Câmara dos Deputados, 1979, pp.406-492.

- que a superação da crise do petróleo se daria pela maior participação da eletricidade de origem nuclear;
- que a demanda de energia elétrica continuaria a crescer no Brasil exponencialmente ;
- que o potencial hidroelétrico brasileiro não ultrapassaria os 100 mil megawatts"⁴⁹.

Aceitando essas premissas como verdadeiras, foi programada a instalação, até 1990, de oito usinas nucleoeletricas, num total de 10 mil megawatts. Para atender a demanda de combustível dessas usinas, o Brasil precisaria investir na prospecção de urânio. Vale a pena lembrar que, em 1975, quando da assinatura do Acordo com a Alemanha, eram conhecidas, no Brasil, somente 11000 toneladas U_3O_8 nos minérios de Poços de Caldas, exatamente onde o Almirante Álvaro Alberto pretendeu, em 1953, instalar uma usina de tratamento desse metal.

Mas, se por um lado, as premissas em que se baseou o acordo com a Alemanha somente se mostraram falsas com o passar do tempo, por outro, as modestas reservas de urânio conhecidas no país, serviram para criticá-lo desde a sua divulgação:

⁴⁹Joaquim F. de Carvalho, O Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, in: O Brasil Nuclear, 1987, p.52.

"Sem possuir reservas comprovadas de urânio, em dimensões apreciáveis, em seu próprio território, coloca-se assim nas mãos daqueles países detentores de reservas conhecidas."⁴⁴

Até parece que se desconhecia, na época, que a implantação de um complexo minero-industrial independe do conhecimento prévio de reservas que assegurem o abastecimento de matéria-prima, por toda a vida útil do empreendimento. A experiência tem demonstrado que reservas são criadas a partir de investimentos em exploração mineral, e explotadas ao preço que a sociedade desejar pagar por elas. O urânio não foge a regra. Reservas da ordem de 11000 toneladas U_3O_8 não seriam um mau começo para a implantação de uma indústria desse energético. Principalmente se for considerado que, cumpridos todos os prazos previstos no Acordo com a Alemanha, os requerimentos de urânio, até o ano dois mil, seriam inferiores a 10000 toneladas de urânio natural⁴⁵.

A celebração de tão amplo Acordo, facilitou para a Alemanha reivindicar participação na exploração de urânio

⁴⁴Rogério C. de Cerqueira Leite, Energia Nuclear e outras Mitologias, São Paulo, 1977, p.91.

⁴⁵(N. da A.)- Cálculos baseados no Layman's Guide to the Nuclear Fuel Cycle, in: NEA(OECD)/IAEA Nuclear Energy and its Fuel Cycle, 1987, pp.72-80.

Para conversão, 1 tonelada de U = 1,2999 toneladas de U_3O_8 .

no Brasil, o que poderia resultar em suprimento desse elemento ao seu parque nuclear. Para atender à Alemanha foi constituída a subsidiária da Nuclebrás, Nuclebrás de Mineração S.A.- NUCLAM, a exemplo de várias outras criadas, sob a égide do Acordo, para implementar etapas específicas do ciclo do combustível nuclear.

Do relatório do Senador Virgílio Távora, quando da tramitação do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha no Senado Federal, cabe destacar o seguinte texto sobre a constituição da NUCLAM:

"Sob o monopólio da NUCLEBRÁS será admitida a participação da empresa Urangesellschaft, designada pelo governo alemão para subscrever até 49% do capital de empresa brasileira que se dedicará às atividades de prospecção de minérios radioativos. O resultado da exploração será vendido à NUCLEBRÁS, que poderá exportar o equivalente a 20% das reservas encontradas pela nova firma binacional. Ainda assim, essa exportação ficará condicionada ao atendimento das necessidades nacionais."⁴⁴

⁴⁴Hilton Cabral, *op.cit.*, p.96.

Um simples passar de olhos no Estatuto Social da NUCLAM é o bastante para que se verifique as dificuldades para o seu sucesso⁴⁷:

"Art.2º - A Companhia tem por objeto realizar a prospecção, a pesquisa, o desenvolvimento e a exploração de depósitos de urânio, bem como extrair, beneficiar, processar, tornar adequado para o comércio, transportar e vender à NUCLEBRÁS⁴⁸, nos termos da Lei n 6189, de 16.12.1974, todo o urânio natural ou seus concentrados.

Parágrafo 1º - A Companhia realizará as atividades de prospecção, pesquisa, desenvolvimento e exploração de depósitos de urânio em áreas indicadas e delimitadas pela NUCLEBRÁS⁴⁹, desde que as mesmas não estejam incluídas, por decreto governamental, nas áreas de Reserva Nacional de minérios nucleares e excluídas, ainda, as áreas em que a NUCLEBRÁS esteja operando."

⁴⁷Nuclebrás, Legislação Básica, Rio de Janeiro, 1980.

⁴⁸O grifo é nosso.

⁴⁹O grifo é nosso.

Em suma, a NUCLAM só poderia prospectar urânio aonde a Nuclebrás consentisse. Se encontrasse, lavrasse e beneficiasse minério de urânio, somente poderia vendê-lo para a própria Nuclebrás. Sequer lhe era dada a garantia de exportar concentrados de urânio, no caso de produzi-los, para o mercado alemão.

Para aceitar cláusulas tão restritivas, quanto a participação na seleção de áreas para investir, e tão pouco explícitas, quanto a participação no produto que viesse a ser apurado com seus trabalhos, certamente a Urangesellschaft, sócia alemã na NUCLAM, não pensava seriamente em prospectar urânio no Brasil. Não é de se estranhar que, depois de sete anos de atividades, tenha descoberto somente o depósito de Espinharas, na Paraíba, com 10000 toneladas U_3O_8 , de difícil tratamento⁵⁰.

Na melhor das hipóteses, pretendeu a Urangesellschaft marcar posição num país que, pelas características geológicas e pelos investimentos que vinha realizando na prospecção de urânio, poderia se tornar um dos grandes produtores de urânio do mundo.

A participação da NUCLAM nas atividades de prospecção no Brasil é um tema aberto a outros estudos.

⁵⁰L.C.Surcan Santos e R. Anacleto, Jazida de Urânio de Espinharas, in: Principais Depósitos Minerais do Brasil, MME/DNPM/CVRD, v.I, 1985, pp.143-155.

Em quatorze anos de existência a Nuclebrás acumulou muitas decepções e poucas realizações. A tecnologia de enriquecimento de urânio através do jato centrífugo, que seria repassada pela Alemanha, não teve o desempenho esperado. A primeira usina prevista no Acordo (Angra II), até hoje não foi concluída. A produção de "yellowcake", no Planalto de Poços de Caldas, tem sido muito inferior a sua capacidade nominal (500 toneladas/ano U_3O_8).

Dentre as realizações, a Empresa conseguiu mudar radicalmente o panorama dos recursos de urânio do país. Das 11000 toneladas U_3O_8 conhecidas na Mina Usamu Utsumi, no Planalto de Poços de Caldas, passou-se à reservas de 301000 toneladas, dez anos depois. Mesmo assim, não aconteceu a opção pela produção de concentrados de urânio para o mercado internacional.

A partir de 1983, os investimentos da Nuclebrás foram reduzidos e, suas atividades de exploração, praticamente interrompidas. Na falta de recursos, foi proposto um mal explicado modelo tripartite⁵⁴, com a iniciativa privada nacional e o capital estrangeiro participando do desenvolvimento mineiro e da

⁵⁴(N.da A.)- O modelo tripartite mencionado não deve ser confundido com os contratos tripartites que eram feitos entre produtores, empresas de conversão para hexafluoreto e compradores de "yellowcake". Esses últimos contratos consideravam as empresas de conversão como parte, e não simplesmente como prestadoras de serviços. A elas caberia, e não mais ao comprador, acionar o produtor caso o "yellowcake" estivesse fora das especificações.

comercialização da produção de concentrados de urânio. Entretanto, não há notícias sobre a evolução da proposta, nos termos em que foi apresentada⁵⁸.

Em 31 de agosto de 1988, o Programa Nuclear Brasileiro sofreu profunda reformulação, sendo extinta a Nuclebrás, que foi substituída por uma nova empresa denominada Indústrias Nucleares do Brasil S.A. - INB, controlada pela CNEN. Essa nova Empresa passou a se ocupar exclusivamente das atividades abrangidas pelo ciclo do combustível nuclear.

Depois de tantas reformulações do setor nuclear, a última trouxe uma novidade: a criação da Urânio do Brasil, subsidiária da INB para a produção e comercialização de concentrados de urânio.

Muito tempo se passou para que a produção de concentrados de urânio viesse a ser encarada como atividade rentável, capaz de dar suporte financeiro e a experiência necessária para o país se lançar nas etapas seguintes do ciclo, ou mesmo proporcionar-lhe divisas. Finalmente, o começo, começa do começo. Mas de um começo bem anterior ao que fora pretendido com a Urânio do Brasil. Ao se instalar um novo governo, em 1990, foi anunciada a retirada do Estado das atividades produtivas e a abertura do país ao

⁵⁸Paulo Lima, Modelo tripartite nos novos projetos, *Minérios*, n.93, 1984, p.25-31.

capital estrangeiro. As Indústrias Nucleares do Brasil S.A. e, principalmente a Urânio do Brasil, se não extintas, deverão passar por profundas reformulações.

* * *

Conclusões Parciais

O aproveitamento dos recursos naturais trata-se de um processo dinâmico. Novos materiais são introduzidos e outros substituídos em função das tecnologias disponíveis. A nuclear não é exceção. Elementos químicos, nunca antes requeridos em quantidades importantes pela indústria, passaram a ser demandados, sobretudo, urânio.

Quando a indústria bélica e, depois, a de eletricidade revelaram a importância dos recursos fósseis, criou-se a expectativa de riqueza e prosperidade para os países que os possuíssem. Mas a internacionalização desses recursos, proposta pelos Estados Unidos, veio logo arrefecê-la e conscientizá-los da espoliação pretendida. Em defesa dos recursos fósseis do Brasil, o Almirante Álvaro Alberto passou de espectador a protagonista dos embates

políticos, que se instauraram na ONU, após a hecatombe de Hiroshima e Nagasaki, sobre a utilização do átomo. Aceitar o Plano Baruch, significaria abrir mão do tório e do urânio existentes no território brasileiro.

As repercussões do Plano Baruch, da intransigente recusa norte-americana em transferir tecnologia nuclear, e dos míseros 7 milhões de dólares recebidos pela exportação de 32000 toneladas de monazita, levaram à formulação de diretrizes nacionalistas para a política nuclear brasileira. Essas, valorizaram o caráter estratégico dos recursos de tório em detrimento de sua importância como "commodity". Assim, foram utilizados para barganhar tecnologia nuclear ou para facilitar a concessão de empréstimos norte-americanos. Não houve preocupação em instalar, efetivamente, sua indústria no Brasil.

"Como num ciclo vicioso, a precariedade das condições de vida das populações leva a reivindicações nacionalistas."⁵³

Em meados da década de cinquenta, quando a opção tecnológica pelo ciclo do urânio tornou-se evidente, o

⁵³Henrique Rattner, O Esgotamento dos Recursos Naturais, Rio de Janeiro, Rev. de Adm. Emp. 17(2), 1977, p.19.

tório, como energético, perdeu totalmente o seu valor estratégico e comercial.

A CNEN, em 1956, reorientou a pesquisa dos minerais físséis no Brasil, voltando-a para o urânio. A partir daí, o setor nuclear brasileiro sofreu sucessivas reestruturações, porém não conseguiu desfazer-se do imbróglio que lhe impuseram desde o tempo em que foi coordenada pelo Conselho Nacional de Pesquisas em colaboração com setores militares: a obsessão pela tecnologia do enriquecimento isotópico.

Às diretrizes nacionalistas da política nuclear brasileira, as quais valorizaram o caráter estratégico dos recursos físséis e priorizaram o domínio da tecnologia do enriquecimento, atribui-se a inexpressiva produção de urânio no Brasil e a não participação no mercado internacional dessa "commodity" enegética.

"No dia em que se lograr a domesticação do hidrogênio - atualmente empregado na fabricação da bomba H - terá início uma fase nova e revolucionária, que tornará obsoleta a produção de energia a partir da fissão nuclear."⁵⁴

⁵⁴Bilac Pinto, Relatório da Comissão de Constituição e Justiça da Câmara dos Deputados, in: Câmara dos Deputados: Projeto 944-A--1956, p.8.

Nesse dia, os minérios de urânio serão pedra como
outra qualquer.

3. A DEMANDA DE URÂNIO

Urânio é o único elemento físsil natural utilizado para gerar eletricidade, o que induz ao raciocínio que a nucleoeletricidade depende da disponibilidade desse recurso energético. E, de fato, depende. Primeiro, porque ainda não foi suficientemente desenvolvida a tecnologia para o aproveitamento do elemento fértil tório em reatores nucleares⁴. Segundo, porque sem o concurso do urânio não seria obtido o plutônio, elemento artificial que, por suas características físseis, também pode ser utilizado como combustível em reatores nucleares. Apesar disso, a aludida relação de dependência da energia nuclear ao urânio deve ser encarada com reservas, face a necessidade de se situar a eletricidade de fonte físsil num contexto energético mais amplo.

Se o urânio é o elemento fundamental para gerar nucleoeletricidade, a produção de eletricidade, por sua vez, é a única utilização que requer quantidades significativas desse energético. Outras aplicações, como na medicina, na indústria de armamentos ou como pigmento, são

⁴H.-G. Albert, Cycle du Combustible Nucléaire, Techniques de L'ingenieur 37(B137), 1986, p.9.

marginais. Considerando-se essa especificidade de utilização, deve ser entendido que a demanda de urânio é consequência da necessidade de combustível físsel para operar uma determinada capacidade nuclear instalada.

3.1. Panorama de Longo Prazo

O fator determinante da demanda de urânio, a longo prazo, é o consumo de eletricidade.

A eletricidade ocupa destacada posição no cenário energético mundial, que se consolidou em decorrência da facilidade de sua distribuição e da eficiência de sua conversão em calor e trabalho, sem resíduos, junto aos centros consumidores. Tanto é assim, que a eletricidade supriu 28,2% do consumo energético global em 1986², expandindo-se à taxas anuais bem superiores às de expansão da energia como um todo, conforme pode ser constatado pela Tabela 1.

²IAEA, Energy, Electricity And Nuclear Power Estimates For The Period Up To 2000, Vienna, 1987, p.24.

Tab.1- Taxa Média Anual de Crescimento do Consumo de Energia, de Eletricidade e da Produção Nuclear no Período 74-86.

Consumo Tot. Energia	Consumo Tot. Eletricidade	Produção Nuclear
2,3%	3,8%	16,0%

Fonte: IAEA, 1987³, adaptada.

Admitindo-se que o consumo energético, nos países industrializados, deverá se manter estabilizado até o início do próximo século, mesmo assim continuarão a consumir, cada vez mais, eletricidade, principalmente devido a facilidade de manipulação dessa forma de energia. Já no Terceiro Mundo, onde se concentra 60% da população mundial sem acesso à eletricidade, quaisquer que sejam as melhorias no padrão de vida, deverão aumentar significativamente o consumo eletricidade. Historicamente, para cada 1% de crescimento do produto interno bruto nos países em desenvolvimento tem correspondido um aumento de 1,4% no consumo de eletricidade⁴.

³IAEA, op.cit., p.50.

⁴The Economist, Electricity in the Third World, May 7, 1988, p.118.

Considerados todos esses aspectos, as estimativas indicam que a produção de eletricidade deverá ter um crescimento de 38,7% na década de noventa⁵.

A participação dos diferentes recursos utilizados para gerar eletricidade vem se alterando, ao longo do tempo, em função do desenvolvimento tecnológico, da facilidade de acesso ou disponibilidade de cada um deles, e da competitividade de seus custos para produzir um quilowatt-hora. Essa última, a competitividade dos custos da eletricidade de origem fóssil, tem sido o fator mais importante para a penetração da energia nuclear a nível mundial.

O carvão é o principal recurso energético utilizado para gerar eletricidade. Seu alto percentual de participação (37%) permite concluir que dificilmente perderá essa posição num futuro próximo, pois para isso necessitaria ser substituída mais de 15% da eletricidade gerada por essa fonte, o que é inexecutável. Apesar disso, as chuvas ácidas e o efeito estufa vêm mobilizando a opinião pública contra a combustão desse energético, podendo acarretar, a longo prazo, a diminuição da sua importância na produção de eletricidade.

⁵IAEA, op.cit., p.20.

O aproveitamento das fontes hídricas está praticamente esgotado nos países industrializados, não devendo mais atender a demanda crescente de eletricidade. Para o Terceiro Mundo, entretanto, deverá continuar sendo alternativa real de suprimento energético de baixo custo.

Tab.2- Participação das Diferentes Fontes na Geração de Eletricidade (%).

	OECD		Mundo
	1977	1987	1987
Carvão	39,3	42,5	37
Hídrica	19,1	18,3	23
Nuclear	9,6	22,1	17
óleo	21,4	8,2	12
Gás	10,5	8,8	10

Fontes: UI, 1989⁶.
ICDI, 1988⁷.

O gás natural e o óleo combustível vêm se tornando cada vez menos competitivos para gerar eletricidade, devido ao alto custo. Inclusive nos países membros da Organization for Economic Co-operation and

⁶UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.7 (no prelo).

⁷Apud, ICDI, Why chose coal? London, 1988.

Development - OECD, o óleo perdeu 13,2% de participação em apenas dez anos, como pode ser constatado pela Tabela 2.

Essa queda de participação nos países da OECD, também observada no mundo inteiro, resultou da notável majoração dos preços imposta pela Organização dos Países Produtores e Exportadores de Petróleo - OPEP, na década de setenta. Os prejuízos econômicos decorrentes e a desorganização da matriz energética nas nações dependentes desse energético, levou a generalizada tentativa de substituí-lo, muito bem sucedida no campo da produção de eletricidade.

Afora essa substituição, os recursos conhecidos e economicamente aproveitáveis de óleo combustível são, aparentemente, limitados. Reservá-los para aplicações mais nobres é estratégico, e também forte motivo para que continue perdendo espaço para as demais fontes utilizadas para gerar eletricidade.

O aproveitamento dos recursos físseis na produção de eletricidade é recente. As 36 toneladas de urânio da primeira pilha atômica, construída por Fermi em Chicago, alcançaram criticidade em 2 de dezembro de 1941. Mas somente quinze anos depois, em 1956, a eletricidade gerada por um reator nuclear, foi ligada à rede de distribuição*. A partir daí, a penetração da nucleoeletricidade no mercado energético ocorreu com incrível rapidez. Em 1973, a fissão nuclear já contribuía com 1% da energia produzida em todo

*W.C.Patterson, La Energia Nuclear, Madrid, 1982, p.62.

mundo e, dez anos mais tarde, atingia a marca dos 3,7%. Observe-se que, em geral, são necessárias várias décadas para que uma fonte energética consiga captar 1% do mercado, a partir do momento em que sua tecnologia se torna disponível⁹.

No período que se seguiu a 1973, enquanto a taxa média anual do consumo de eletricidade cresceu 3,8%, a contribuição nuclear, para produzir esse crescimento, foi 16%, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Aumento tão significativo, quando confrontado com a taxa de expansão do consumo de eletricidade, somente poderia ocorrer com a captura da participação de outro ou outros recursos energéticos. Torna-se evidente, pelos percentuais da Tabela 2, que a participação capturada foi a do óleo.

As estimativas da contribuição nuclear para a eletricidade a ser gerada na década de noventa, indicam um aumento da ordem de 50%. Portanto, novamente superior a expansão prevista para a eletricidade (38,7%), como pode ser calculado com os dados disponíveis na Tabela 3.

⁹Umberto Colombo, A Strategic View of the World Energy Problem, Environ. Int. 10:347-358, 1984.

Tab.3- Prognósticos da Participação Nuclear na Geração de Eletricidade Até o Ano 2000 (hipótese de baixo crescimento).

País	1990		1995		2000	
	Elet T.w.h	Nucl x	Elet T.w.h	Nucl x	Elet T.w.h	Nucl x
América do Norte	3342	19	3778	19	4247	19
Europa Ocidental	2110	35	2370	34	2664	35
Pacífico Industrial	895	22	1028	25	1188	30
Europa Oriental	2487	15	2933	19	3368	21
Ásia	1232	6,2	1606	6,8	1996	8,6
América Latina	667	1,3	896	3,3	1156	4,3
África	518	1,8	700	1,4	890	1,2
TOTAL	11252	18	13314	19	15509	20

Fonte: IAEA, 1987^{1*}, adaptada.

A se concretizarem os prognósticos de crescimento nuclear, as fontes físséis deverão continuar a substituir outras fontes geradoras de eletricidade. Mas essa captura de mercado não deve ser considerada líquida e certa. Nem os motivos pelos quais poderá ocorrer serão econômicos ou estratégicos, como aqueles que levaram-nas a substituir parte da contribuição do óleo, há alguns anos atrás. Tampouco será o óleo o combustível a ser substituído. A

^{1*}IAEA, op.cit, p.20.

competição deverá se travar com o carvão, combustível que depende, tanto quanto as fontes de origem nuclear, da aceitação pública para manter a participação atual na eletricidade que será gerada nos próximos quinze anos⁴¹. E a aceitação pública, mais que os aspectos econômicos, inclusive mais que o papel estratégico que a energia nuclear desempenha como moderadora dos preços do petróleo⁴², deverá influenciar o nível de sua participação na produção de eletricidade daqui para o próximo século.

Em fins de 1989, existiam 433 reatores nucleares em operação no mundo, totalizando uma capacidade instalada da ordem de 285 GWe, responsável pelo suprimento de 17% da eletricidade consumida⁴³.

A capacidade nuclear instalada pode parecer pequena, quando comparada às estimativas elaboradas na década de setenta, dando a impressão que a nucleoeletricidade é uma decepção. Evidentemente, não se trata disso, conforme atestam os dados até aqui apresentados. Mas sim de uma sequência de imprevistos e euforismos que a jovem indústria nuclear enfrentou, e que influenciaram o ritmo de sua adoção como alternativa energética.

⁴¹S.Sandkief e J.Sellers, *Preparing for the 21st century, Uranium and Nuclear Energy: 1988*, London, 1989, p.5.

⁴²T.J.Connolly, *The Nuclear Power Industry in the United States, Seminars in Nuclear Medicine* 18(1):22-35, 1988.

⁴³IAEA, *Power Reactor Information System, Preliminary data as of 1 October 1989*, Vienna, 1989.

A utilização da energia do átomo para fins pacíficos não afastou a "política do segredo" que caracterizou o seu desenvolvimento tecnológico militar. Ainda no início dos anos setenta, eram poucas as informações confiáveis, a respeito das intenções e planos nucleares, divulgadas pelos países detentores da tecnologia da fissão. Os prognósticos elaborados nessa época, alguns dos quais constam da Tabela 4, são frutos dessa desinformação.

Posteriormente, o acidente com o reator norte-americano em Three Mile Island, aparentou decretar a moratória da indústria nuclear, freando a euforia proporcionada pelos sucessivos "choques do petróleo". Apesar dessa moratória e suas causas serem discutíveis¹⁴, após o acidente com o reator norte-americano, em 1979, deu-se início um período de redução da taxa de crescimento da nucleoeletricidade, para o que também contribuiu o desaquecimento da economia mundial. Esse desaquecimento acarretou drástica redução no consumo de energia, verificando-se, em 1982, a menor taxa de expansão do consumo de eletricidade dos últimos trinta anos¹⁵. A

¹⁴D.F.Newman, Trends of Nuclear Fuel Cycle Costs in the United States, in: Seminar on Costs and Financing of Nuclear Power Programs in Developing Countries, 1985, p.6.

¹⁵J.O.Reynolds, Uranium Fuelled Electricity- An Australian Perspective, Mining Review, Sept. 1986, pp.1-9.

consequência foi a generalizada postergação dos planos nucleares.

Tab.4- Comparação entre Prognósticos da Capacidade Nuclear Elaborados nos Anos Setenta e a Efetivamente Instalada (GWe).

Ano	NEA ¹⁵	WAES ¹⁶	NEA ¹⁷	WEC ¹⁷	UI ¹⁸	Efetiva
1980	220	-	146	-	150	115,2
1985	480	352	322	270	262	204,9
1990	950	-	602	-	470	283,4
2000	2250	1347	1445	1141	-	-
2020	-	-	3523	3423	-	-

Fontes: McIntyre, 1980¹⁵.
NUKEH, 1986¹⁷ e 1990¹⁸.

WAES-Workshop on Alternative Energy Strategies
NEA-Nuclear Energy Agency of OECD
WEC-World Energy Conference
UI-Uranium Institute

Não poderia deixar de ser mencionado dentre os fatores que determinaram a capacidade nuclear atualmente instalada ou que influenciarão seu futuro, o acidente com o reator soviético de Chernobyl, em 1986. Foi esse o mais grave acidente ocorrido com um reator nuclear. As trinta e

¹⁵H.C.McIntyre, How Much Uranium We Really Need? Energy Int., Feb. 1980, pp13-15.

¹⁷NUKEH Market Report 6, 1986, pp.18-19.

¹⁸NUKEH Market Report 1, 1990, pp.20-21.

uma mortes imediatas e a nuvem radioativa que se espalhou pela Europa, pareciam dar o golpe de misericórdia na indústria nuclear. Não aconteceu, como esperado, o cancelamento generalizado de programas nucleares, limitando-se suas repercussões a crescentes exigências com segurança, o que equivale a dizer, repercussões de ordem econômico-financeiras. No tocante a capacidade instalada em 1990, o impacto do acidente em Chernobyl reduziu-a em somente 2%¹⁹.

Mesmo assim, pode ser precipitado afirmar que, as consequências de Chernobyl, tenham sido totalmente avaliadas e absorvidas pela indústria nuclear e pelo público em geral. Considerando-se que o principal empecilho, para a expansão da nucleoeletricidade nos próximos quinze anos, deverá ser a obtenção do beneplácito público, é bem possível que o impacto desse acidente não se resume aos 2% calculados. Seu reflexo, a curto prazo, pode ser desprezível, face as inflexibilidades peculiares à indústria nuclear, mas, a mais longo prazo, certamente não o será.

Em meados da década de oitenta, os prognósticos da capacidade nuclear sofreram profundas modificações metodológicas. Deixaram de se ocupar com o longo prazo para focalizar, mais acuradamente, cerca de quinze a vinte

¹⁹P.J.W.N.Bird, Energy Exploration & Exploitation 5, 1987, p.404.

anos, minimizando-se as incertezas provocadas pela imponderabilidade das condições econômicas mundiais. Passaram, também, a incorporar critérios para identificar os diferentes níveis de confiança contemplados na sua elaboração. Com esse propósito, os reatores foram cadastrados em duas categorias. Os que se encontram em operação e aqueles com construção efetivamente contratada, passaram a constituir as bases para a formulação da "hipótese conservadora" da capacidade nuclear. Quando a esses são somados, também, os reatores que se encontram em fase de encomendas, o conjunto passou a constituir as bases para a formulação da "hipótese mais provável", embora por precaução, entende-se que deva ser considerada otimista.

Tab.5- Prognósticos da Capacidade Nuclear Até 2000 (hipótese conservadora;GWe;WOCA).

Ano	UI ⁸⁴	UI ⁸⁹	NEA ⁸⁸	UI ⁸⁹	NUKEM ⁹⁰
1990	291,7	286,5	287,4	285,0	-
1995	330,5	314,4	312,6	312,0	307,0
2000	372,9	346,6	341,8	337,0	336,2

Fontes: UI, 1984⁸⁰, 1989⁸¹.
NEA(OECD)/IAEA, 1988⁸².

⁸⁰UI, Uranium Supply and Demand: Perspectives to 1995, London, 1984, p.15.

⁸¹UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.13 (no prelo).

⁸²NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.43.

A sistematização metodológica proporcionou maior exatidão e precisão nos cálculos dos prognósticos da capacidade nuclear, independentemente da instituição executora ou do período em que foram elaborados, como fica evidenciado na Tabela 5, e, principalmente, quando seus dados são comparados com os da Tabela 4. Essa comparação, também evidencia uma nova realidade para a indústria nuclear, muito aquém das expectativas da década de setenta.

A capacidade nuclear é mal distribuída geograficamente, concentrando-se nada menos de 92,9% nos países industrializados. Estados Unidos, França, União Soviética, Japão e República Federal da Alemanha detêm, juntos, 74% do total mundial instalado. No outro extremo, os países em desenvolvimento, na verdade todo o Terceiro Mundo, totalizam apenas 7,1% da capacidade global. Esse baixo percentual dá uma idéia, além do reduzido consumo de eletricidade, das limitações econômicas e do atraso tecnológico, condições inconciliáveis com empreendimento do vulto de uma usina nuclear.

A Tabela 6 e a Figura 1 apresentam a distribuição geográfica da capacidade nuclear instalada em janeiro de 1987.

Tab.6- Distribuição da Capacidade Nuclear Instalada e sua Participação na Geração de Eletricidade.

	Capacidade %	Participação %
Países Industrializados		
Estados Unidos	39,9	17,7
França	16,3	69,8
União Soviética	10,1	11,2
Japão	9,4	31,2
R. F. Alemanha	6,9	31,3
Canadá	4,1	15,1
Inglaterra	3,7	17,5
Suécia	3,5	45,3
Espanha	2,1	31,3
Bélgica	2,0	66,1
Suíça	1,1	38,3
Finlândia	0,8	36,6
África do Sul	0,7	4,5
R. D. Alemanha	0,6	10,0
Itália	0,5	0,1
Holanda	0,2	5,2
Países em Desenvolvimento		
R. da Coreia	2,0	53,1
Taiwan, China	1,8	48,5
Tchecoslováquia	1,0	25,9
Bulgária	0,6	28,6
Hungria	0,5	39,2
India	0,4	2,6
Argentina	0,3	13,4
Brasil	0,2	5,6
Yugoslávia	0,2	0,5
Paquistão	0,1	1,0

Fonte: IAEA, 1987²³, adaptada.

²³IAEA, Nuclear Power: Status And Trends, Vienna, 1987, pp.1-17.

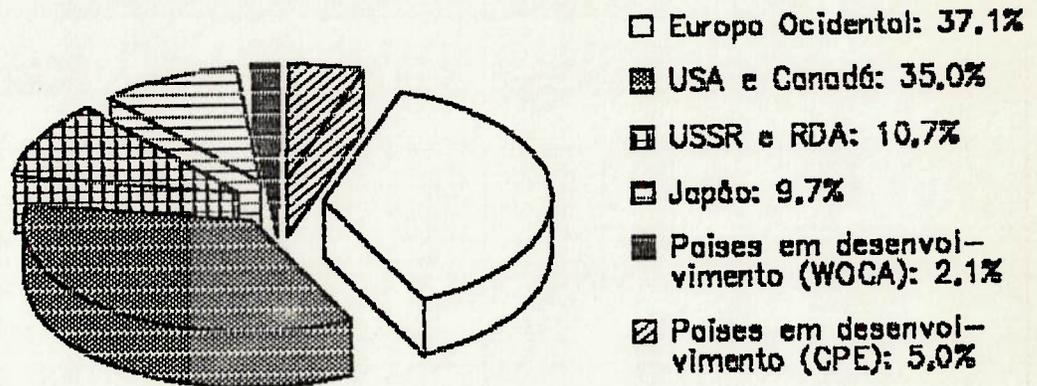


Fig.1- Distribuição da Capacidade Nuclear Mundial.
 Fonte:IAEA, 1987²⁴, adaptada.

A perspectiva de alteração da "geografia nuclear", na década de noventa, é praticamente nula, principalmente porque não são previstas modificações na participação nucleoeleétrica na América do Norte, na Europa Ocidental e na União Soviética. No Japão e na Ásia em desenvolvimento, regiões que experimentaram rápido crescimento da capacidade instalada nos anos oitenta, a nucleoeletricidade continuará a aumentar sua contribuição, mas não será suficiente para alterar o cenário mundial.

²⁴IAEA, *ibidem*.

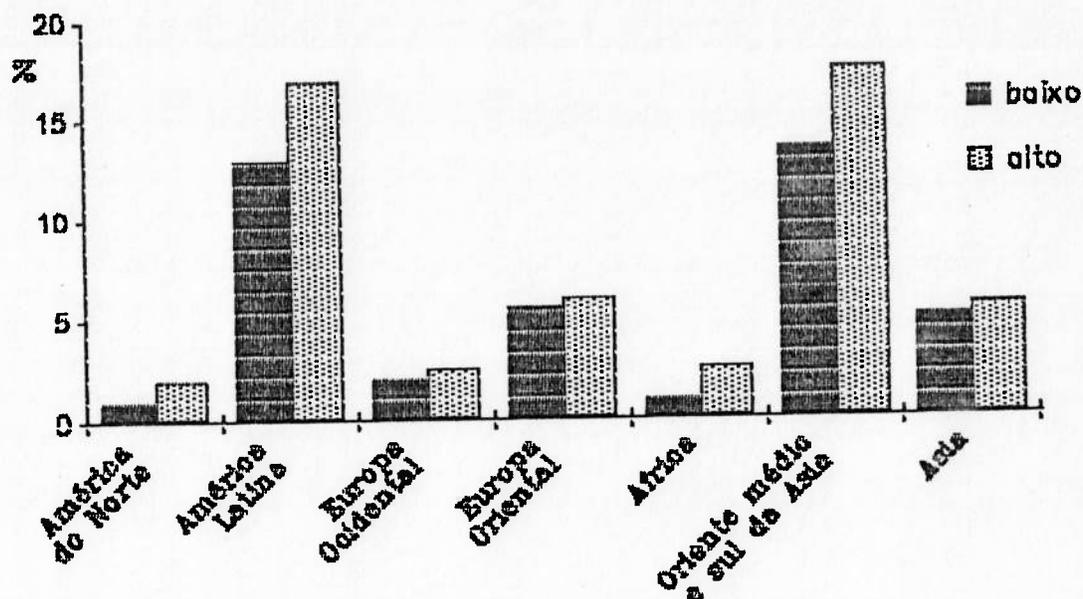


Fig 2- Taxa de Crescimento Médio Anual da Produção de Energia Nuclear entre 1988-2005 (hipótese de alto e baixo crescimento). Fonte: IAEA, 1989²⁵, adaptada.

Embora não sejam esperadas modificações na "geografia nuclear", a Figura 2 mostra que a América Latina, Oriente Médio e Sul da Ásia terão elevadas taxas de crescimento anual de produção nucleoeleétrica nos próximos quinze anos. Essas taxas, que vêm sendo sustentadas em sucessivas edições das estatísticas nucleares elaboradas pela IAEA, são calculadas a partir dos baixos níveis de participação atual, a exemplo dos 1,5GWe instalados na

²⁵(N.da A.)- A figura consta no prospecto distribuído pela IAEA, intitulado "World Status and Trends", s.d.p., citando "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2005", Vienna, July 1989, como fonte.

América Latina. Dobrá-la ou triplicá-la nada significa a nível de capacidade mundial. Para efeito de comparação, o crescimento efetivo da capacidade nuclear nessas regiões, representado na Figura 2, sequer corresponderá ao que o Japão experimentará no mesmo período.

Com efeito, as taxas de crescimento da produção de energia nuclear na América Latina, Oriente Médio e Sul da Ásia não representam alento algum para a indústria nuclear, nem qualquer possibilidade de alterar a "geografia nuclear", como podem dar a entender.

Sendo a demanda de urânio decorrência de uma capacidade nuclear que, a longo prazo, mostra-se dependente de fatores tão imponderáveis, como das condições econômicas mundiais, da discussão ambiental e da desejável melhoria das condições de vida no Terceiro Mundo, prognosticá-la é exercício inconsequente.

3.2. Panorama de Curto e Médio Prazos

Enquanto a longo prazo, a capacidade nuclear a ser instalada está sujeita à incertezas diversas, a curto e médio prazos ela é firme. Firme porque os prazos envolvidos, no licenciamento e construção de uma usina

nuclear, não são, hoje, inferiores a dez anos, o que torna inequívocas mudanças bruscas da capacidade geradora mundial.

O consumo de combustível físsil varia conforme a concepção tecnológica que, definida, fixa-o por toda a vida útil dos reatores. Essa inflexibilidade tecnológica, associada a capacidade instalada bem definida, permite que as necessidades de combustível nuclear, a curto e médio prazos, possam ser calculadas com exatidão.

3.2.1. Requerimentos de Urânio

A quantidade de urânio natural necessária para a carga inicial e recargas sucessivas de combustível físsil dos reatores nucleares, é definida na literatura especializada como "uranium requirement"²⁶, o qual constitui a base de projeção da demanda de urânio.

O cálculo dos requerimentos de urânio leva em conta, além da concepção tecnológica dos reatores, uma série de suposições de ordem técnico-operacional, que serão

²⁶DOE/EIA, World Nuclear Fuel Cycle Requirements, Washington, D.C., DOE/EIA 85, 1985, p.1.

apresentadas ao longo do presente capítulo. O desenvolvimento desses cálculos²⁷, entretanto, fogem aos objetivos do trabalho, assumindo-se os requerimentos estimados pelo Instituto do Urânio, apresentados na Tabela 7.

Tab.7- Requerimentos de Urânio (1000 tU; WUCA).

1987	1988	1989	1990	1995	2000
42,3	42,9	43,0	42,7	42,7	45,0

Fonte: Sandklef and Sellers, 1988²⁸.

A demanda de urânio guarda uma relação somente aproximada com os requerimentos. Isso porque, entre a produção de urânio, a partir de seus minérios, e a sua transformação em combustível para um reator nuclear, existem etapas intermediárias que permitem uma certa margem de variação na quantidade a ser utilizada. Permitem, também, que o material nuclear produzido seja estocado e comercializado. Assim, nem todo o urânio necessário à

²⁷(N.da A.), O roteiro para calcular os requerimentos de urânio são detalhadamente apresentados no "Layman's Guide to the Nuclear Fuel Cycle", in: NEA(OECD)/IAEA, Nuclear Energy and its Fuel Cycle, 1987, pp.72-80.

²⁸S.Sandklef e J.Sellers, New Developments Affecting Uranium Supply and Demand, Uranium and Nuclear Energy: 1987, London, 1988, p.88.

fabricação do combustível físsil, num dado momento, precisa ser adquirido de um produtor de urânio natural.

A consequência dessas possibilidades, é a introdução de uma margem de erro, ou de incerteza, quanto ao "urânio novo" que será demandado, mesmo conhecida com exatidão a capacidade nuclear a ser atendida.

A análise dos fatores que influenciam os requerimentos de urânio, pressupõe um conhecimento mínimo a respeito do ciclo do combustível nuclear e do seu impacto nos custos de geração nucleoeleétrica. Dada a importância desse conhecimento, será aberto um parêntese para a apresentação do ciclo do combustível nuclear e suas relações de custos.

3.2.1.1. Ciclo do Combustível Nuclear

Entende-se por ciclo do combustível nuclear a sequência de atividades e serviços envolvidos na produção do material físsil utilizado nos reatores e seu posterior tratamento.

Um reparo deve ser feito, desde já, quanto ao termo "combustível", invariavelmente utilizado quando se está tratando das fontes nucleares de geração nucleoeleétrica. O aproveitamento das fontes físséis, diferentemente de outras também utilizadas para gerar eletricidade, não se dá pela combustão, razão pela qual a "...denomination combustible nucléaire est, en toute rigueur, impropre"²⁹.

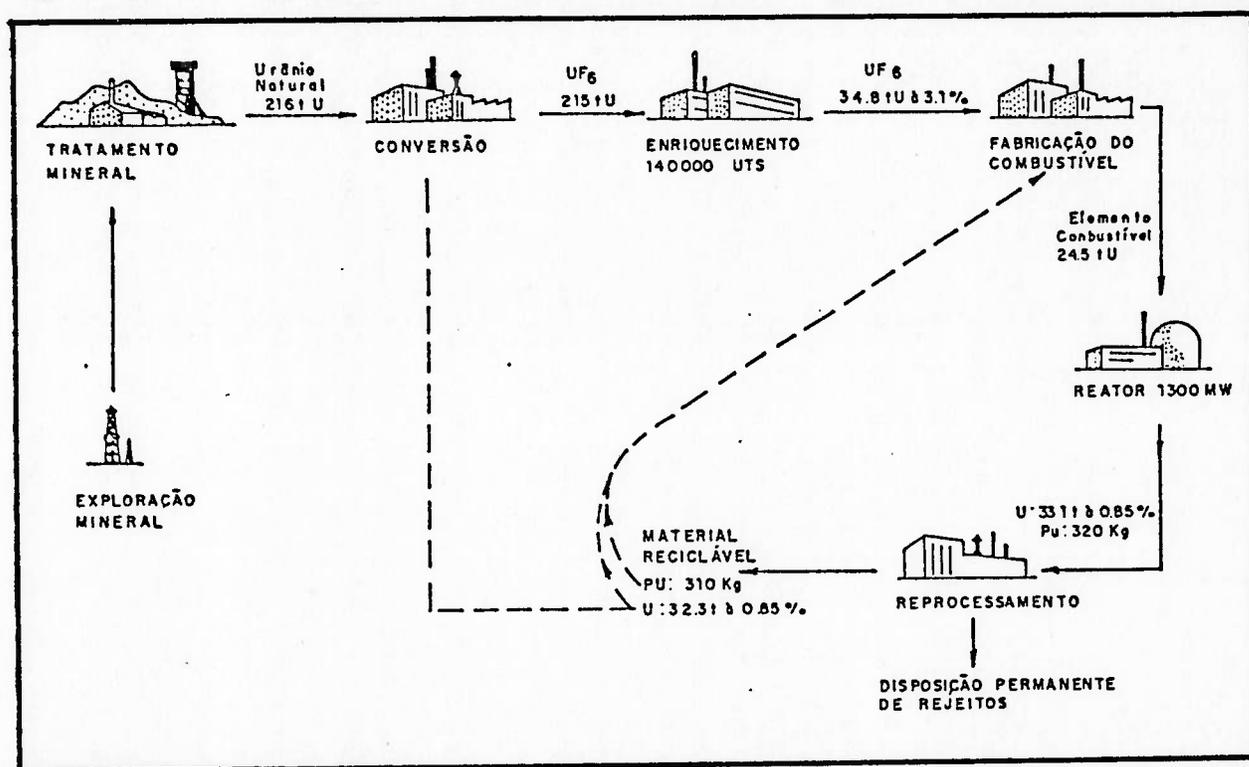


Fig.3- Representação Esquemática do Ciclo do Combustível Nuclear. Fonte: Albert, M.-G., 1986³⁰, adaptada.

²⁹M.-G. Albert, op.cit., p. B3560-2.

³⁰M.-G. Albert, op.cit., p. B3560-3.

O ciclo do combustível nuclear pode ser dividido em duas etapas bem demarcadas. A primeira, que vai da exploração dos depósitos de urânio às transformações físicas e químicas do material físsil dentro do núcleo do reator, é denominada de "front-end". A segunda, que se inicia ao ser retirado o combustível irradiado do reator, e estende-se até a sua disposição definitiva na forma de rejeitos, é denominada de "back-end".

Na Figura 3 estão representadas, esquematicamente, as diferentes etapas que constituem o ciclo do combustível nuclear.

A primeira etapa do "front-end" trata da prospecção e exploração dos depósitos de urânio, embora nem sempre sejam consideradas como atividades pertencentes ao ciclo do combustível nuclear. A maioria dos autores que tratam do assunto, entretanto, consideram-nas como tal. E não poderia ser de outra maneira, pois sem elas o ciclo não existiria.

A exclusão das atividades de prospecção e exploração, entre aquelas que constituem o ciclo do combustível nuclear, principalmente em publicações norteamericanas, tem razões históricas. Após a Segunda Grande Guerra, a indústria bélica dos Estados Unidos, atendendo

interesses de Estado, empenhou-se em desenvolver armas atômicas. Mas para isso, exigiu do governo, medidas que lhe garantissem o abastecimento de urânio, elemento ainda pouco prospectado e pouco conhecido no planeta. Assim, a partir de 1948, sob a coordenação da Atomic Energy Commission- AEC, foi praticada uma política de incentivos à exploração, que compreendia a garantia de preço para o urânio.

A AEC honrou o compromisso assumido com os produtores, implantando o "Acquisition Program"³¹, o qual introduziu, como base para a formação do preço em que o urânio seria adquirido, o "forward cost". Nesse poderiam ser incluídas todas as despesas realizadas com o desenvolvimento dos depósitos perfeitamente delineados, exceto as de prospecção.

Ao mesmo tempo que o "forward cost" eximia o governo norte-americano de se comprometer com investimentos na prospecção, de certa forma desestimulava a procura de novos depósitos, pois, já em 1955, a produção de urânio nos Estados Unidos superava todas as expectativas de demanda da indústria de armamentos.

Mais tarde, em 1974, o Department of Energia-DOE, sucessor da Atomic Energy Commission, procedeu o

³¹M.A. Adelman, et alii, *Energy Resources in an Uncertain Future*, Cambridge, Mass., 1983, pp. 337-338.

levantamento do potencial uranífero do território norte-americano, adotando o "forward cost" como parâmetro de avaliação do conhecimento desse potencial. O "forward cost" estimaria, assim, as despesas para produzir urânio a partir de depósitos conhecidos, numa data fixada pelo DOE. Evidentemente, essa metodologia de análise de custos de produção, não incorporou, outra vez, os custos com a prospecção. Aplicar-se-ia, somente, aos depósitos conhecidos.

Seja com seu sentido inicial ou como posteriormente proposto pelo DOE, o "forward cost" influenciou de tal maneira a indústria do urânio nos Estados Unidos, que levou a exclusão sistemática das atividades de prospecção dentre aquelas compreendidas pelo ciclo do combustível.

Retornando à descrição das atividades do ciclo do combustível nuclear, após a exploração, o minério de urânio passa por tratamento físico e químico, até ser obtido o diuranato de amônio ou de magnésio, que deve conter entre 70% e 90% de urânio. Esses diuranatos constituem os concentrados de urânio genericamente denominados "yellowcake", forma na qual o elemento é internacionalmente comercializado.

A etapa seguinte, denominada conversão, envolve a purificação do urânio, separando-o dos produtos indesejáveis contidos no "yellowcake", e a sua transformação num composto químico adequado aos serviços subsequentes. É realizada através da fluoretação (UF_6), se o destino do urânio for o enriquecimento, ou pela redução do trióxido de urânio para dióxido, caso a utilização do elemento dispense essa etapa.

Para maior aproveitamento energético, o urânio precisa ser enriquecido em seu isótopo 235 a níveis entre 2% e 4%, a partir de sua concentração natural de apenas 0,7%. Essa etapa, é denominada de enriquecimento isotópico. O processo de enriquecimento não introduz modificações químicas no hexafluoreto de urânio. Assim, após ser obtido o urânio enriquecido, ainda em forma de fluoreto, é necessário convertê-lo a uma espécie química estável para utilização nos reatores, que é o dióxido de urânio.

Posteriormente, tanto o dióxido de urânio enriquecido como o não enriquecido, precisam ser submetidos a um tratamento que facilite o manuseio. São transformados, então, em pelotas com permeabilidade adequada e, depois, prensados em pastilhas cerâmicas. Essas são acondicionadas em finos tubos resistentes à corrosão, fabricados com zircônio (Zircaloy) ou aço inoxidável. Ao conjunto desses tubos, agrupados em quantidade e geometria específicas, é

que se dá o nome de elemento combustível propriamente dito ou "fuel assembly". Os procedimentos pelo qual passa o urânio enriquecido ou o seu dióxido, fazem parte da etapa do ciclo denominada de fabricação do elemento combustível.

Processadas todas as etapas descritas, o material contendo urânio, agora denominado de elemento combustível, está pronto para ser introduzido no reator nuclear.

Após um período que varia entre doze a dezoito meses, o combustível irradiado é retirado do núcleo do reator, iniciando-se, assim, o "back-end" do ciclo.

Ao ser retirado do reator, o material irradiado precisa ser submetido a uma armazenagem provisória (interim storage), junto da central nuclear, para diminuir o nível de radiação induzida. Essa etapa também é, corriqueiramente, denominada de "esfriamento" do material radioativo.

Após o "esfriamento", não havendo interesse em reaproveitá-lo, o combustível irradiado é levado para a armazenagem definitiva, geralmente profundas escavações em corpos graníticos ou domos salinos. Havendo interesse em reciclá-lo, deve, então, ser submetido a um processo de separação química dos produtos físséis (U^{235}) e férteis (U^{238}) não envolvidos nas reações nucleares, e dos novos

produtos físséis gerados no núcleo do reator, entre os quais o plutônio 239. Essa etapa do ciclo é denominada de reprocessamento.

O urânio recuperado com o reprocessamento é usado diretamente na fabricação de novos elementos combustíveis, ou segue novamente para o enriquecimento. O plutônio assim recuperado é utilizado para a preparação do combustível dos reatores regeneradores ou, mais recentemente, na fabricação de um novo tipo de combustível denominado Mixed Oxide- MOX.

3.2.1.2. Relações de Custos do Ciclo

A concepção tecnológica dos reatores nucleares determina as características do combustível físsel a ser utilizado, bem como o modo de sua utilização. Conseqüentemente, a linha tecnológica adotada é a responsável pelo maior ou menor custo do combustível nuclear e de seu impacto na geração nucleoeleétrica.

Mais de 80% dos reatores nucleares em operação são do tipo Light Water Reactors - LWR, que utilizam como agente moderador e refrigerante água comum e, como combustível, urânio enriquecido a níveis de 2% a 4%.

Assumindo-se que a tecnologia LWR continuará preponderando, por muito tempo ainda, sobre as demais, a análise de custo do ciclo de seu combustível pode ser considerada, com boa aproximação, representativa para toda a capacidade nuclear instalada.

Os custos totais do ciclo do combustível nuclear, excluindo-se os do reprocessamento, não previsto na tecnologia LWR, são responsáveis por 23% das despesas totais de geração nucleoeleétrica. Esse baixo percentual, ou melhor, o menor custo do combustível nuclear, permite que a nucleoeletricidade possa ser competitiva em relação a termoeletricidade a carvão, 30% menos exigente em investimentos iniciais, mas com custo de combustível alcançando 40% do de geração²². Essa relação, mesmo genérica, evidencia o relevante papel que o custo do ciclo do combustível desempenha na viabilização econômica da tecnologia de produção de eletricidade de fonte físsil. Pode-se mesmo afirmar, que é estratégico para a indústria nuclear que as despesas de preparação do elemento combustível sejam mantidas nos níveis atuais, conforme apresentadas na Figura 4.

Até o final da década de setenta, muito pouca atenção foi dada ao impacto dos custos do urânio na geração nucleoeleétrica. Admitia-se, inclusive, que os custos de

²²D.F.Newman, op.cit., p.11.

geração eram insensíveis ao custo de aquisição do urânio natural. A análise econômica demonstrava que variações da ordem de US\$10 no preço do urânio, correspondiam a aumentos inferiores a US\$0,001 no custo de geração, dando sustentação a tese da insensibilidade³³.

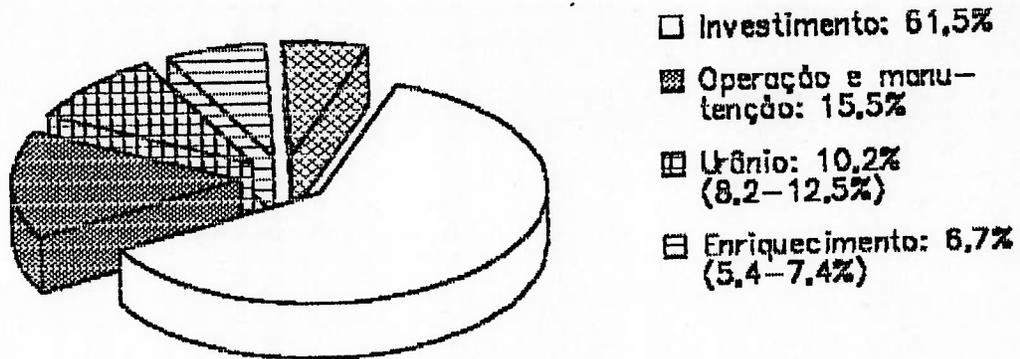


Fig.4- Desdobramento dos Custos de Geração Nucleoeletrica (LWR). Fonte: Crijs, 1988³⁴, adaptada.

Mas, quando no final de 1975, os preços do urânio mostraram-se 600% superiores aos praticados anteriormente a 1973, a apregoada insensibilidade dos custos de geração passou a ser questionada. Por voltas de 1980, o valor estratégico dos custos do combustível nuclear tornara-se evidente.

³³Ford Foundation, Energia Nuclear: Problemas e Opções, São Paulo, 1977, p.125.

³⁴H.J.Crijs, et alii, The Supply/Demand Outlook for Uranium, IAEA Proceedings Series 5:323-339, 1988, p.337.

Atualmente, o urânio é responsável por 10% dos custos totais de geração nucleoeleétrica e por 45% das despesas com o ciclo do combustível, conforme pode ser constatado nas Figuras 4 e 5.

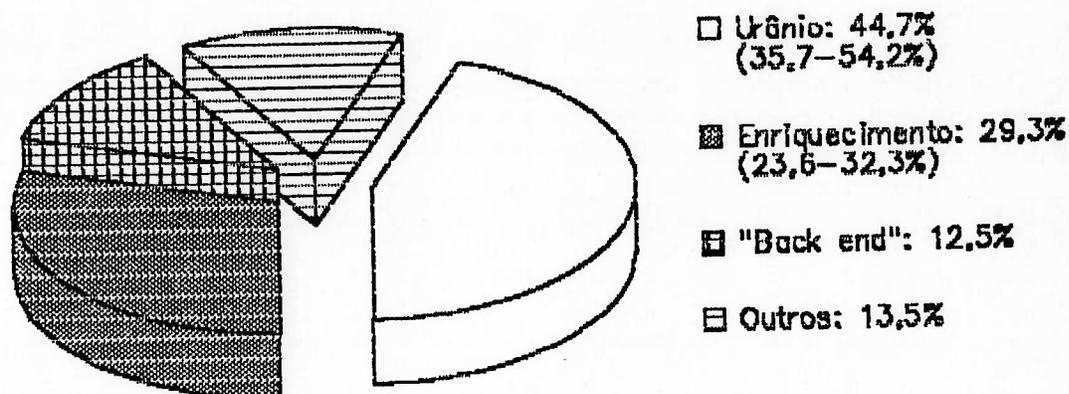


Fig.5- Desdobramento dos Custos do Ciclo do Combustível Nuclear (LWR). Fonte: Crijs, 1988³⁵, adaptada.

A aquisição de urânio e o enriquecimento do isótopo 235 são as etapas que apresentam maior sensibilidade e interdependência entre si em relação aos custos. Perfazem juntas 74% dos custos totais das atividades e serviços do ciclo do combustível, podendo afetar acentuadamente os custos finais da energia gerada.

³⁵H.J.Crijs et alii, op.cit., p.336.

Conversão, fabricação e armazenagem, embora a questão dos rejeitos ainda não tenha sido definitivamente solucionada, têm importância secundária na composição dos custos. São de menor complexidade tecnológica e requerem menor nível de investimentos.

Apresentado o ciclo do combustível nuclear e sua participação nos custos de geração nucleoeleétrica, pode-se retornar à análise dos requerimentos de urânio.

3.2.1.3. Fontes de Incertezas

Os fatores que introduzem incertezas no estabelecimento dos requerimentos de urânio, a curto e médio prazos, são vários, porém relacionados ao desenvolvimento técnico-operacional dos reatores nucleares e às relações de custo entre as etapas do ciclo do combustível.

O desenvolvimento tecnológico e operacional dos reatores busca otimizar o aproveitamento do combustível, resultando, em última análise, na diminuição da demanda de urânio natural. Isso porque "...From an economic point of view, fuel costs constitute an important aspect and all

possible efforts to improve fuel efficiency have to be considered"³⁶.

Dentre todos os avanços tecnológicos previstos desde os primórdios da utilização da energia nuclear, o desenvolvimento da linha de reatores rápidos regeneradores (fast breeder reactors - FBR) é que poderia trazer maiores consequências para a demanda de urânio, a partir de sua implementação a nível mundial³⁷. Os neutrons rápidos, ao invés dos térmicos utilizados nos reatores convencionais, propiciam maior número de interações (incidência de choques) com os núcleos férteis presentes no combustível. Resulta assim, maior quantidade de elementos físséis do que originalmente presente no "core reactor", os quais podem ser reaproveitados em outros reatores. A demanda de urânio sofreria considerável diminuição a partir da disseminação mundial da tecnologia dos reatores regeneradores.

A promessa de combustível inesgotável, através dos "breeders", entretanto, está longe de se concretizar. Primeiro, porque esse tipo de reator apresenta problemas tecnológicos não resolvidos, a exemplo da corrosão dos componentes do "core reactor" pelo sódio, utilizado para

³⁶C.Lewiner e R.Schaerer, Mutual Influences of Reactor Operation & Fuel Cycle Management, Nuclear Europe 9(1-2), 1989, p.11.

³⁷N.J.Numark, Analysis of Factors Influencing National Spent Fuel Management Strategies and an Overview of World Activities, IAEA Proceedings Series 5, 1988, p.679.

refrigerá-lo. Segundo, porque não se conseguiu demonstrar a sua viabilidade econômica frente aos reatores convencionais. Terceiro, por representar uma preocupação a mais quanto a disseminação de armas atômicas, uma vez que seu combustível é o plutônio obtido com a reciclagem do "fuel assembly". Esse último aspecto levou a administração Carter a proibir, em 1977, o reprocessamento do combustível irradiado no território norte-americano, que na prática, significava, também, inviabilizar a tecnologia "breeder". Apesar da proibição ter sido revogada por Reagan, reprocessamento e reatores regeneradores não têm sido implementados nos Estados Unidos.

Mas a tecnologia dos reatores regeneradores não vem sendo implementada, a nível mundial, também por outros motivos. Existem duas questões de ordem prática e imediata que se opõem a essa revolução tecnológica.

Sendo o plutônio um elemento artificialmente produzido nos reatores convencionais, a disseminação dessa tecnologia será possível somente quando houver quantidades suficientes de plutônio reprocessado.

A outra questão, é que deixou de existir, no final dos anos setenta, o principal motivo que levou ao desenvolvimento dessa tecnologia: contornar suposta escassez de urânio, dando respaldo para que a energia nuclear se apresentasse como uma alternativa energética a longo prazo. O esforço exploratório da década de setenta demonstrou a existência

de urânio em quantidades maiores do que as supostas, afastando, definitivamente, a preocupação com sua escassez. Com efeito, a tecnologia dos reatores regeneradores passou a ser dispensável²⁸, embora continue a constar dos planos de países com grande capacidade nuclear e limitados recursos físséis.

-Fator de Carga (load factor ou capacity factor)

O fator de carga de um reator nuclear é expresso pela relação entre a energia elétrica efetivamente gerada e a sua potência máxima teórica, em outras palavras, é a taxa média de operação de um reator. Não deve ser considerado, ou mesmo confundido, como estimativa de performance.

A quantidade de urânio consumida por um reator nuclear guarda uma relação direta e linear com o fator de carga, quando são consideradas variações da ordem de um dígito. Ganhos de até 5% na taxa média de operação, correspondem a aumentos de até 5% no consumo de urânio e vice-versa. Entretanto, quando os ganhos são superiores a 10%, o consumo de urânio deixa de ser proporcional, diminuindo, embora pouco²⁹. Considerando-se que a tendência, em toda central nuclear, é gerar o máximo de

²⁸Newton Pereira, Há mais urânio do que se imaginava, Energia São Paulo 35, 1987, p.17.

²⁹UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.20 (no prelo).

eletricidade possível, espera-se que o fator de carga venha a ser continuamente otimizado, aumentando, assim, os requerimentos de urânio.

Apesar da concepção tecnológica influenciar a taxa média de operação de um reator nuclear⁴⁰, muito mais decisivo mostra-se, entretanto, o regime de seu funcionamento. Por uma série de limitações técnicas, as centrais nucleares são mais utilizadas para operar na base do sistema elétrico (base load), o que propicia a otimização do fator de carga. Entretanto, quando a energia nuclear torna-se essencial para o suprimento de eletricidade, como acontece na França, as centrais são chamadas a operar, também, na ponta do sistema elétrico (load following). Sob esse regime, funcionam, por determinados períodos, à plena potência e, em outros, podem ser até desligadas, resultando numa baixa taxa média de operação. Por isso a França, país com maior percentual de eletricidade gerada por fonte físsil, apresentou o menor (57,2%) fator de carga de toda a Europa (69,4%) em 1988, inclusive abaixo da média mundial (64,5%).

A possibilidade de amplas variações, como as apresentadas, exige que, ao se calcular os requerimentos de urânio, seja computado o fator de carga para cada planta nuclear considerada. Esse levantamento realizado para o ano

⁴⁰UI, Uranium Supply and Demand, Perspectives to 1995, London, 1984, pp.27-28.

dois mil, indica uma faixa de variação de fator de carga de 50% a 85%⁴¹. A média ponderada, tomando-se por base a capacidade nuclear mundial, deverá se situar, contudo, ao redor de 70%, uma vez que não há previsões de mudanças generalizadas na forma de operação das centrais⁴².

A comparação entre o fator de carga médio da capacidade nuclear instalada em 1988, com o previsto para o ano dois mil, permite prever um aumento dos requerimentos de urânio da ordem de 5%. Isso dependerá, porém, do comportamento da demanda de eletricidade.

Evidentemente, os regimes de operação das centrais acarretam diferentes relações de "burn-up" e, conseqüentemente, do nível de enriquecimento e do urânio natural requeridos. Essas relações são extremamente variáveis, fugindo dos objetivos do trabalho⁴³.

-Tempo de Residência do Combustível no Reator

A expectativa de implementação da reciclagem do combustível nuclear desestimulou, até meados da década de setenta, a obtenção de aperfeiçoamentos técnicos visando

⁴¹UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, pp.20-21 (no prelo).

⁴²UI, ibidem.

⁴³(N.da A.)- Maiores detalhes a respeito dos efeitos do "burn-up" (Mwd/t U) podem ser obtidos em Lewiner e Scharer, 1989, e em UI, Uranium Supply and Demand, 1984.

extrair o máximo rendimento energético do urânio. Os isótopos físséis e férteis do elemento, que não participassem das interações nucleares, seriam oportunamente reprocessados, quando maiores facilidades existissem para isso. Entretanto, com a proibição de reprocessar combustível irradiado no território norte-americano, essa possibilidade se tornou incerta. Sem a participação dos Estados Unidos, responsável por 30% da capacidade nuclear mundial, o desenvolvimento e difusão do reprocessamento como fonte suplementar de urânio seria, sem dúvida, postergada. Com efeito, a preocupação em obter o máximo rendimento energético do urânio generalizou-se, incentivando novas técnicas de gerenciamento do combustível⁴⁴, dentre as quais a extensão do tempo de residência do "fuel assembly" no reator mostra-se a mais promissora.

A ampliação do tempo de permanência do combustível, de doze para dezoito meses, implica na necessidade de repor 15% mais urânio, em cada recarga, para ser produzida a mesma quantidade de energia. Mas, as despesas com a aquisição desse urânio suplementar, são plenamente compensadas pela eletricidade gerada, ao serem evitadas recargas mais frequentes. A economia global de

⁴⁴(N.da A.)- Maiores detalhes a respeito da influência dos diversos fatores que interferem no gerenciamento do combustível podem ser obtidos em UI, Uranium Market Issues, 1989-2005, 1989, p.58 9 no prelo).

geração nucleoeleétrica recomenda, portanto, o aumento do tempo de residência do combustível no reator.

Apesar da análise econômica recomendá-la, o que influencia decisivamente para que se amplie o tempo de residência é a obtenção de maior rendimento térmico do reator, e, conseqüentemente, reduzir o consumo de urânio por megawatt gerado.

Outros fatores, porém, atuam no sentido contrário a essa recomendação, complicando grandemente as análises de sensibilidade. Ao ser estendido o tempo de residência, necessita-se alimentar o reator com combustível mais enriquecido no isótopo 235, refletindo-se em maiores custos de sua preparação e na maior deteriorização das barras que acondicionam o material físsil. Também favorece-se a criação de maior número de produtos-filho radioativos, cuja mistura no "fuel assembly" é indesejável, pois poderá inviabilizar sua reciclagem. Por essas implicações técnicas e econômicas, que extrapolam a economia de urânio pretendida, a tendência à extensão do período de residência é incerta.

Mesmo na Europa Ocidental, onde a preocupação com o suprimento de urânio sempre foi grande, a frequência de recarga continua sendo a cada doze meses, porém com menor

número de "fuel assemblies" substituídos, evitando-se, assim, utilizar combustível mais enriquecido⁴⁵.

A complexidade dos fatores técnico-econômicos envolvidos na ampliação do tempo de residência do combustível no reator, faz com que sua evolução e difusão ocorra lentamente. Seus reflexos não deverão ir além de uma diminuição de 2% nos requerimentos de urânio no ano dois mil, ao contrário dos 13% caso fosse implementada imediatamente^{46 47}.

-Enriquecimento do Urânio 235

Mais de 80% dos reatores no mundo ocidental operam com urânio 235 enriquecido a níveis entre 2% e 4%. O enriquecimento é necessário para ser obtida maior interação entre os neutrons originados da fissão e os núcleos físséis e férteis presentes no "fuel assembly", sem a qual a reação em cadeia não se sustenta.

O nível de enriquecimento é variável. Resulta do compromisso de minimização de custos finais do "fuel assembly", que se estabelece entre o custo do urânio natural, que alimentará o processo de enriquecimento, e o

⁴⁵C.Lewiner e R.Scharer, op.cit., pp.11-13.

⁴⁶UI, ibidem.

⁴⁷P.J.W.N.Bird, op.cit, p.405.

custo energético para executá-lo, este último expresso em "Separative Work Unit- SWU".

Outros fatores também podem influenciar o nível de enriquecimento, a exemplo da ampliação do período de recarga discutido anteriormente. Porém, são imposições de ordem geral para baratear os custos de geração. Seus reflexos, aumentando ou diminuindo os requerimentos de urânio, são subsidiários e não uma meta a ser alcançada.

O enriquecimento do urânio 235 foi desenvolvido nos Estados Unidos, que se encarregaram de abastecer as necessidades mundiais. Assim, quando as expectativas de crescimento da produção nucleoeleétrica, no início dos anos setenta, provocaram uma corrida aos serviços de enriquecimento, aproveitaram-se da situação, impondo contratos rígidos e onerosos para executá-lo. Esses contratos estipulavam pesadas multas se o urânio não fosse entregue para ser processado na data prevista. Mesmo assim, as concessionárias adquiriram, antecipadamente, quantidades de cotas para enriquecimento muito acima das reais necessidades. Adquiriram, também, precavendo-se de possível escassez de urânio, quantidades além das requeridas por seus reatores, resultando que a "Demand for uranium was primarily determined... by enrichment contracts negotiated

in expectation of much greater needs than had actually materialized"⁴⁶.

A entrada dos europeus (Eurodif e Urenco) no mercado de enriquecimento, no transcurso dos anos setenta, mudou radicalmente a oferta desses serviços. Da indisponibilidade passou-se ao excesso de capacidade, flexibilizando-se os contratos. O monopólio, mundialmente exercido pelo DOE, foi literalmente quebrado.

A competição que se estabeleceu provocou a queda dos preços da unidade de trabalho separativo para menos de US\$100, a partir de um patamar mínimo de US\$110. E a perspectiva é que diminuam ainda mais, algo próximo dos US\$50/SWU, num futuro não muito distante, mesmo sem o concurso de novas tecnologias avançadas, a exemplo da laser⁴⁷.

A diminuição dos custos do enriquecimento deverá levar a utilização de combustível mais rico no isótopo 235, por favorecer o rendimento térmico dos reatores. E, quanto maior rendimento, menor consumo de urânio por unidade de eletricidade gerada. Mas essa tendência não deverá se manifestar intensamente até o ano dois mil,

⁴⁶UI, Uranium Supply and Demand, 1984, p.31.

⁴⁷H.-G.Albert, op.cit.,B3560, pp.5-6.

quando poderá proporcionar economia de urânio da ordem de 9%, no máximo⁵⁰.

- Rejeitos do Enriquecimento Isotópico

Um aspecto correlato ao processo de enriquecimento isotópico, também influencia a demanda de urânio natural: a quantidade do isótopo 235 não aproveitada, ou seja, o "enrichment tails assay".

Para que se processe o enriquecimento, quantidade importante de urânio natural terá que ser, necessariamente, empobrecida no isótopo físsil, e, depois, rejeitada. Quanto mais pobre resultar o material a ser rejeitado, maior será a eficiência do processo, com a conseqüente redução do urânio natural requerido. Em contrapartida, será gasto maior número de unidades técnicas de separação⁵¹. A relação de custo entre a aquisição do urânio natural e da unidade de trabalho separativo, para realizar o enriquecimento, determinará o ótimo "enrichment tails assay".

As prestadoras dos serviços de enriquecimento permitem, ao contratante, escolher a concentração do

⁵⁰P. J. W. N. Bird, op. cit. p. 405.

⁵¹(N. da A.) - Segundo M.-G. Albert, op. cit., p. B3560-5, 6,2kg U nat. + 4 UTS = 1,0kg U a 3,1% + 5,2kg U a 0,25%.

isótopo 235 a ser desprezada nos rejeitos, observados os limites de 0,15% e 0,32%. Optar por 0,32% significa consumir 35% mais urânio natural do que se a escolha recaísse sobre 0,15%.

Os requerimentos de urânio, para a década de noventa, foram estabelecidos assumindo-se um "enrichment tails assay" de 0,25%. Contudo, se a concentração desprezada nos rejeitos aumentar para 0,30% ou diminuir para 0,20%, o impacto nos requerimentos de urânio será de mais 11% ou menos 9%, respectivamente⁵².

Evidentemente, entre a produção do concentrado e o enriquecimento do isótopo 235, é necessário realizar a conversão do urânio para hexafluoreto. Por ser menos complexa que outras etapas do ciclo, apresentar capacidade adequada às necessidades atuais e futuras, e preços considerados acessíveis (U\$6/kg UF₆), não deverá influenciar a demanda de urânio até o ano dois mil. Por esse motivo, comumente omite-se que o processo de enriquecimento é alimentado com hexafluoreto de urânio e não com o seu trióxido, como pode parecer.

⁵²UI, The Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.21 (no prelo).

3.2.2. Estoques de Urânio

A formação de estoques reflete, fundamentalmente, a existência de um nível de risco na disponibilidade de um material. No caso do urânio, além disso, assume um caráter estratégico proeminente, constituindo-se no mais importante fator de incerteza no estabelecimento da demanda.

Governos e concessionárias de nucleoeletricidade formam estoques de urânio por diferentes motivos. Os primeiros, mais numa linha de planificação energética e garantia de suprimento de combustível. As últimas, com a preocupação de assegurar o retorno ou a rentabilidade do vultuoso investimento que é a construção de uma central nuclear. Afora esses motivos, as taxas de juros e, principalmente, a expectativa de preços do urânio determinam o montante dos estoques⁵⁵.

A política de formação de estoques de urânio varia muito de país para país. Aqueles que dependem fortemente da nucleoeletricidade, sem possuir recursos de urânio importantes, chegam a armazenar o equivalente a cinco anos de consumo de seus reatores, como faz a França.

⁵⁵A.D.Owen, Short Term Price Formation in the U.S. Uranium Market, The Energy Journal 6(3), 1985, p.46.

No outro extremo, os Estados Unidos não adotam nenhuma política especial de estoques, deixando as concessionárias administrar suas necessidades livremente. Os vastos recursos conhecidos de urânio nesse país permitem a despreocupação com o suprimento de suas usinas nucleares, privilégio, esse, que a França não desfruta.

A existência de estoques da ordem de 120000 toneladas U trouxe grande incerteza à demanda de "urânio novo" nos anos oitenta⁵⁴, pois não se sabia qual o destino que seria dado a eles. Permaneceriam nos pátios das concessionárias como reserva estratégica? Passariam a ser consumidos paulatinamente à medida que seus proprietários necessitassem? Ou seriam colocados no mercado a preços reduzidos, como forma de diminuir os custos de armazenagem? Enfim, os requerimentos podem ser bem conhecidos mas como administrar a demanda de "urânio novo" com tanto urânio disponível?

O Instituto do Urânio precisou introduzir, em 1987, um novo termo no prolixo vocabulário nuclear - Procurements, para estimar a intenção de compra de "urânio novo" por parte dos proprietários de centrais atômicas.

⁵⁴A.A.Clements, Uranium Demand: The Major Factors Determining the Future Requirements, Uranium and Nuclear Energy: 1981, London, 1982, p.8.

Tab.8- "Requirements" e "Procurements" de Urânio
(1000 tU; WOCA).

	1987	1988	1989	1990	1995	2000
Requirements	42,3	42,9	43,0	42,7	42,7	45,0
Procurements	41,7	40,5	41,8	42,7	46,6	48,5

Fonte: Sandklef and Sellers, 1988⁵⁵.

As informações a respeito das intenções de compra de urânio foram coletadas através de um questionário distribuído às centrais. Observou-se através desses que os "procurements" fornecem, nos períodos de excesso de estoques, uma visão mais realista das necessidades de "urânio novo" a curto e médio prazos. Mas, à medida em que os estoques vão sendo consumidos e se aproximam dos níveis desejáveis, os "procurements" perdem sua razão de ser, pois confundem-se com os "requirements". Esses últimos assumem, novamente, a sua importância como base de projeção da demanda de urânio⁵⁶.

De acordo com a metodologia desenvolvida pelo Instituto do Urânio, comparando-se os "requirements" e os "procurements" apresentados na Tabela 8, e projetados na

⁵⁵S.Sandklef e J.Sellers, *New Developments Affecting Uranium Supply and Demand, Uranium and Nuclear Energy: 1987*, London, 1988, p.88.

⁵⁶p.J.W.N.Bird, *op.cit.*, p.406.

Figura 6, é possível prever o ajustamento dos estoques, às necessidades das concessionárias, já nos primeiros anos noventa. Em face disso, pode ser esperada maior procura por "urânio novo", configurando-se um mercado favorável aos produtores. Isso, entretanto, significa assumir que estoques da ordem de 120000 toneladas U sejam adequados e não excessivos, como vinham sendo apresentados.

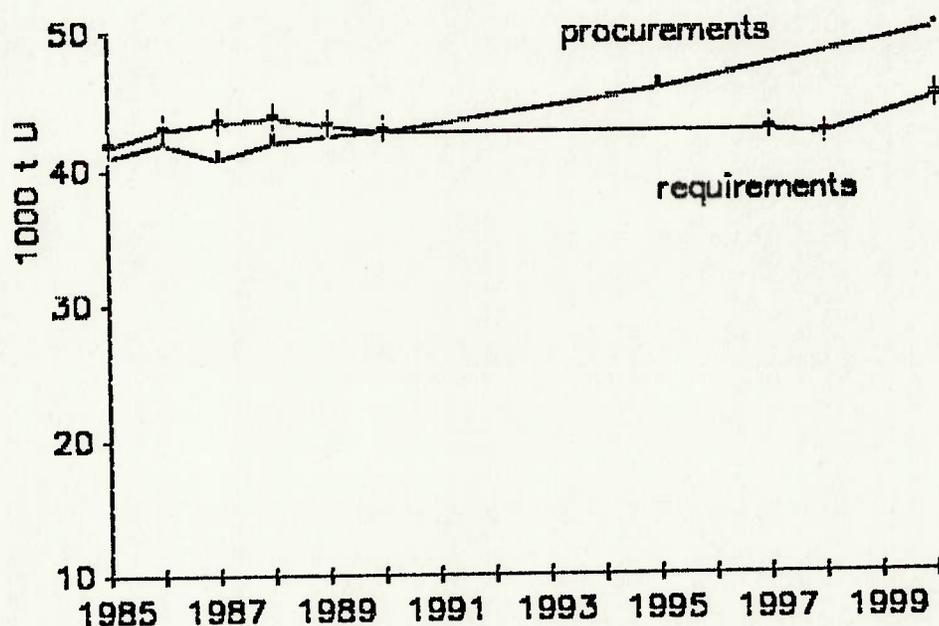


Fig. 6- "Requirements" e "Procurements" de Urânio.
 Fonte: Sandklef and Sellers, 1988⁵⁷.

⁵⁷S.Sandklef e J.Sellers, *ibidem*, p.89.

A questão dos estoques, contudo, está longe de ser resolvida. O que as concessionárias farão com eles, faz parte de suas estratégias econômicas, é matéria sigilosa. O exemplo mais recente dessa indefinição, observou-se em 1989, quando o Instituto do Urânio, contrariando análises apresentadas nos simpósios de 1987 e 1988, concluiu que "...there are sufficient excess consumer inventories to supplement supplies of fresh uranium through the year 2005 ..."⁵⁸.

A reformulação das previsões anteriores, a respeito dos estoques de urânio, fundamentou-se na atualização dos dados para os "procurements" e "requirements", os quais constam da Tabela 9.

Tab.9- Comparação entre "Requirements" e "Procurements" de Urânio (1000 tU; WOCA).

	1990	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000
Requirements	47,2	47,2	48,2	48,7	48,2	51,1	51,5	54,1	52,0	54,6	55,0
Procurements	38,4	42,3	42,0	42,1	45,5	48,3	47,1	47,9	48,5	49,5	50,2

Fonte: UI, 1989⁵⁹, adaptada.

⁵⁸UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.27 (no prelo).

⁵⁹UI, ibidem, pp.66 e 71.

O novo entendimento sobre estoques de urânio, cuja conclusão transcreveu-se na página anterior, merece alguns comentários. O caráter suplementar dos estoques é inquestionável. O que deve ser discutido é o ritmo em que serão utilizados e até que nível poderão ser consumidos, sem comprometer os futuros requerimentos de urânio.

Admitindo-se que os "procurements" reflitam, mais acuradamente, as necessidades de urânio a curto e médio prazos, e que permanecerão menores que os requerimentos até o ano dois mil, a diferença entre eles terá que ser coberta lançando-se mão dos estoques.

E qual será essa diferença cumulativa até o ano dois mil? Aproveitando-se os dados fornecidos pelo próprio Instituto do Urânio, na reformulação de 1989, será de 56000 toneladas U.

Assim, de um total de 558200 toneladas U, que serão requeridas pelos reatores nucleares até o ano dois mil, 56000 toneladas deverão provir dos estoques. Isso significa reduzi-los a 57% do total existente (130000 toneladas U), e limitá-los a menos de dois anos de consumo, tomando-se como parâmetro os requerimentos previstos para o ano dois mil.

Históricamente, os consumidores de urânio têm mantido estoques para períodos mais longos do que esse. Isso porque, excluindo-se as questões de cunho estratégico,

o prazo mínimo necessário para transformar o urânio natural, disponível na forma de "yellowcake", em elemento combustível, é de dezoito meses.

Apesar da importância atribuída aos estoques, entende-se que a sua influência na demanda de "urânio novo", tem sido tratada de maneira simplista, se não equivocada.

A existência de estoques demonstra, sem dúvida, a disponibilidade de um recurso mineral a curto e médio prazos. Mas, quando essa disponibilidade pode ser estendida, também, a prazos mais longos, são imediatamente reduzidos por razões econômicas. Com muito mais propriedade aplica-se a regra ao urânio, que, além das despesas normais de manutenção de estoques, exige gastos, com controles diversos, devido a contínua emissão de radiações ionizantes. Seria de se esperar, portanto, que os estoques viessem a ser consumidos numa intensidade bem maior do que a relação entre os "procurements" e os "requirements" está a indicar. Entende-se, pois, que para os consumidores, a preocupação com a disponibilidade dessa "commodity", a médio e longo prazos, continua presente, razão pela qual não desovam ou consomem seus estoques num ritmo mais acelerado.

Afora a preocupação com a disponibilidade, os estoques têm particular importância na manutenção de preços

de qualquer "commodity", funcionando como inibidores de bruscos aumentos. Desempenham, assim, papel estratégico para que as concessionárias possam manter os custos do "fuel assembly" nos níveis atuais. Entende-se que, mesmo sendo considerados excessivos, não serão substancialmente reduzidos.

Por tudo isso, considera-se improvável que as concessionárias reduzam seus estoques a menos de dois anos de consumo, concluindo-se que, na segunda metade da década, estarão ajustados aos requerimentos de urânio da capacidade nuclear instalada. A partir daí, deixarão de ser fonte de incerteza da demanda de "urânio novo".

3.2.3. Reprocessamento do Combustível

A reciclagem do urânio e do plutônio, presentes no combustível irradiado, é importante fator de redução da demanda de "urânio novo". Além disso "It optimizes waste management and represents a long term nuclear energy strategy"⁴⁶.

⁴⁶J.-C.Guais, Back-end options: some remarks, Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, p.192.

A introdução da tecnologia dos reatores regeneradores pressupunha a existência de unidades de reprocessamento do combustível irradiado para recuperar o plutônio criado. Mas, quando o reprocessamento foi proibido, em 1977, nos Estados Unidos, as expectativas de contar com essa fonte suplementar de material físsel, especialmente para os "breeders", foram postergadas. Além disso, a partir de então, uma série de questionamentos à reciclagem do combustível foram levantadas.

Do ponto de vista político, o reprocessamento do combustível nuclear sofre severas restrições por facilitar o acesso ao plutônio, elemento de reconhecido potencial bélico. Seria difícil imaginar as consequências do surgimento de um mercado secundário de plutônio, para o pretendido desarmamento nuclear mundial.

Sob o prisma tecnológico, o reprocessamento é uma questão não resolvida. A tendência mundial de estender o tempo de residência do combustível no reator, acarreta uma série de problemas para reprocessá-lo.

O maior tempo de exposição do combustível às radiações, ou mesmo de armazenagem após a utilização, torna o plutônio inaproveitável, devido ao aparecimento dos produtos-filho Am^{241} e Pu^{241} . Esses, além de fortemente radioativos, exigem processos altamente dispendiosos para separá-los do Pu^{239} .

O reprocessamento do urânio, por sua vez, encontra também nos produtos-filho gerados, seu principal empecilho. O U^{235} é fortemente radioativo, requerendo condições especiais de separação. O U^{234} e o U^{234m} são absorvedores de neutrons, exigindo maior enriquecimento do U^{235} a ser novamente transformado em "fuel assembly"⁴⁴. As consequências da utilização de um combustível com maior concentração nesse isótopo, já foram discutidas.

Desse modo, o reprocessamento deve ser feito imediatamente após a retirada do elemento combustível do núcleo do reator ou, provavelmente, não venha a ser realizado.

Na questão ambiental, o reprocessamento encontra o seu mais novo apelo. Representa a possibilidade de recuperar e consumir parte dos rejeitos radioativos retirados do reator por ocasião das recargas de combustível. Seria, assim, reduzida a quantidade de material radioativo a ser vitrificado, diminuindo-se os custos de tratamento e armazenagem permanente de rejeitos. Mas o balanceamento, entre a radioatividade emitida pelos materiais reciclados e a eliminada no seu reprocessamento, ainda está por ser feito.

Por todas as questões ainda não resolvidas, a viabilidade econômica do reprocessamento do combustível irradiado precisa ser demonstrada, cotejando-se seus custos

⁴⁴C.Lewiner e R.Schaerer, op.cit., pp.11-12.

com os do enriquecimento e com a economia de urânio natural proporcionada. Mas a informação disponível sobre os custos do reprocessamento é genérica. Tem-se conhecimento apenas que, juntamente com os custos de acondicionamento dos rejeitos, podem situar-se entre US\$800/kg U a US\$1070/kg U tratado. Cabe ainda salientar que, nesses valores, também se enquadram os custos totais de preparação do combustível, a partir do urânio natural⁶².

Apesar das incertezas sobre as vantagens do reprocessamento, alguns países procuram viabilizá-lo para assegurar o suprimento de material físsil às suas centrais atômicas. A França opera uma unidade de reprocessamento com capacidade instalada de 400 toneladas/ano de material irradiado, e a Inglaterra reprocessa, em menor escala ainda, o combustível de seus reatores. A Alemanha e o Japão esperam concluir suas unidades de reprocessamento antes de 1995. Se todas as ampliações da capacidade de reprocessamento, previstas para o transcurso dos anos noventa, forem de fato implementadas, no limiar do novo século poderão estar sendo reprocessadas quantidades equivalentes a 3000 toneladas U⁶³.

⁶²C.Lewiner e R.Schaerer, *op.cit.*, p.14.

⁶³J.J.Stobbs, *The value of reprocessed uranium, Uranium and Nuclear Energy 1988*, London, 1989, pp.181-182.

O que se passa, entretanto, é que as quantidades de urânio e plutônio reprocessadas têm sido mínimas. De um total de 15300 toneladas U contratadas para serem reprocessadas até o ano dois mil, apenas 2200 toneladas haviam sido efetivamente trabalhadas até o final de 1987. E isso porque, a partir desse ano, iniciou-se a utilização de um novo tipo de combustível nuclear, o "mixed oxide - MOX", que permite o aproveitamento do plutônio reprocessado nos próprios reatores convencionais⁶⁴.

Embora esse novo combustível represente mais uma tentativa de viabilizar a tecnologia do reprocessamento, é pouco provável que possa ser adotado, a nível mundial, rapidamente. A capacidade de reprocessamento, a ser instalada até o ano dois mil, não lhe dará o suporte necessário.

O reprocessamento do combustível nuclear, com todas as suas questões pendentes, constitui-se numa fonte potencial de suprimento de urânio. Entretanto, mesmo que venha a ser implementado, não representará, até o ano dois mil, economia na demanda de urânio maior do que 5,5%⁶⁵.

⁶⁴J.J.Stobbs, *ibidem*, p.183.

⁶⁵Cf NEA(OECD)/IAEA, *Uranium Resources*, Paris, 1988, p.53, onde as previsões de economia de urânio através do reprocessamento poderiam alcançar até 10%, o que aumenta as quantidades apresentadas no texto.

3.2.4. Preços do Urânio

O caráter estratégico assumido pelo urânio, desde que a indústria bélica percebeu o potencial destruidor da energia do átomo, estendeu-se à única aplicação civil capaz de consumir quantidades significativas do elemento: gerar eletricidade. Esse caráter estratégico negligenciou os custos do desenvolvimento tecnológico nuclear e, muito mais, os preços a serem pagos pelo urânio. Tanto é assim que, na década de cinquenta, pretendeu-se estabelecer os preços tomando-se por base a equivalência energética com outros combustíveis também utilizados para gerar eletricidade, sem que isso fosse abertamente contestado.

10000-16000 TOE

1 TU_(LWR) =

14000-23000 TCE

A respeito dos preços do urânio, pronunciou-se o Professor Marcelo Damy de Souza Santos, Diretor do Instituto de Energia Atômica da Universidade Estadual de São Paulo, em 1956:

"Sim sou de opinião que, para o Brasil, o valor que deve ser atribuído ao urânio e o tório é o

correspondente ao seu conteúdo energético. A razão é simples. Quando alimentamos, por exemplo, a usina de Piratininga, em São Paulo, com combustível importado, pagamos certo número de milésimos de dólar por Kw-hora produzido. É evidente que se pudermos obter, de um reator, o equivalente a 5250 dólares de combustível fóssil, para cada quilo de urânio consumido, este deve ser o valor atribuído a esse combustível."⁶⁶

Evidentemente, esse raciocínio do Professor Damy, consonante com o nacionalismo que a espoliação dos recursos de tório fomentara no Brasil, não considerou que a indústria nuclear só poderia se estabelecer ante à promessa de um combustível abundante e barato. Aparentemente, também desconsiderou, que é o "fuel assembly", não o urânio natural, que fornece a energia capaz de gerar eletricidade num reator nuclear. E que, o custo do "fuel assembly", depende das opções técnicas assumidas ao tempo de concepção do reator. Em breves palavras, depende do custo do ciclo do combustível nuclear e não, exclusivamente, dos preços de aquisição do urânio.

Apesar das considerações do Professor Damy, que davam eco ao pensamento corrente na comunidade científica

⁶⁶Dagoberto Salles, *Energia Atômica, Fulgor*, 1958, p.64.

mundial em meados da década de cinquenta⁴⁷, os preços do urânio mantiveram-se inferiores a US\$6/lb U₃O₈ até 1973.

A crise do petróleo e a introdução dos inflexíveis contratos de enriquecimento, por parte da Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos, vieram modificar esse cenário de preços do urânio. Em dezembro de 1974, alçaram-se para US\$15/lb U₃O₈. Pouco depois, em setembro de 1975, após a Westinghouse Electric Corporation anunciar que não honraria seus contratos de fornecimento de combustível pela impossibilidade de adquirir concentrados de urânio⁴⁸, os preços subiram de US\$26/lb U₃O₈ para US\$40/lb U₃O₈.

Com a expectativa de rápida difusão mundial da energia nuclear, mantiveram-se superiores aos US\$40/lb U₃O₈.

Apesar dos altos preços, a demanda do elemento continuou a crescer, atendendo a política de formação de estoques como garantia de suprimento, pois "...future scarcity is reflected in today's price"⁴⁹.

⁴⁷(N.da A.)- no Relatório da CPI para proceder as investigações... In: Projeto 944-A-1956, Câmara dos Deputados, é apresentada, nas páginas 19 e 20, a opinião de vários especialistas do setor nuclear a respeito dos preços do combustível fissil, as quais sustentam as considerações feitas pelo professor Dany.

⁴⁸(N.da A.)- leia-se sobre esse episódio em J.H.Taylor e M.D.Yokell, "Yellow-cake: The International Uranium Cartel", Pergamon, New York, 1979, e no Mining Journal v.287, n.7361, "The uranium cartel controversy", Sept. 17, 1976, pp.201-203.

⁴⁹H.A.Adelman et alii, Energy Resources in an Uncertain Future, Cambridge, Mass., 1983, p.xxii.

Em apenas dois anos e meio, os preços do urânio haviam sofrido um aumento de seiscentos por cento, superior mesmo aos aumentos do petróleo e do carvão, numa época que se notabilizou pela brutal elevação dos preços do petróleo. A Figura 7 ilustra a valorização dos preços do urânio comparativamente aos do carvão e do petróleo, ocorrida nos Estados Unidos, em meados da década de setenta.

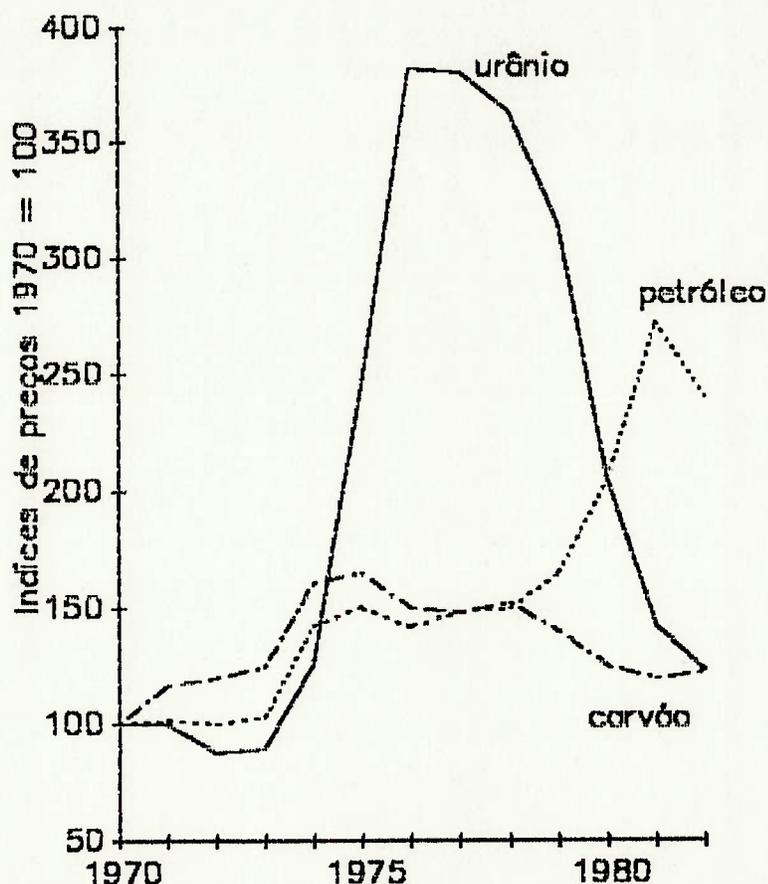


Fig.7- índices de Preços para o Carvão, Petróleo e Urânio nos Estados Unidos entre 1970 e 1982.
Fonte: Owen, 1985⁷⁰, adaptada.

⁷⁰A.D.Owen, op.cit., pp.37-49.

Paralelamente ao contexto estratégico, a análise econômica dos custos de geração nucleoeleétrica dava sustentação à tese da insensibilidade aos preços do urânio natural. Uma diferença de US\$10 na libra-peso de U_3O_8 , traduzia-se em menos de US\$0,001 no custo do quilowatt-hora gerado, como anteriormente mencionado.

Assim sendo, do ponto de vista de geração nuclear, a demanda de urânio se configurava inelástica, o que atribuía ao elemento uma "uniqueness" em relação as demais "commodities" do setor mineral, sabidamente de ampla elasticidade de demanda.

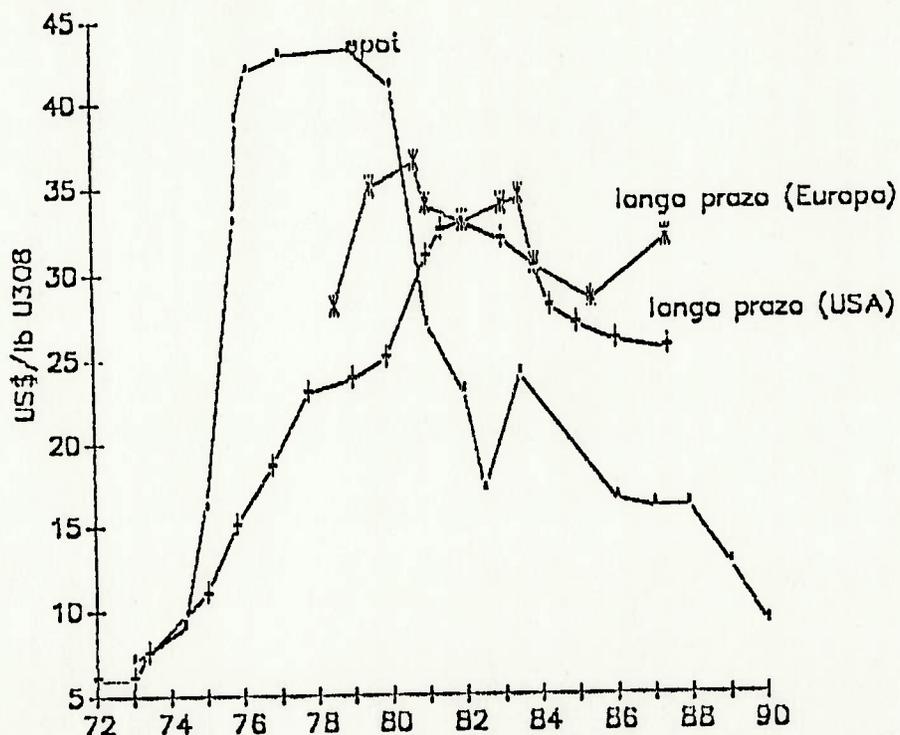


Fig.8- Preços Históricos do Urânio (Nuexco price).
Fontes: Crowson, 1988⁷⁴ e NUKEM, 1990⁷⁵, adaptadas.

⁷⁴P.C.F.Crowson, Uranium: the recalcitrant commodity, Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, pp.140-145.

⁷⁵NUKEM Market Report 1, 1990, p.16.

Os altos preços, que perduraram de 1975 até dezembro de 1979, como mostra a Figura 8, levaram a reavaliação do papel estratégico e econômico do urânio.

Inicialmente observou-se que, no âmbito do ciclo do combustível nuclear, a elasticidade de demanda do urânio é diferente de zero. A menor tendência de aumento de seus preços traz, em contrapartida, maior requisição dos serviços de enriquecimento isotópico, reduzindo a demanda de urânio natural.

Posteriormente percebeu-se que, a competitividade da eletricidade de origem nuclear, dependia de que os custos do elemento combustível (fuel assembly) fossem mantidos tão baixos quanto possível.

Assim, o caráter estratégico do urânio, que inicialmente contribuiu para minimizar a importância de seus preços frente à demanda, no final da década de setenta impunha limites a esses preços.

Freados os ímpetos nucleares mundiais, nos primeiros anos oitenta, e com a definição de novas concentrações econômicas de urânio em diferentes regiões do planeta, a apregoada "uniqueness" do elemento passou a ser questionada. Paulatinamente, o urânio começou a perder o

charme estratégico. "It is a much more ordinary mineral commodity than is generally acknowledged" resumiu Conway⁷³, incrédulo, a instigante palestra de Phillip Crowson, chefe do Departamento de Economia da Rio Tinto Zinc Corporation, por ocasião do 10º Simpósio Anual do Instituto do Urânio. Para Crowson, não é o urânio que apresenta demanda inelástica, o "requirement of heat from fuel assemblies that is inelastic".

Por outro lado, nada há de especial com os preços do urânio que o diferencie das demais "commodities" minerais. Acompanharam o "boom" dos preços dos metais entre 1967 e 1980. Elevaram-se excepcionalmente com a crise do petróleo, respondendo a expectativa de célere disseminação de reatores nucleares. Caíram, vertiginosamente, quando a recessão dos anos oitenta freou o incremento de demanda da energia elétrica bem abaixo da média histórica de 7,4%. Enfim, para Crowson, as respostas do elemento às situações políticas e econômicas que se lhe apresentaram, em nada diferiram das experiências adquiridas com outros metais, "but uranium is still a very young industry" ⁷⁴.

A partir de 1980, os preços do concentrado de urânio começaram a cair, chegando a US\$1500/lb U₃O₈, em 1985. Os baixos preços praticados não indicavam qualquer

⁷³A. Conway, Uranium in its Proper Place? Resources Policy 12:75-77, 1986.

⁷⁴P.C.F. Crowson, Uranium as a Commodity: Lessons for the future, Uranium and Nuclear Energy: 1985, London, 1986, p.12.

possibilidade de escassez futura. Os custos de retenção dos estoques, haja vista as altas taxas de juros que passaram a vigorar a partir de 1982, aconselhavam a sua redução. As concessionárias passaram a comercializá-los⁷⁵ a preços cada vez mais baixos. Em dezembro de 1989 chegaram ao valor mínimo da década, US\$900/lb U₃O₈, demonstrando, aparentemente, despreocupação com a possível ruptura de fornecimento a curto e médio prazos.

É tarefa difícil elaborar prognósticos a respeito dos preços futuros do urânio e, assim, avaliar seu impacto na demanda. Dependeria da percepção do panorama energético global e da expansão da energia nuclear, em particular⁷⁶. Acrescente-se à essas, incertezas devidas a imaturidade da indústria do urânio e a não divulgação dos preços em que é comercializado a longo prazo, e se poderá avaliar a confiabilidade de um exercício de tal natureza. Apesar das dificuldades, algumas projeções estão sendo elaboradas pelo Instituto do Urânio (Uranium Price Reporting System) e pela Agência de Energia Nuclear da OECD, embora ainda não tenham recebido a devida divulgação. Os tipos de mercados e seus respectivos preços será tratada adiante.

⁷⁵NUKEH Market Report 6, May 1986, pp.2-3.

⁷⁶M.J.Crijns et alii, op.cit., p.334.

A análise prospectiva da influência dos preços na demanda de urânio, deve considerar, como parâmetro de maior importância, a "fixity of supply"⁷⁷. Sob essa ótica pode-se especular:

-Um incremento de demanda pode ser esperado, se os depósitos de urânio não forem explorados com eficiência e/ou se o custo de produção aumentar. Nessas circunstâncias, a expectativa de preços ascendentes pode levar a formação de estoques.

-Uma retração de demanda pode acontecer, se depósitos importantes de urânio, exploráveis a baixo custo, forem definidos e colocados em produção. Nessas situações, os preços são estabilizados e as compras de "urânio novo" podem ser postergadas.

Evidentemente, uma célere expansão da capacidade nuclear instalada ou uma diminuição da taxa de crescimento da energia físsil, pode resultar nas mesmas relações em termos de preços e demanda de urânio.

Computadas todas essas possibilidades, o prognóstico é que os preços do urânio deverão se manter, em bases reais, razoavelmente constantes, até meados da década

⁷⁷M.A. Adelman et alii, op.cit., p.xxi.

de noventa. Após 1995, contudo, deverão aumentar a razão de 2% ao ano⁷⁸, não havendo dados para se afirmar que influenciarão, decisivamente, a demanda até o ano dois mil.

* * *

Conclusões Parciais

A demanda de urânio é resultante da necessidade de combustível físsil para operar a capacidade nuclear instalada, com a qual se pretende atender determinado consumo de eletricidade. Relacionada, pois, ao consumo de eletricidade, depende, a longo prazo, da situação econômica mundial.

A capacidade nuclear instalada decorre da fissão atômica ter se mostrado economicamente competitiva, frente as demais tecnologias de geração de eletricidade. No futuro, entretanto, dependerá mais da energia físsil ser aceita como alternativa à combustão do carvão do que dos aspectos econômicos que a determinaram. Sendo assim, a questão ambiental deverá se constituir em importante fator

⁷⁸K.J.Crijns et alii, op.cit., p.335.

de ampliação ou de estagnação da capacidade nuclear no próximo século.

Estando a demanda de urânio sujeita a fatores tão imponderáveis, tais como a situação econômica mundial e o resultado da discussão ambiental, elaborar prognósticos para seu comportamento, a longo prazo, é exercício de pouca consequência.

Em horizontes mais próximos a capacidade nuclear é firme, permitindo que as necessidades de combustível nuclear, a curto e médio prazos, possam ser calculadas com exatidão. Entretanto, o urânio requerido para a preparação do elemento combustível (fuel assembly) pode variar, em função de opções, técnicas e econômicas, assumidas nas diferentes etapas do ciclo do combustível. Essas variações constituem-se em fontes de incertezas nas estimativas dos "requirements".

As incertezas nas estimativas dos requerimentos de urânio, contudo, não são tão importantes quanto a complexidade de estágios e de alternativas técnicas parecem indicar. Analisando-se conjuntamente todos os fatores de indeterminação, calcula-se um desvio de +12% ou -17% nos requerimentos previstos para o ano dois mil. Assim, tomando-se por base os requerimentos estimados para esse mesmo ano, ou sejam, 55000 toneladas U, a imprecisão situa-

se entre a redução de 7300 toneladas U ou o aumento de 6500 toneladas U. Mas não deverá chegar a tanto. A discussão dos fatores de incerteza minimiza a importância desses desvios, principalmente porque a implementação, a nível mundial, dos progressos tecnológicos no ciclo do combustível, têm sido lentos.

Admitindo-se uma escalada para os preços do urânio da ordem de 2% ao ano, é provável que os desvios, para mais e para menos, venham a se compensar. Seriam consumidas, assim, quantidades muito próximas das calculadas pelo Instituto do Urânio, concluindo-se que os "requirements" retratam com boa aproximação a demanda de urânio.

Doutros fatores, porém, interferem diretamente na demanda de "urânio novo", tais como a quantidade de material reprocessado disponível, os preços de aquisição do urânio e os estoques em poder dos consumidores. De todos esses, somente os estoques podem alterar significativamente a demanda de "urânio novo" prevista até o ano dois mil, constituindo-se na principal fonte de incerteza. Por fazerem parte da estratégia das empresas de nucleoeletricidade, não é possível prever quando serão utilizados. Contudo, comparando-se os "procurements" com os "requirements", conclui-se que não deverão continuar a influenciar a demanda de "urânio novo", como nos anos

oitenta, pois estarão ajustados às necessidades das concessionárias já em meados da presente década. A partir daí, os requerimentos da capacidade nuclear instalada terão que ser satisfeitos, basicamente, adquirindo-se "urânio novo".

4. O SUPRIMENTO DE URÂNIO

"Who want's millionaire and have uranium to spare?" perguntava a canção no final dos anos quarenta¹.

"O Sr. deve ser um homem que conheceu a riqueza feita pelo ouro. O ouro não vale mais nada. Rico são os países que tem Urânio", confidenciou o presidente da Atomic Energy Commission, Gordon Dean, ao Chanceler João Neves da Fontoura enquanto lhe propunha a compra de minério de urânio brasileiro, em 1951².

Influenciado por essas palavras ou não, o certo é que, em 21 de fevereiro de 1952³, menos de quatro meses após a passagem de Gordon Dean pelo Brasil, foi transformado em decreto o projeto de autoria do Chanceler, que criou a Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos- CEME, da qual foi o primeiro presidente.

¹FT Energy Economist, World Status: Uranium Resources, FTEE 60: 8-12, Oct. 1986.

²Dagoberto Salles, Relatório da CPI para proceder as investigações sôbre o problema de energia atômica no Brasil, Brasília, Câmara dos Deputados, 1962, p.20.

³(N.da A.)- Conforme D. Guilherme em "O Brasil e a Era Atômica", o decreto de criação da CEME é de 21.02.52, ou seja, do mesmo dia em que Getúlio Vargas assinou o 2º Acordo Atômico com os Estados Unidos. A data que consta tanto no Relatório da CPI como em D.Salles, "Energia Atômica: Um Inquérito que Abalou o Brasil", refere-se a instalação da CEME.

A criação da CEME teve como objetivo, implícito, contornar as dificuldades que o "princípio das compensações específicas", formulado pelo Conselho Nacional de Pesquisas, trouxe às exportações de minerais de interesse nuclear para os Estados Unidos. No mesmo dia em que foi constituída, também foi assinado o Segundo Acordo Atômico com aquele país. Esse Acordo foi celebrado, porém, sem que o Conselho Nacional de Pesquisas fosse consultado e sem fazer qualquer alusão às compensações específicas.

Ilações à parte, a canção popular norte-americana e a confiança do Presidente da Atomic Energy Commission, evidenciam o prestígio desfrutado pelo urânio no início da década de cinquenta, há menos de dez anos do funcionamento da pilha de Fermi, em Chicago, e transcorridos apenas cinco anos da hecatombe que se abateu sobre Hiroshima e Nagasaki. Antes desses eventos, os minérios de urânio somente eram explotados para a obtenção do elemento radioativo rádio⁴.

Mais de cento e cinquenta minerais de urânio são conhecidos dentre os quais a uraninita, UO_2 , e a variedade finamente cristalizada ou coloforne, a pechblenda, constituem-se nos mais importantes óxidos.

⁴C.T.Barock e C.J.Barock, Nuclear Mineral and Their Utilization, in: Economics of the Mineral Industries, AIME, 1976, p.499.

A pechblenda, principal minério de urânio, foi descoberta em Joachimsthal, na Tchecoslováquia, por volta do início do século XVII, tendo posteriormente servido à extração do elemento radioativo rádio para os trabalhos do casal Curie. Depósitos de pechblenda em veios, similares ao de Joachimsthal, foram mais tarde descobertos no Canadá (Great Bear Lake) e no Zaire (Shinkolobwe), os quais se constituíram nas fontes de urânio para o Projeto Manhattan, ao tempo da Segunda Grande Guerra. A coffinita, $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_x$, é um dos minerais mais abundantes de urânio, demonstrando a característica litófila do elemento. Óxidos e silicatos indicam ambientes de formação primária de urânio.

O urânio é amplamente distribuído na crosta, propriedade que, associada a facilidade de adaptação aos mais diversos ambientes naturais, resulta em grande número de variedades mineralógicas. Combina-se prontamente com outros íons e radicais para formar carbonatos, fosfatos, vanadatos e sulfatos. Dentre os minerais assim formados, ditos secundários, deve ser destacada a carnotita, $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 2H_2O$, descrita desde 1899 no Colorado (USA), e que se constitui, ainda hoje, em fonte de vanádio e urânio. Essa variedade de minerais existentes demonstra que o urânio não é um elemento tão raro como poderia ser imaginado, embora raramente encontrado em grandes concentrações.

A demanda de urânio, antes da Segunda Guerra Mundial, não motivou a sua prospecção ou o desenvolvimento de prováveis minas. Quando o Projeto Manhattan produziu a bomba atômica, gerando a necessidade de estoques para fins militares, poucos depósitos de urânio eram conhecidos nos Estados Unidos e no resto do mundo.

A criação da Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos, em 1946, foi decisiva para a reversão do quadro de desconhecimento a respeito dos recursos de urânio. Considerou altamente prioritário reconhecer suas fontes de suprimento, do que se encarregou, especificamente, a Divisão de Matérias Primas. Essa prioridade, foi implementada por uma série de incentivos à prospecção do elemento no território norte-americano, resultando num verdadeiro "rush" em sua exploração, só comparável a corrida do ouro nos idos de 1849³. A indústria do urânio acentava suas bases nesse país.

Pode-se ter idéia do que representou, para a indústria mineral, o "rush" exploratório de urânio no pós-Guerra, tendo-se em conta que, entre 1952 e 1958, "more man-hours were spent searching for uranium alone than had been spent in seeking all other metals in history"⁴. Fruto

³C.T.Barock e C.J.Barock, *op.cit.*, p.500.

⁴Eberhardt W.Heinrich, *Mineralogy and Geology of Radiactive Raw Material*, New York, 1958, p.vii.

dos investimentos alocados na exploração, os Estados Unidos alcançaram expressiva produção de urânio já em 1955.

Efetivamente, havia razões mais do que suficientes para que fosse perguntado à época "Who want's millionaire, and have uranium to spare?"

No Brasil, apesar dos Estados Unidos desenvolverem pesquisas minerais desde 1940, através do Programa de Cooperação para a Pesquisa de Recursos Minerais, somente em 1948, com a celebração do Acordo Administrativo, é que o interesse pelo urânio passou a ser percebido. Esse Acordo vedava a divulgação dos resultados dos trabalhos de prospecção que seriam realizados no Brasil, conjuntamente pelo Bureau of Mines e o Geological Survey, de um lado, e o Departamento Nacional da Produção Mineral, pelo outro, sem a prévia anuência do governo norte-americano.

Tão estranha proibição, que não constava do Programa anterior, deixa transparecer a conotação militar e estratégica do Acordo Administrativo, firmado quando a AEC empenhava-se em assegurar o suprimento de urânio para a emergente indústria de armamentos nucleares norte-americana.

A campanha "Átomos para a Paz", lançada por Eisenhower na Organização das Nações Unidas, em 8 de

dezembro de 1953, antecipando "the age of nuclear power"⁷, foi responsável pela implementação da exploração do urânio a nível mundial, notadamente na África e na América do Sul. A partir daí, o interesse pelo urânio brasileiro passa a ser manifestado explicitamente pelos Estados Unidos, resultando na assinatura, em 1955, do Programa Conjunto de Reconhecimento e Investigação de Urânio no Brasil, também conhecido como "Operação Urânio"⁸.

Todos os programas e acordos, celebrados com os Estados Unidos depois da Segunda Grande Guerra, evidenciam que a geopolítica nuclear, ou mais precisamente, as pretensões hegemônicas norte-americanas quanto aos segredos atômicos, incluíam o Brasil como fornecedor de recursos minerais físséis. Mas é importante esclarecer que até então, somente eram conhecidas reservas de monazita no país. Do urânio, apenas conhecia-se a ocorrência nos caldasitos (zirconita + baddeleyita) do Planalto de Poços de Caldas⁹.

Resta saber, quais razões de cunho geológico faziam do Brasil parceiro tão cobiçado pelos Estados Unidos. Pois, a subserviência notória de alguns dirigentes ou a venalidade de outros, a existência comprovada de

⁷United Nations Centre on Transnational Corporations, Transnational Corporation and Contractual Relations in the World Uranium Industry, New York, United Nations, 1983, p.5.

⁸Olympio Guilherme, O Brasil e a Era Atômica, Rio de Janeiro, 1957, p.170.

⁹Mário Fraenkel, et alii, Jazida de Urânio no Planalto de Poços de Caldas, in: Principais Depósitos Minerais do Brasil, Rio de Janeiro, MNE(DNPM/CVRD), 1985, p.89.

areias monazíticas ou até mesmo a extensão territorial, não parecem suficientes para justificar todo o interesse demonstrado à época.

As sucessivas descobertas de depósitos de urânio que se seguiram ao esforço exploratório do pós-Guerra, desencorajaram a manutenção do ritmo em que o elemento vinha sendo mundialmente prospectado. E assim, garantido o suprimento para fins militares, o futuro da indústria do urânio passou a depender da energia nuclear se mostrar competitiva, frente a eletricidade gerada por outras fontes.

Até os anos sessenta, a produção de urânio continuou concentrada nos países que estiveram envolvidos na fabricação da bomba atômica, especialmente nos Estados Unidos e no Canadá, e havia começado naqueles que já anteviam grande participação da energia nuclear na sua matriz energética, como é o caso da França. Apesar da liderança desses países, também a África do Sul e a Austrália iniciaram a sua produção ainda no final dos anos cinquenta.

A elevação brutal dos preços do petróleo, em 1973, criou um cenário favorável ao rápido crescimento da indústria nuclear, estabelecendo-se um novo "rush" exploratório de urânio a nível mundial. Em menos de oito

anos, tempo que durou esse "rush", os recursos conhecidos do elemento cresceram significativamente, o que se deveu a localização de jazimentos na Austrália, Canadá e Brasil.

Tab.10- Comparação entre Investimentos na Exploração de Urânio no Mundo Ocidental e no Brasil (US\$ milhões).

Ano	Total Mundial	Brasil
1972	183	nd
1973	232	nd
1974	272	nd
1975	392	7,3
1976	566	20,7
1977	748	17,9
1978	885	21,5
1979	894	18,8
1980	759	15,8
1981	537	17,7
1982	344	16,9
1983	201	4,6
1984	148	3,0
1985	122	nd
1986	150	nd
1987	117	nd

1972/1980: valores a US\$ 1980
1981/1987: valores correntes.

Fontes: UI, 1984¹⁰.
OECD/IAEA, 1988¹¹.
Me&P, 1984¹².

¹⁰UI, Uranium Supply and Demand: Perspectives to 1995, London, 1984, p.49.

¹¹NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.29.

¹²Paulo Lima, Nuclebrás: modelo tripartite nos novos projetos, Minérios, 93, 1984, p.30.

O Brasil foi dos países mais ativos durante o "rush" exploratório da década de setenta, tendo investido, até 1980, US\$153 milhões na prospecção e pesquisa de urânio, investimento apenas superado pelos Estados Unidos, Canadá, França e Austrália¹³. Assim, o "Brazil was the largest recipient of exploration funds among the less active producing countries in 1979..."¹⁴

Na Tabela 10 constam os investimentos realizados na exploração de urânio a partir de 1972 e os que foram realizados pelo Brasil¹⁵.

4.1. Distribuição Temporal dos Depósitos

Urânio e tório são os únicos recursos minerais energéticos presentes desde a formação da Terra¹⁶. Participaram de todos os episódios que levaram à evolução do planeta, muito embora não sejam conhecidas concentrações econômicas em terrenos mais antigos do que 2800 milhões de anos. Mas foi, exatamente, a partir desses terrenos mais

¹³NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.29.

¹⁴United Nations Centre on Transnational Corporations, op.cit., p.6.

¹⁵(N.da A.)- Segundo a NEA(OECD)/IAEA, 1988, os investimentos brasileiros na exploração mineral, anteriores a 1981, foram US\$153,2 milhões. Entretanto, não foi possível chegar-se a essas cifras e também à sua distribuição anual. As cifras de 1975 em diante constam em Paulo Lima, 1984, que também diferem das apresentadas pela NEA(OECD)/IAEA.

¹⁶P.D.Toens et alii, World Mineral Energy Resources and their Distribution in Time and Space, Pretoria, Nuclear Development Corporation of South Africa, Per-86, 1985, p.7.

antigos, que o urânio começou a se dispersar pelos diferentes ambientes geológicos.

A evolução da crosta continental, incorporando amplas áreas em processo de cratonização, propiciou a mobilização do urânio para seus níveis superiores. Os granitos ricos em potássio, que se alojaram na crosta nos estágios tardios de cratonização, resultantes da cristalização de líquidos ascensionais, foram particularmente importantes para a formação da maioria dos depósitos de urânio em terrenos do Proterozóico (2600- 600 milhões de anos). São eles considerados a rocha fonte do material uranífero mobilizado à essa época.

No Proterozóico podem ser individualizados três processos mineralizadores em urânio¹⁷. O primeiro ocorreu entre 2800 e 2200 milhões de anos, como resultado do transporte e da acumulação detrítica de uraninita, favorecidos pela existência de uma atmosfera isenta de oxigênio. Sob essas condições redutoras, formaram-se os depósitos de urânio em placeres, como os de Witwatersrand, na África do Sul, de Elliot Lake, no Canadá, e de Jacobina, no Brasil.

¹⁷P.D.Toens e C.P.Andrews-Speed, The time-bound character of uranium mineralising process with special reference to the Proterozoic and Gondwana, Precambrian Research 25:3-36, 1984.

O segundo processo mineralizador ocorreu entre 2200 e 1200 milhões de anos, consequência de um ganho de mobilidade do urânio, devido ao aumento da concentração de oxigênio na atmosfera. Soluções ricas no íon uranyl (U^{+6}) passaram a percolar na superfície, e a descarregá-lo quando em presença de ambientes redutores, somente existentes em sedimentos marinhos. Depósitos representativos desse processo são conhecidos em Oklo, no Gabão, Beaverlodge e Athabasca, no Canadá, e em Pine Creek, na Austrália. Enquanto em Oklo os sedimentos marinhos sofreram processo diagenético e são tectonicamente controlados, em Athabasca e Pine Creek são encobertos por clásticos continentais, configurando paleosuperfícies. Não há, portanto, uniformidade nas características geológicas dos depósitos formados por esse processo, motivo pelo qual devem ser evitadas generalizações.

O terceiro processo mineralizador no Proterozóico, ocorreu entre 1200 e 400 milhões de anos, relacionado à reativação termo-tectônica, produzida pelos movimentos iniciais da tectônica de placas. O depósito de Lagoa Real (820 milhões de anos), no Brasil, pode ser apontado como um exemplo desse evento, por apresentar estruturas de cavalgamento (overthrusting) em rochas do embasamento Arqueano¹⁰. A reativação termo-tectônica também

¹⁰Lydia Lobato et alii, Uranium Enrichment in Archean Crustal Basement Associated with Overthrusting, Nature 303:235-237, 1983.

provocou o aparecimento de alaskitos intrusivos no embasamento, geralmente pegmatíticos, contendo mineralizações uraníferas. Rossing (470 milhões de anos), na Namíbia, e o histórico Shinkolobwe (700 - 450 milhões de anos), no Zaire, são depósitos formados por esse processo.

Os depósitos de urânio do Fanerozóico (570 milhões de anos) ocorrem em sedimentos clásticos, fluviais, que preenchem fundos de vales. Esses sedimentos, ao incorporarem matéria orgânica, favoreceram a formação de ambientes redutores, propícios à precipitação do íon uranyl. Os depósitos de urânio que ocorrem nos sedimentos do Gondwana, tanto na América do Sul como na África, e nos do Wyoming, nos Estados Unidos, são exemplos do processo mineralizador que predominou em todo Fanerozóico.

Cabe ainda mencionar que o urânio, elemento extremamente móvel e amplamente distribuído nas rochas da crosta, continua a formar novas acumulações. Os depósitos superficiais denominados calcrete, que ocorrem em Yeelerrie, na Austrália, e Dusa Mareb, na Somália, entre outros, são exemplos de mineralizações do Terciário ou mais jovens.

As diferentes características dos depósitos de urânio ao longo do tempo geológico, permitem afirmar que o elemento respondeu diferenciadamente aos grandes eventos

que demarcaram a evolução crustal. Dos depósitos antigos, de filiação magmática, passou-se para os de predominante influência supergênica, tanto na formação como na preservação. Esses últimos, mais jovens, contribuem para que 90% dos recursos energéticos inventariados no planeta, provados e parcialmente provados, localizem-se em estratos do Carbonífero ou mais recentes¹⁹.

Agrupando-se os depósitos de urânio segundo o tempo de formação, verifica-se que 46% dos recursos mundialmente conhecidos têm idades entre 1800 e 550 milhões de anos, e 45% são mais jovens. Excessão feita ao Arqueano²⁰, os depósitos de urânio estão razoavelmente distribuídos ao longo do tempo geológico.

4.2. Depósitos de Interesse Econômico

Inúmeras propostas para classificar os depósitos de urânio têm sido apresentadas, cada qual privilegiando um determinado aspecto da mineralização. A essas classificações vem sendo acrescentados outros tipos de

¹⁹P.D.Toens et alii, op.cit., p.7.

²⁰G.Albert et alii, Les ressources en uranium du Monde à Economie de Marché, Industrie Minérale -Mines et Carrières, Févr., 1986, p.82.

depósitos, definidos no "exploration rush" da década de setenta.

A classificação genérica dos depósitos em convencionais e não convencionais tem se mostrado inadequada, tanto do ponto de vista geológico quanto econômico. Denominações do tipo singenético ou epigenético, magmático ou supergênico, primário ou secundário²¹, não se prestam para caracterizar inúmeras jazidas importantes, pois os mecanismos de transporte, deposição e concentração do elemento não são compreendidos em seu todo. Por esses motivos, mas muito mais pela importância que a caracterização econômica dos depósitos de urânio assume no presente trabalho, será dada ênfase a descrição dos tipos de depósitos dos quais o urânio vem sendo explotado, ou sejam, os que apresentam interesse econômico.

- Depósitos em Conglomerados

* 15% dos recursos mundiais²²

* 28% da produção mundial

²¹F.J.Dahalkamp, Classification of Uranium Deposits, Mineral Deposita 13:83-104, 1978.

²²H.Berville, Generalites Sur Les Gisements D'Uranium En Explotation Et Les Reserves En Uranium Dans Le Monde, COGEMA, avril 1986, 14p.

As mineralizações de urânio em conglomerados são restritas à camadas do Proterozóico Inferior, que recobrem, discordantemente, granitos e rochas metamórficas do embasamento Arqueano. O quartzo é o mineral dominante nos seixos e na matriz, rica em pirita. Jazidas desse tipo são conhecidas somente na África do Sul (Witwatersrand) e no Canadá (Elliot Lake). As ocorrências de Jacobina, na Bahia, e de Gandarela, em Minas Gerais, mostram-se sub-econômicas.

A origem do urânio nos conglomerados de Witwatersrand tem sido matéria polêmica há décadas, principalmente por coexistirem duas formas de uraninita. Uma, mais velha, detriticamente transportada, e outra, formada a partir da precipitação de soluções portadoras do íon uranyl. Os teores de urânio nos conglomerados sul-africanos são baixos, da ordem de 250ppm U (0,025%), restringindo sua recuperação, do ponto de vista econômico, somente como sub-produto da extração do ouro.

Em Elliot Lake, apesar das feições geológicas similares a Witwatersrand, a mineralogia é mais complexa, e o ouro, embora presente, não constitui concentrações econômicas. O urânio é o elemento principal, explotado a um teor médio de 1000ppm (0,1%).

Nos conglomerados brasileiros, o urânio tem sido associado com mineralização aurífera, embora a correlação espacial entre ambos não esteja comprovada.

- Depósitos em Paleosuperfícies Proterozóicas

* 17% dos recursos mundiais

* 25% da produção mundial

São concentrações de urânio que se localizam próximas ou nas superfícies de discordâncias, formadas por rochas antigas, dobradas e metamorfozadas, subjacentes à camadas mais jovens, caracterizando um ciclo de erosão. Essas inconformidades geológicas estão relacionadas, geralmente, a eventos orogenéticos de escala mundial, que ocorreram preferencialmente entre 1800 e 1600 milhões de anos.²³ Uma feição característica desses depósitos é a associação com grandes geossuturas²⁴.

Os principais depósitos associados à paleosuperfícies proterozóicas ocorrem em áreas plataformais do Canadá e da Austrália. A província uranífera canadense de Saskatchewan, uma das mais ricas do

²³Duncan Derry, Sources of Uranium, Australia's Mineral Energy Resources, 1980, p.77.

²⁴S.H.U.Bowie, Uranium and Thorium raw materials, Oxford University Press, 1983, p.60.

mundo, apresenta inúmeras jazidas importantes localizadas em inconformidades, tais como as de Beaverlodge, Rabbit Lake, Cluff Lake, Key Lake e Cigar Lake. Na Austrália, também são esses os depósitos mais importantes, a exemplo de Nabarlek, Ranger, Jabiluka e Koongarra na região de Alligator River, e Olympic Dam, no extremo sul do país.

Os depósitos em "unconformities" apresentam teores de urânio variados, geralmente superiores a 2000 ppm (0,2%). Mas concentrações excepcionais são frequentes, como em Cigar Lake, que contém 150000 toneladas U a um teor médio de 100000ppm (10%). Os altos teores e a associação com geossuturas, contribuíram para que, até bem pouco tempo, fossem considerados depósitos filoneanos.

Do ponto de vista econômico, os "unconformity deposits" foram importantíssimos para a indústria do urânio. Através deles reverteu-se a tendência à exploração progressiva de jazidas de mais baixo teor, e procedeu-se a alteração da geografia da produção mundial de "yellowcake". Pode-se mesmo afirmar, antecipando-se informação a ser pormenorizada adiante, que a situação crítica em que se encontra a indústria do urânio nos Estados Unidos, tem muito a ver com a definição desses depósitos em outras partes do planeta.

No que diz respeito a prospecção mineral, a descoberta dos depósitos em paleosuperfícies proterozóicas influenciou, decisivamente, para que fossem investigados os terrenos précambrianos, considerados, a exceção dos conglomerados auríferos, desfavoráveis à mineralizações de urânio.

No Brasil, o redirecionamento dos alvos de prospecção para os terrenos précambrianos, foi particularmente importante. Até meados de 1970, os trabalhos concentravam-se nas bacias sedimentares paleozóicas, sendo, então, estendidos também aos terrenos mais antigos. O novo modelo propiciou a localização das jazidas de Lagoa Real, na Bahia, e de Itataia, no Ceará. É necessário esclarecer, porém, que essas jazidas não são classificadas na categoria dos depósitos em paleosuperfícies proterozóicas, embora a mineralização em Lagoa Real esteja condicionada a falhamento de amplitude regional.

O que importa, contudo, é que os terrenos précambrianos brasileiros responderam aos investimentos alocados na exploração de urânio.

- Depósitos Filoneanos

* 6% dos recursos mundiais

* 9% da produção mundial

A exemplo da maioria dos metais, as ocorrências de urânio sob a forma de filões ou veios foram as primeiras a serem explotadas, dentre as quais Joachimsthal, na Tchecoslováquia, foi pioneira.

Os jazimentos filoneanos apresentam minerais de urânio preenchendo fendas, fissuras, brechas, ou ainda na forma de "stockworks". São de dimensões variadas e localmente muito ricos, com teores médios de urânio da ordem de 2000ppm a 5000ppm (0,2%-0,5%).

Afora Shinkolobwe, no Zaire, e Port Radium, no Canadá, todos os depósitos importantes que eram classificados nessa categoria, atualmente são relacionados com paleosuperfícies, a exemplo dos que ocorrem em Beaverlodge, no Canadá⁸⁵.

⁸⁵Ducan Derry, *ibidem*.

- Depósitos em Arenitos

* 37% dos recursos mundiais

* 25% da produção mundial

As acumulações de urânio em sedimentos são caracterizadas pela associação com matéria orgânica. Quando, além de matéria orgânica, apresentam também sulfetos, podem dar origem, nas interfácies de zonas de oxi-redução, a depósitos denominados "roll-type".

Os depósitos de urânio em arenitos possuem ampla distribuição mundial e são as mais comuns e características concentrações do elemento. Constituem a base dos recursos uraníferos dos Estados Unidos, a totalidade do urânio explotado na Nigéria (Arlitt e Akouta), e inúmeras outras ocorrências, como na Austrália (Frome Lake), no Brasil (Figueira e Amarinópolis), na Argentina (Sierra Pintada), no Japão (Ningyo-Toge), e na Itália (Val Rendena).

Apesar de terem sido intensamente explotados até os anos setenta, a tendência aos baixos teores vem tornando inviável o aproveitamento econômico desse tipo de depósito. A diminuição do teor médio, de 2000ppm para 1000ppm nos arenitos, tem repercutido dramaticamente na indústria do urânio nos Estados Unidos. Nesse país, onde as acumulações do Colorado e do Wyoming são consideradas as maiores

reservas de urânio em arenitos, o número de plantas de produção de "yellowcake" decresceu de duzentos e cinquenta e quatro, em 1981, para cento e trinta e cinco, em 1983²⁶, em virtude da perda de competitividade ocasionada pelos baixos teores.

No Brasil, os depósitos de urânio em arenitos foram os mais prospectados. As missões norte-americanas, que coordenaram a prospecção de minerais físseis no território brasileiro até 1960 e, posteriormente, as equipes francesas, até 1966, adotavam, fundamentalmente, esses depósitos como modelo de exploração. Mas, também, não era para menos. A grande superfície territorial e a variedade de ambientes geológicos das bacias sedimentares brasileiras, sugeriam que um outro Wyoming poderia ser definido. Localizá-lo poderia justificar todo o interesse norte-americano em prospectar urânio no Brasil.

Apesar das inúmeras ocorrências em arenitos encontradas e exaustivamente estudadas no território brasileiro, os resultados obtidos se resumem aos depósitos de Figueira, no Paraná, e de Amorinópolis, em Goiás, muito aquém das expectativas.

²⁶G. Albert et alii, *op.cit.*, p.83.

- Depósitos de Filiação Magmática

* 12% dos recursos mundiais

* 10% da produção mundial

Os depósitos de urânio de filiação magmática não apresentam uniformidade em suas feições geológicas. Foram assim definidos pela íntima relação com corpos graníticos ou granito-gnáissicos, especialmente quando intrudidos por diques aplíticos e pegmatíticos²⁷. Diferenciam-se dos depósitos filoneanos por apresentarem a mineralização disseminada nas rochas ígneas hospedeiras.

Os teores de urânio nos depósitos tipo magmáticos são baixos, geralmente inferiores a 400ppm (0,04%). Teores tão baixos dificultam o aproveitamento econômico dessas acumulações, situação amenizada pelos grandes volumes de rocha mineralizada que podem apresentar. Rossing, na Namíbia, o mais típico representante dessa categoria de depósitos, associa grande tonelagem (235000 toneladas U_3O_8) com baixos teores (400ppm U). Bancroft, no Canadá, Ilímaussaq, na Groelândia, Mary Kathleen, na Austrália, e Poços de Caldas no Brasil, são outros exemplos de depósitos desse tipo.

²⁷Ducan Derry, op.cit., p.77.

O urânio de Itataia, no Brasil, apesar de relacionado com episenitos⁸⁸, não pode ser incluído entre os depósitos de filiação magmática sem ressalvas. A associação do urânio com rochas carbonatadas e sedimentos fosfáticos nesse depósito também é inquestionável⁸⁹.

- Outros Tipos de Depósitos de Urânio

* 13% dos recursos mundiais

* 3% da produção mundial

Os depósitos de urânio que não se enquadram nas categorias precedentes são agrupados, para efeito de apresentação, em "outros tipos". Incluem acumulações de urânio em calcários, em fosfatos preenchendo cársticos, em fosforitos, em folhelhos betuminosos, em linhitos e acumulações superficiais tipo calcrete, entre outros. Os mais conhecidos são os folhelhos de Ranstad, na Suécia, os de Chattanooga e os fosfatos da Flórida, nos Estados Unidos, os fosfatos do Marrocos, da Tunísia, da Algéria, de Israel e do Egito.

⁸⁸Ana Maria Netto, Contributions a la Mineralogie, a la Petrographie et a la Metallogenie du Gisement Phospho-Uranifere D'Itatiaia-Ceara-Bresil, Clermont, França, 1983 (203 p.) pp.179-188.

⁸⁹Carlos Jansen et alii, Jazida de Urânio de Itataia- Ceará, in: Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília, DNPM, 1985, pp. 130-131.

Os teores nessa categoria genérica são, em geral, muito baixos, menos de 200ppm (0,002%), o que inviabiliza o aproveitamento econômico do urânio como elemento principal. Na Flórida, apesar dos baixos teores, tem sido recuperado como sub-produto da fabricação de ácido fosfórico.

O exame da literatura consultada para a consolidação deste item, no qual se pretendeu informar, além da tipologia, quais depósitos de urânio apresentam potencial econômico, possibilitou duas constatações. A primeira diz respeito a dificuldade em agrupar as acumulações de urânio segundo critérios eminentemente geológicos, evidenciando-se a precariedade do conhecimento dos ambientes de sua formação. Isso pode ser constatado tomando-se Rossing como exemplo. Apesar de ser considerado representante típico dos depósitos de filiação magmática, também aparece na literatura como intraintrusivo, pegmatítico, ou simplesmente classificado como "outros tipos" de depósitos. A dificuldade para estabelecer o modelo da mineralização, para efeito de sistematização, é óbvia.

A segunda constatação refere-se aos tipos de depósitos definidos nas diferentes classificações, as quais individualizam, apenas, os que apresentam, ou apresentaram, interesse econômico, como será demonstrado a seguir. Inicialmente, as feições geológicas do depósito de Olympic

Dam não se adequavam aos tipos descritos, tendo sido classificado na categoria dos "outros". Quando sua importância econômica foi sendo demonstrada, passou a integrar a categoria dos depósitos em paleosuperfícies, de reconhecido potencial para a indústria. Recentemente, foi proposta a sua inclusão na, ainda mal definida categoria, dos "Proterozoic Stratabound and remobilized deposits in continental sedimentary environments"³⁰. Essa, abriga, além de Olympic Dam, depósitos inexpressivos existentes na África.

Evidentemente, o conhecimento mais detalhado da geologia de qualquer ocorrência mineral enseja revisões para melhor caracterizá-la, mas, se Olympic Dam não tivesse a importância econômica que tem, provavelmente continuaria junto dos "outros tipos" de depósitos. Com efeito, as classificações dos depósitos de urânio possuem um forte apelo econômico.

4.3. Recursos e Reservas

O marco conceitual no sistema de análise e avaliação de recursos minerais foi estabelecido por

³⁰NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.188.

McKelvey³¹, ao introduzir a dimensão econômica na quantificação física dos minérios. A necessidade de diferenciar os recursos conhecidos e economicamente recuperáveis, daqueles não aproveitáveis economicamente, e, todos esses, dos recursos ainda não descobertos, levou McKelvey a propor um sistema que contemplasse dois elementos fundamentais de informação: o grau de confiança que um recurso é conhecido, e a viabilidade econômica de sua recuperação.

Apesar da luz que a "McKelvey box", como ficou conhecido o diagrama proposto por McKelvey, trouxe a classificação dos recursos minerais, foi muito pouco praticada, a ponto de, somente os recursos de urânio, serem quantificados de acordo com os custos de produção³².

4.3.1. Classificação

O sistema de classificação dos recursos de urânio, internacionalmente utilizado, foi proposto conjuntamente pela Agência de Energia Nuclear (OECD) e pela

³¹V.E. Van McKelvey, Mineral Resource Estimates and Public Policy, American Scientist 60:32-40, 1972.

³²H.A. Adelman et alii, Energy Resources in an Uncertain Future, Cambridge, Mass., 1983, p.391-392.

Agência Internacional de Energia Atômica. Consiste numa figura bi-dimensional, que relaciona o nível de confiança em que os recursos são conhecidos ao custo para produzi-los na forma mais simples de concentrado, ou seja, o "yellowcake".

A quantificação dos recursos de urânio é, na maioria das vezes, expressa em toneladas curtas do trióxido (U_3O_8), uma vez que, estando esses recursos ainda no subsolo, não são levadas em consideração as perdas que vierem a ocorrer no tratamento do minério. A produção de concentrados, por sua vez, é apresentada tanto na forma de urânio contido (elementar) como em seu trióxido, em que pese a recomendação de que recursos e produção sejam sempre expressos em toneladas métricas de urânio contido³³.

(1 t curta de U_3O_8 = 0,769 t métricas de U)

Ainda, com respeito as unidades de quantificação dos recursos e da produção de urânio, merece atenção o fato de que a demanda é, geralmente, expresssa em toneladas métricas³⁴, o que pode levar a equívocos quando cotejada com a produção, se expressa em toneladas curtas.

³³NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand. Paris, 1983, p.15.

³⁴H.C.McIntyre, How Much Uranium do We Really Need? Energy Int., February, 1980, pp.13-15.

De acordo com o grau de confiabilidade utilizado na quantificação, os recursos de urânio são classificados em:

- Recursos Razoavelmente Assegurados
(RAR: Reasonably Assured Resources)

São aqueles cuja existência pode ser apontada com alto grau de confiabilidade. Resultam da avaliação de depósitos, cujo teor e tonelagem são determinados através de amostras especialmente coletadas para esse fim. Os custos de produção dos recursos assim quantificados, podem ser estimados com precisão, tomando-se por base a tecnologia comprovadamente disponível.

Os recursos razoavelmente assegurados que podem ser produzidos a custos inferiores a US\$80/Kg U, são considerados reservas.

- Recursos Adicionais Estimados
(EAR: Estimated Additional Resources)

Em 1983, os recursos adicionais estimados foram subdivididos em duas categorias, para diferenciar os já identificados, daqueles ainda não encontrados.

Categoria I (EAR I): São os recursos de urânio identificados por evidências geológicas diretas, que se situam ao longo da extensão de depósitos bem conhecidos. A quantificação desses recursos decorre de amostras e informações que não foram coletadas com o objetivo precípua de avaliá-los, não apresentando, assim, a confiabilidade requerida pelos recursos razoavelmente assegurados.

Por se situarem nas extensões de depósitos conhecidos, ou por similaridade a outros, permitem prever uma faixa de custo em que poderão ser produzidos.

Categoria II (EAR II): São recursos de urânio adicionais aos EAR I, ainda não encontrados, mas que se supõe existir em áreas de geologia favorável, evidenciadas pela presença de ocorrências ou, até mesmo, de depósitos de urânio já definidos.

As estimativas de teor e de tonelagem nessa categoria de recursos, baseiam-se em informações obtidas de outros depósitos existentes na área, bem como em evidências proporcionadas por amostragem geológica, geoquímica e medidas geofísicas, quando disponíveis. A inexistência de evidências diretas, não permite que esses recursos, presumíveis, sejam classificados com o mesmo grau de confiança que os EAR I. Apesar disso, a extrapolação de dados de outros depósitos, possibilita apontar uma faixa de

custos para a sua produção, caso venham a ser efetivamente definidos.

- Recursos Especulativos

(SR: Speculative Resources)

São os recursos de urânio que se imagina existir, com base em evidências indiretas e extrapolações geológicas, em depósitos a serem ainda descobertos. Como a denominação dessa classe de recursos dá a entender, a existência é pouco confiável.

Do ponto de vista do interesse econômico, os recursos de urânio são agrupados em três diferentes classes de custos de produção:

- inferior a US\$80/kg U
- entre US\$80 e 130/kg U
- entre US\$130 e 260/kg U

Entende-se por custo de produção a somatória das seguintes despesas:

- custos diretos de mineração, transporte e tratamento do minério de urânio;
- custos relacionados com o controle ambiental e manejo de rejeitos;
- custos de manutenção de unidades de produção inoperantes temporariamente;
- custos de financiamento de todos os equipamentos não amortizados;
- custos com o pagamento a escritórios de serviços, taxas e "royalties";
- custos de capital para a implantação de novas unidades de produção;
- custos com a exploração e pesquisa mineral para a delimitação de outros corpos de minério que assegurem a continuidade da produção.

Via de regra, os custos denominados "ocultos" (pesquisa e desenvolvimento, laboratoriais, regulamentação, segurança e proteção pública, incentivos, subsídios, indenizações, entre outros) não são computados como custos de produção. São considerados de responsabilidade governamental.

Mesmo incluindo-se as despesas realizadas com a exploração mineral, inclusive de novos depósitos para assegurar a continuidade de operação da planta ou da

empresa mineradora, os custos de produção são, muitas vezes, denominados de "forward costs". Entretanto, esse termo deve ser evitado, uma vez que tem emprego específico para situações determinadas, como as apresentadas no capítulo anterior. Além disso, "forward costs" é um termo utilizado nas avaliações econômicas dos depósitos de carvão, cuja despesa com a exploração "is unlikely to make a large difference in future cost evolution"³⁵, o que não se verifica com os de urânio.

A classificação dos recursos de urânio recomendada pela NEA(OECD)/IAEA, mesmo sendo considerada "the most comprehensive reserve estimates"³⁶, apresenta alguns aspectos que devem ser melhor esclarecidos, se não criticados.

Em primeiro lugar, não pode ser considerada rigorosamente bi-dimensional, no que reproduz o ponto vulnerável da classificação proposta por McKelvey. A bi-dimensionalidade implicaria numa relação de interdependência entre os graus de confiança que um recurso é conhecido e os custos para produzi-lo. Mas, como na "McKelvey box", qualquer das classes de recursos de urânio, excetuando-se as reservas, pode ser produzida por qualquer um dos custos estabelecidos na classificação, o que não

³⁵H.A.Adelman, et alii, op.cit., p.387.

³⁶H.A.Adelman, ibidem, p.391.

corresponde exatamente a verdade, pois não há como produzir-se um recurso especulativo hoje. Há que se investir para melhor conhecê-lo, eliminando-se as incertezas. E essas, tão frequentemente associadas ao setor mineral, constituem-se, antes de mais nada, num importante elemento de custo.

CUSTOS DE EXPLOTAÇÃO	US\$ 130 a US\$ 260/kg U	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS I	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS II	RECURSOS ESPECULATIVOS
	US\$ 80 a US\$ 130/kg U	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS I	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS II	RECURSOS ESPECULATIVOS
	até US\$ 80/kg U	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS reservas	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS I	RECURSOS ADICIONAIS ESTIMADOS II	
Nível de confiabilidade decrescente →					

Fig.9- Esquema de Classificação dos Recursos de Urânio.
Fonte: OECD/IAEA, 1983³⁷.

Em segundo lugar, a falta de definição entre as duas categorias de recursos adicionais estimados (EAR I e

³⁷NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1983, p.12.

EAR II), e entre essas e os recursos especulativos (SR), dificultam a utilização da classificação proposta. Evidências geológicas, diretas ou indiretas, pouco acrescentam à confiabilidade com que um recurso ainda não descoberto, pode ser avaliado. E, avaliar um recurso não descoberto é tão incerto, seja em áreas geologicamente favoráveis, em continuidades de corpos mineralizados conhecidos ou mesmo em áreas não adequadamente exploradas, quanto especulativo.

Não bastasse tudo isso, quando se procura estimar um custo de produção para recursos não definidos, a partir da possível semelhança com outros depósitos, qualquer número poderá expressar esse custo. A opinião subjetiva, de especialistas, prevalecerá a qualquer quantificação. De qualquer modo, a avaliação de recursos minerais contém um certo grau de subjetividade, da mesma forma que a ciência requer um grau de abstração para seu reconhecimento.

Apesar da sistemática proposta pela NEA(OECD)/AIEA ser de grande valor para uniformizar a terminologia, a quantidade de adjetivos utilizada para classificar os recursos minerais, em geral, e os de urânio, em particular, tem sido grande.

O Serviço Geológico dos Estados Unidos é liberal quanto ao emprego de qualificadores para recursos e

reservas³⁸. Do provável ao hipotético, do demonstrado medido ao especulativo, tudo é permitido, somente não empregando "recursos impossíveis"³⁹.

No Brasil, não há referência ao termo "recursos" de urânio. A premência em assegurar o combustível necessário à operação dos oito reatores previstos no acordo com a Alemanha, levou a definição prioritária de reservas. Como se essas não fossem o resultado de investimentos na avaliação de um recurso. A questão do suprimento se sobrepôs às avaliações de potencialidade. Tanto é assim, que o programa APURB - Avaliação do Potencial Uranífero do Brasil, iniciado pelas Empresas Nucleares Brasileiras S.A. em 1977, centrou seus objetivos na "seleção de novas áreas para a prospecção de urânio"⁴⁰ sem o intuito de sistematizar o conhecimento sobre os recursos prováveis, possíveis e especulativos, o que seria de se esperar de um programa de investigação de recursos potenciais.

O sistema de classificação de reservas adotado pela Nuclebrás (medidas, indicadas e inferidas) foi

³⁸(N.da A.)- A atitude liberal norte-americana quanto a utilização de qualificadores para recursos e reservas é defendida por J.J.Schanz em "Resource Terminology: An Examination of Concepts and Terms and Recommendation for Improvement", 1975. Em que pese a importância desse trabalho, a tentativa de compatibilizar terminologias utilizadas em diferentes etapas da indústria mineral dificultou a sua uniformização. O autor redimiu-se em "Uranium Reserve and Resource Assessments", 1982, quando reclamou da introdução da terminologia proposta pela NEA(OECD)/IAEA e da adoção de cinco outras categorias de recursos pelo U.S.Department of Interior.

³⁹Fundação Ford, Energia Nuclear: Problemas e Opções, São Paulo, 1977, p. 104.

⁴⁰Luis C. Surcan Santos, Avaliação do Potencial Uranífero do Brasil, in: 2º Seminário Brasileiro sobre Técnicas Exploratórias em Geologia, Gravatal, 1979, MHE/DNPM, pp.93-96.

concebido pelo Bureau of Mines, para estimar o potencial mineral de amplas áreas, com o objetivo de subsidiar a formulação de políticas públicas. Por concepção, não deveria ser empregado para avaliar a disponibilidade de um recurso. Não é um sistema de classificação de reservas e sim de recursos minerais.

Segundo a Nuclebrás, diversos qualificadores, além dos mencionados, podem ser utilizados para especificar as reservas de urânio: geológicas, "in situ", lavrável, usina, marginal, usina recuperável e total recuperável. A Empresa avaliou as geológicas⁴⁴, apesar da impropriedade do termo. Essas não correspondem a totalidade dos recursos que podem ser recuperados, pois não estão descontadas, como recomendável para reservas, as perdas inerentes ao tratamento do minério, tais como as que ocorrem na triagem, na lavra e no beneficiamento.

Admite-se, mesmo com restrições, o emprego da denominação "recursos geológicos" quando se procede a avaliações de gás e petróleo não descobertos, mas que poderiam ser recuperados se viessem, efetivamente, a ser definidos⁴⁵. Porém, a designação "reservas geológicas", não faz parte de nenhum sistema de classificação de recursos minerais, como também não faz da classificação dos recursos

⁴⁴José Paulo M. Marques et alii, Sistema de Avaliação de Reservas de Bens Minerais na Nuclebrás, in: XXXI Congr. Bras. de Geol., Camboriú, 1980, Nuclebrás, Publicação Especial, 37p.

⁴⁵H.A. Adelman et alii, op.cit., p.390.

de urânio. O termo mais adequado ao tipo de avaliação feita pela Nuclebrás, e de aceitação internacional, parece ser "reservas in situ".

Assim, o Brasil é o único país que adota e divulga reservas geológicas de urânio.

A impropriedade de termos e do sistema de classificação adotado pela Nuclebrás decorre da tentativa de conciliar avaliações de potencial com estimativas das "reservas economicamente aproveitáveis"⁴⁹, como se reservas pudessem envolver recursos não aproveitáveis economicamente.

A atitude liberal norte-americana quanto ao uso de qualificadores para recursos, e a ambiguidade da sistemática de classificação de reservas utilizada no Brasil, são exemplos das dificuldades para uniformizar as informações a respeito dos recursos de urânio. Não são privilégio do Brasil, pois estão presentes na maioria dos países envolvidos na avaliação de recursos de urânio. Uma tentativa de conciliar os diferentes sistemas de classificação dos recursos de urânio é apresentada na Figura 10.

⁴⁹John H.A. Forman, Urânio e seu Aproveitamento, in: Simpósio Nacional sobre Fontes Convencionais e Alternativas de Energia, Brasília, 1979, HME/Câmara dos Deputados, 1980, pp. 406-492.

NEA(OECD)/IAEA	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS		ADICIONAL ESTIMADO I	ADICIONAL ESTIMADO II	ESPECULATIVOS
AUSTRÁLIA	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS		ADICIONAL ESTIMADO I	NÃO DESCOBERTOS	
CANADÁ	RECURSOS MEDIDOS	INDICADOS	INFERIDOS	PROGNOSTICADOS	ESPECULATIVOS
BRASIL	RESERVAS MEDIDAS	INDICADAS	INFERIDAS		
FRANÇA	RESERVAS I	RESERVAS II	PERSPECTIVAS I II		
ÁFRICA DO SUL	RECURSOS RAZOAVELMENTE ASSEGURADOS		ADICIONAL ESTIMADO I	ADICIONAL ESTIMADO II	ESPECULATIVOS
ESTADOS UNIDOS	RESERVAS MEDIDAS	RESERVAS INDICADAS	RESERVAS INFERIDAS	RECURSOS POTENCIAIS PROVÁVEIS	RECURSOS POTENCIAIS POSSÍVEIS E ESPECULATIVOS

Fig.10- Correlação Aproximada entre Diferentes Sistemas de Classificação dos Recursos de Urânio.
Fonte: IAEA, 1985⁴⁴.

4.3.2. Distribuição Geográfica

Da mesma forma que os depósitos de urânio se apresentam com boa distribuição no tempo geológico, também assim distribuem-se geograficamente, se comparados com outras substâncias minerais e energéticas. Apenas 21,4% dos recursos de urânio, inventariados no planeta, localizam-se no país que detém as maiores reservas, o que confrontado

⁴⁴IAEA, Methods for the Estimation of Uranium Ore Reserves, Vienna, Technical Reports Series . N°255, 1985, 92p.

com a concentração dos recursos de cromo (68%), de vanádio (72%), ou de carvão (42%), apresentadas na Tabela 11, demonstra que a má distribuição do urânio é um mito.

Tab.11- Comparação da Distribuição Geopolítica dos Recursos de Urânio com Outros Recursos Minerais e Energéticos.

Recurso	1 país (%)	3 países (%)	5 países (%)
U	21,4	46,4	68,4
Al	27,3	59,3	74,1
Fe	29,2	57,6	73,9
Mn	73,9	90,4	95,3
Cr	68,0	98,7	98,9
V	72,0	94,3	99,9
Ni	31,1	60,7	77,4
Zn	28,3	62,6	67,1
Cu	21,5	49,0	63,2
Co	44,1	69,5	79,7
Pb	21,0	58,8	68,1
Sn	20,8	53,1	73,0
W	46,6	67,3	76,3
Mo	59,9	94,4	99,9
Au	66,0	79,2	99,9

Fonte: Albert, G , 1986⁴⁵.

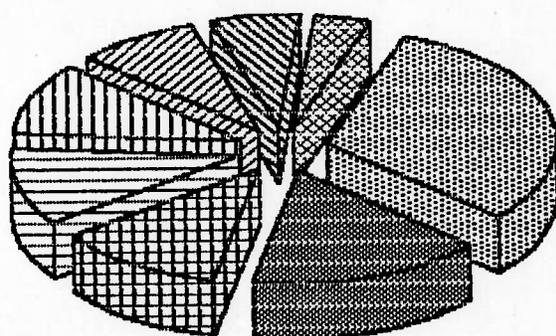
A Austrália é o país que possui maior quantidade de recursos de urânio inventariados. Considerando-se somente as reservas, ou seja, aquela parte dos recursos razoavelmente assegurados que pode ser explorada a um custo de produção inferior a US\$80/kg U, a Austrália possui

⁴⁵G. Albert et alii, Les ressources en uranium du Monde à Economie de Marché. Industrie Minérale-Mines et Carrières, Févr., 1986, op.cit., p.82.

462000 toneladas U, cerca de 28% das reservas dos países com economia de mercado (WOCA).

A África do Sul, com 247000 toneladas U, cerca de 15% das reservas (WOCA), ocupa a segunda posição, seguida pelo Níger, Brasil, Canadá e Estados Unidos, com aproximadamente 10% do total cada um.

A Figura 11 apresenta a distribuição percentual entre os oito países portadores das maiores reservas de urânio.



■	Austrália: 28,6%
■	África do Sul: 15,2%
■	Nigéria: 10,8%
■	Brasil: 10,1%
■	Canadá: 9,5%
■	Estados Unidos: 7,7%
■	Namíbia: 6,0%
■	França: 3,3%

Fig.11- Principais Reservas de Urânio (WOCA).
Fonte:OECD/IAEA, 1988⁴⁶, adaptada.

⁴⁶NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.19.

A Tabela 12 apresenta os recursos razoavelmente assegurados de urânio, que podem ser produzidos a custos inferiores a US\$80/kg U e US\$130/Kg U.

Tab.12- Recursos Razoavelmente Assegurados de Urânio (1000 tU; WOCA).

País	US\$/kgU		
	<80	80/130	<130
Algéria	26,00	0,00	26,00
Argentina	9,30	2,60	11,90
Austrália	462,00	56,00	518,00
Brasil	163,05	0,00	163,05
Canadá	153,00	96,00	249,00
R. Centro-Afric.	8,00	8,00	16,00
Dinamarca	0,00	27,00	27,00
Finlândia	0,00	1,50	1,50
França	53,76	11,39	65,15
Gabão	14,90	4,65	19,55
R.F. Alemanha	0,80	4,00	4,80
Grécia	0,40	0,00	0,40
Índia	34,73	10,96	45,69
Itália	4,80	0,00	4,80
Japão	0,00	6,60	6,60
México	4,50	3,24	7,74
Namíbia	97,30	16,00	113,30
Níger	173,71	2,20	175,91
Peru	0,00	1,52	1,52
Portugal	7,10	1,40	8,50
Somália	0,00	6,60	6,60
África do Sul	247,07	102,10	349,17
Espanha	26,70	6,20	32,90
Suécia	2,00	37,00	39,00
Turquia	0,00	3,90	3,90
Estados Unidos	124,00	274,00	398,00
Zaire	1,80	0,00	1,80
TOTAL	1615,00	683,00	2298,00

Fonte: NEA (OECD)/IAEA, 1988⁴⁷.

⁴⁷NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.19.

4.4. Produção

Dos oito países que detêm as maiores reservas de urânio somente o Brasil não tem produção expressiva de "yellowcake". Tudo que conseguiu produzir foram 893 toneladas U, no período compreendido entre 1981 e 1987⁴⁰. A partir desse ano, não se tem mais registro da produção de concentrados no complexo mineiro-industrial, localizado junto à mina Usamu Utsumi, em Poços de Caldas.

Até 1983, os Estados Unidos lideraram a produção de concentrados de urânio no mundo, perdendo a posição devido a queda de produtividade dos depósitos tipo arenitos, principal fonte desse país. Os teores de urânio desses depósitos decresceram para menos de 1000ppm (1%), inviabilizando a exploração⁴¹. Conseqüentemente, a produção que chegou a alcançar mais de 16000 toneladas U em 1980, caiu para menos de 5000 toneladas em 1988, quantidade insuficiente para satisfazer os requerimentos internos⁴².

A perda do interesse econômico dos depósitos de urânio em arenitos tem levado à tradicionais regiões produtoras dos Estados Unidos, como o Platô do Colorado e a

⁴⁰Cf Paulo Lima, op.cit., p.27.

⁴¹G.Albert et alii, op.cit., p.83.

⁴²Cf DOE/EIA, Uranium Industry Annual 1988, Washington, DC, p.29.

Bacia do Wyoming, a perder o interesse para a prospecção. Os novos investimentos estão dirigindo-se para o nordeste do Arizona, onde tem sido encontrados pequenos "breccia pipes" com alto teor de urânio⁵⁴. Maiores informações, a respeito da geologia e do potencial dessas ocorrências ainda não foram divulgadas.

O certo é que, nos Estados Unidos, o insucesso na prospecção de urânio

"can probably be attributed primarily to inadequate funding, obsession with sandstone concepts, and poor understanding of uranium occurrences in other environments"⁵⁵.

Esse comentário, feito com cinco anos de antecedência do colapso da produção norte-americana, demonstra que a perda de competitividade econômica era esperada. Mas, mesmo assim, os arenitos com mais alto teor de urânio continuaram a ser explorados, em evidente exemplo de lavra ineficiente.

⁵⁴NEA(OECD)/IAEA, Uranium: Resources, Production and Demand, Paris, 1988, p.160.

⁵⁵J.F.Davis, US uranium industry continues active development despite nuclear uncertainties, E/MJ, August 1977, pp.91-94.

Tab.13- Produção Histórica de Urânio.
(toneladas de U; WOCA)

País	Pré-1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Argentina	857	155	179	129	126	173	150	150
Austrália	11297	4422	3211	4324	3206	4154	3780	3580
Bélgica	20	45	45	40	40	40	45	45
Brasil	0	242	189	117	115	115	115	0
Canadá	138650	8080	7140	11170	10880	117201	2450	12260
França	34312	2859	3271	3168	3189	3247	3276	3420
Gabão	11160	970	1006	918	900	850	800	930
R.F.Alemanha	385	34	47	33	31	22	38	35
Índia	3200	200	200	200	200	200	200	200
Japão	50	5	4	4	7	6	6	0
Namíbia	13573	3776	3719	3700	3400	3450	3500	3600
Níger	17545	4259	3426	3276	3181	3110	3000	2965
Portugal	2321	113	104	115	119	110	120	120
Áfr.do Sul	93586	5816	6060	5721	4900	4600	4000	3850
Espanha	1390	150	170	196	201	215	200	229
E.Unidos	266700	10300	8100	5700	4400	5200	5000	4910
Iugoslávia	25600	nd						
TOTAL	620918	41426	36871	38811	34935	37212	36686	36094

Fonte: UI, 1989²².

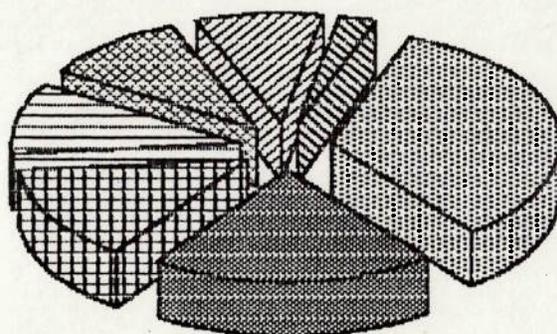
O Canadá é o principal produtor de urânio do mundo. Em 1988, produziu 12260 toneladas U (33,9% da produção mundial), das quais mais de 60% provenientes da província uranífera de Saskatchewan. Nessa rica província localizam-se as jazidas e plantas de processamento de concentrados de Rabbit Lake (2000 toneladas U/ano), Cluff Lake (850 toneladas U/ano) e Key Lake (4500 toneladas U/ano). Também nessa província, caracterizada pela presença de depósitos tipo "unconformity", foi definida a fabulosa

²²UI, Uranium Market Issues 1989-2005, Londres, 1989, pp.68-69.

jazida de Cigar Lake (150000 toneladas U, das quais 110000 a um teor médio de 120000ppm (12%). Outros importantes centros produtores de urânio nesse país são Elliot Lake (2000 toneladas U/ano) e Quirke (3500 toneladas U/ano).

A Austrália é o novo grande produtor de urânio. Em 1980, sua produção ultrapassou 1000 toneladas U, apesar de problemas políticos internos terem impedido a mineração desse elemento por dez anos consecutivos, a partir de meados da década de sessenta. De 1981 em diante, a produção australiana tem sido da ordem de 3000 a 4000 toneladas U/ano, proveniente de Nabarlek (1270 toneladas U/ano) e Ranger, (3200 toneladas U/ano), ambos localizados na província de Alligator River. Nessa mesma província existem outros importantes depósitos de urânio, tais como Jabiluka e Koongara, os quais demonstram o potencial da região norte da Austrália.

Em 1985, o governo australiano concedeu autorização para Olympic Dam operar, o que veio a acontecer em 1988. A capacidade de produção inicial prevista para esse depósito é de 1700 toneladas U/ano e 30000 toneladas Cu/ano.



- Canadá: 33,9%
- África do Sul: 20,4%
- USA: 13,6%
- África Central: 10,3%
- Austrália: 10,3%
- França: 9,0%
- Outros: 2,5%

Fig.12- Principais Produtores de Urânio (% de participação)
 Fonte: Horiuchi e Gehrisch, 1989⁵⁴, adaptada.

A África do Sul é um dos tradicionais produtores de urânio. Em 1952, começou a recuperá-lo na West Rand Consolidated Mine e, em 1959, já operavam dezessete plantas de processamento, abastecidas por vinte e sete minas. A produção nesse ano totalizou 5000 toneladas U.

Depois desse pico, as quantidades processadas anualmente caíram para cerca de 2000 a 3000 toneladas U, somente reativada em meados da década de setenta, alcançando, mais de 6000 toneladas U, em 1980. Logo depois, a produção sul-africana começou a declinar, em decorrência da forte queda nos preços de comercialização internacional do urânio. Em

⁵⁴S.Horiuchi e W.Gehrisch, Uranium resources, production and demand, in: Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, pp.87-105.

1987, somente treze centros de processamento continuavam a operar, os quais produziram 4000 toneladas U⁵⁵.

O urânio na África do Sul é recuperado como sub ou co-produto da extração de ouro, nos conglomerados de Witwatersrand, e, em pequena porcentagem, das minas de cobre em Phalaborwa⁵⁶. Cerca de 22% das 4000 toneladas U produzidas por esse país em 1987, originaram-se do retrabalhamento de rejeitos, que mais de um século de exploração de ouro acumularam.

A capacidade atual de produção de urânio na África do Sul é estimada em 5500 toneladas U/ano, tendo como principais regiões produtoras Vaal Reefs, Joint Met Scheme, Randfontein e Buffelsfontein. Apesar da capacidade nominal não ser alcançada desde 1985, retomá-la não parece ser grande problema. A condição do urânio de sub ou co-produto do ouro confere, à África do Sul, grande autonomia para aumentar ou diminuir a quantidade de urânio processada, uma vez que os rejeitos já existem⁵⁷.

A produção de urânio na Namíbia começou em 1976, após dez anos de trabalhos de exploração que levaram a definição da jazida de Rossing. Essa jazida chegou a

⁵⁵H.J.Brynard et alii, Uranium in South Africa, Jun. 1988, p.5-6.

⁵⁶H.J.Brynard et alii, op. cit., p.19.

⁵⁷Ibidem.

produzir 4000 toneladas U em 1985, a partir de quando se estabilizou em 3500 toneladas U/ano.

O Níger produz urânio desde 1971, quando entrou em operação a planta de processamento junto da jazida de Arlitt. Em 1978, também o depósito Akouta entrou em produção, totalizando uma capacidade anual instalada da ordem de 4600 toneladas U. Desde 1985, entretanto, a produção se situa ao redor de 3000 toneladas U/ano.

A França, com limitadas reservas de urânio em seu território (53760 toneladas U), está colocada entre os países que mais o produzem. Possui, atualmente, seis centros de processamento de minério de urânio, com capacidade nominal total de 3870 toneladas U/ano. Dentre os centros produtores podem ser destacados Bessines (1500 toneladas U/ano) e Saint Martin-du-Bosc (850 toneladas U/ano).

Excluindo-se o Gabão, que desde 1975 produz cerca de 1000 toneladas U/ano, os demais países de economia de mercado não chegam a processar, juntos, outras 1000 toneladas, conforme pode ser constatado na Tabela 13.

4.4.1. Perspectivas de Produção

"Resources in the ground do not automatically mean uranium in the drum, or uranium deliveries to consumers."⁵⁸

Os recursos razoavelmente assegurados de urânio, com custo de produção inferior a US\$130/kg U, totalizam 2,3 milhões de toneladas, não se colocando a possibilidade de escassez desse energético por desconhecimento de suas fontes. Esse montante inventariado, porém, não se presta para prever a disponibilidade efetiva do elemento, embora indispensável para a formulação de políticas de longo prazo. Brasil e Austrália exemplificam bem a inadequação dos recursos para avaliar disponibilidade, pois, portadores de vastas reservas de urânio, pouco o produzem.

Disponibilidade requer a introdução da variável tempo na análise de recursos, para imprimir uma dinâmica, um fluxo, a que os economistas denominam de "supply". A limitação desse fluxo é "the unique aspect of mineral economics"⁵⁹.

⁵⁸UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.40.

⁵⁹M.A.Adelman et alii, op.cit., p.xxi.

Assim, recursos e reservas de um bem mineral somente farão parte de um sistema de suprimento quando propiciarem a instalação de uma capacidade de produção.

Os recursos de urânio inventariados são vastos, mas a limitada capacidade de produção de seus concentrados deverá se transformar na grande questão do suprimento na presente década.

Excluindo-se Olympic Dam, que entrou em operação em 1988, existem somente duas grandes jazidas de urânio, não explotadas, no mundo ocidental: Cigar Lake, no Canadá, e Jabiluka, na Austrália.

Cigar Lake, o mais alto teor dentre os grandes depósitos de urânio do mundo, é o trunfo canadense para continuar liderando a produção mundial de "yellowcake", mesmo depois de esgotado Key Lake, no final da década. Apesar de em Cigar Lake o corpo mineralizado encontrar-se a quatrocentos e trinta metros de profundidade, suas 110000 toneladas U a um teor médio de 120000ppm (12%), e outras 40000 toneladas a 40000ppm (4%)⁴⁰, justificam o otimismo da indústria no Canadá. A jazida deverá entrar em operação antes de 1995, com uma capacidade de produção de 4600 toneladas U/ano⁴¹.

⁴⁰S. Salaff, Cigar Lake Uranium Project: the Way Ahead, Nuclear Europe 5:37-39, 1985.

⁴¹O. J. C. Runnalls, Uranium supply in Canada, London, 1987, pp.84-86.

Jabiluka, descoberto em 1971 na província uranífera de Alligator River, contém recursos da ordem de 200000 toneladas U_2O_8 . Assim que obtenha autorização governamental, poderá produzir 3000 toneladas U/ano. Mas a política das "three-mines", sustentada pelo governo australiano há mais de dez anos, continua inflexível. Apesar disso, existe consenso sobre "...the important role uranium exports are playing in helping the country's balance of payments"⁴², o que poderá abrandar as restrições à mineração de urânio nesse país.

As três minas com licença governamental para processar e exportar concentrados de urânio na Austrália são Nabarlek, Ranger e Olympic Dam. Nabarlek, cessou a produção em 1988, após ter sido esgotado o principal corpo mineralizado. Atualmente, são realizadas pesquisas para viabilizar a exploração de outros corpos mineralizados, situados nas proximidades. Em Ranger, a produção pode ser aumentada de 3200 toneladas U/ano para 5100 toneladas U, se novos contratos de venda forem obtidos. A produção inicial de Olympic Dam, 1700 toneladas U/ano, pode ser ampliada para 3400 toneladas U/ano, a depender das condições de mercado.

⁴²P.J.Bradfield, Australia's uranium industry: where does it goes from here? In: Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, p.94-95.

A África do Sul tem maior flexibilidade para processar urânio do que os demais grandes produtores, como anteriormente mencionado. A questão da produção resume-se a preços e contratos de venda, pois os rejeitos a serem retrabalhados já existem.

A capacidade de produção de concentrados de urânio da África do Sul era, em 1988, 4100 toneladas U/ano. A Atomic Energy Corporation of South Africa Limited estima, entretanto, que uma capacidade de 10000 toneladas U é mais realista para a década de noventa.⁴³ Esses números, acredita-se, superestimam a produção, principalmente se for considerado que, em 1988, três centros de processamento de minério deixaram de operar (Driefontein, Randfontein e Chemwes), diminuindo a capacidade em cerca de 1000 toneladas. Mesmo que essa redução não seja importante, ainda assim revela a tendência de diminuição da capacidade de produção nesse país. Por isso, aceita-se, como estimativa mais provável, a estabilização da capacidade de produção em torno de 5500 toneladas U/ano, conforme dados apresentados na Tabela 12.

Nos Estados Unidos, o desmantelamento da indústria do urânio, iniciado em 1980, continua célere. Mesmo amparada por uma série de leis, não resiste aos altos custos de produção do "yellowcake" a partir dos depósitos

⁴³H.J. Brynard et alii, op.cit., p.20.

em arenitos. Inclusive, para reduzir os custos, estão sendo utilizadas técnicas não convencionais de processamento de minério, a exemplo do "in situ leaching". A reversão do quadro, contudo, parece difícil, pois das sete plantas que processaram minério de urânio em 1987, somente quatro continuavam a operar em 1989.

Considerando-se as plantas de processamento de minério existentes nos Estados Unidos, que podem produzir a um custo inferior a US\$80/kg U, a capacidade instalada, em 1990, é de 4300 toneladas U. Aumentando-se esse limite para US\$130/kg U, a capacidade sobe para 9900 toneladas, o que ilustra a importância dos custos na produção do urânio norte-americano.

Na Tabela 14 é apresentada as estimativas da capacidade de produção de urânio até o ano dois mil, discriminada por custos de produção inferiores a US\$80 e US\$130/kg U.

As perspectivas da indústria do urânio nos Estados Unidos, são sombrias. A continuar a marcha atual de sucateamento das plantas de processamento, a capacidade de produção cairá para 2100 toneladas no ano dois mil. E é muito possível que atinja esse mínimo, pois a produção em 1988 foi apenas a quarta parte da de 1980. Passará, assim, em pouco mais de oito anos, de maior produtor a maior importador de urânio do mundo.

A França, o Níger, a Namíbia e o Gabão estabilizaram a produção de urânio desde 1988, não havendo notícias de que pretendam investir em novas unidades de processamento ou na expansão das já existentes em seus territórios.

Tab.14- Capacidade de Produção de Urânio Existente e Contratada (tU; WOCA).

PAÍS	1990		1995		2000	
	I	II	I	II	I	II
Argentina	120	120	120	120	120	120
Austrália	5500	5500	6800	6800	6800	6800
Belgica	45	45	45	45	45	45
Brasil	300	300	300	300	100	300
Canada	12100	12100	11800	12300	6000	9300
França	3870	3870	3870	3870	3870	3870
Gabão	1500	1500	1500	1500	1500	1500
R.F.Alemanha	100	100	100	100	100	100
India	200	200	200	200	200	200
Italia	0	0	0	0	0	0
Japão	0	0	0	0	0	0
Marrocos	0	0	0	0	0	0
Namíbia	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Níger	4600	4600	4600	4600	4600	4600
Portugal	170	170	170	170	170	170
Áfr. do Sul	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Espanha	230	230	850	850	850	850
E. Unidos	4300	9900	2400	7600	2100	4800
Total	42035	47635	41755	47455	35655	41655

I: RAR e EAR-I, recuperáveis a custo inferior a US\$ 80/Kg U.

II: RAR e EAR-I, recuperáveis a custo inferior a US\$ 130/Kg U.

Fonte: Horiuchi e Gehrish, 1989⁴⁴, adaptada.

⁴⁴S.Horiuchi e W.Gerisch, op. cit., p.98.

As perspectivas de produção de urânio no Brasil são imprevisíveis. A criação da Urânio do Brasil, em 1988, acenou com a possibilidade de ser implantada a indústria do urânio e, tardiamente, fornecer "yellowcake" para o mercado internacional. Para tanto, a Empresa programou instalar, em 1993, uma unidade de processamento de 1000 toneladas U/ano em Lagoa Real, o melhor prospecto do país. Em Itataia, previu instalar outra unidade com 750 toneladas U/ano de capacidade, para operar em 1998, embora condicionada à exploração do fosfato ao qual o urânio está associado.

O complexo mineiro-industrial, que processa o minério de urânio da Mina Usamu Utsumi, em Poços de Caldas, entrou em operação em 1982. Mas, desde o início, não tem mostrado produção compatível com a capacidade nominal (500 toneladas U/ano). A irregularidade da mineralização e os baixos teores de urânio são, aparentemente, as causas da baixa recuperação alcançada. É provável que, após a entrada de Lagoa Real em produção, a Mina Usamu Utsumi venha a ser desativada. No máximo será considerada reserva estratégica para o país.

As indefinições para a exploração do minério de urânio brasileiro são eminentemente políticas. Depois do Canadá ter diminuído, em 1987, a participação acionária do Estado na mineração de urânio de 66% para 51%, incentivando

a formação de "joint-ventures", e a Austrália liberado, a prospecção desse energético, às empresas estrangeiras, o Brasil manteve, na Constituição promulgada em 1988, o monopólio do Estado sobre esse bem mineral. Essa atitude pode vir a restringir os investimentos, necessários à produção, ao âmbito do Estado, que, na situação econômica atual do país, dificilmente os considerará prioritários.

O panorama mundial de suprimento de urânio a médio e longo prazo, considerando-se somente os centros de processamento de minério existentes e efetivamente contratados, com custo de produção inferior a US\$80/kg U, é de restrição. De uma capacidade de produção da ordem de 50000 toneladas U/ano, em 1980, passou-se a 42000 toneladas/ano, em 1990. E deverá continuar a decrescer ao longo da década, atingindo 35600 toneladas U/ano, em 2000. Juntando-se, aos centros existentes e contratados, os de implantação incerta (prospective centres), mas que produziram também a custos inferiores aos US\$80/kg U, a capacidade aumentaria em 4500 toneladas U/ano, em meados da década, mas voltaria a diminuir para 40400 toneladas U/ano, em 2000. Assim, a capacidade nominal, no ano dois mil, seria superior a produção realizada em 1988 (36094 toneladas U) em apenas 4300 toneladas U.

4.5. Fontes de incertezas

As Perspectivas de suprimento de urânio, a curto e médio prazos, estão sujeitas a incertezas diversas, as quais foram sendo apresentadas ao longo do presente capítulo. Entende-se oportuno, entretanto, abordá-las separadamente, para realçar e generalizar alguns aspectos.

4.5.1. Fatores Econômicos

"Inherent in any estimation of the supply price of anything produced from a depletable resource is a notion that what is produced today cannot be produced tomorrow. Because the resource is likely to become more expensive as the stock is depleted, the price tomorrow will likely exceed the price today."⁶⁵

-Custos de Exploração do Minério

Os depósitos de menor custo de produção são explorados em primeiro lugar, generalizando-se, para a

⁶⁵A.M. Adelman et alii, op.cit., p.2.

indústria mineral, a tendência à utilização de recursos com teores cada vez mais baixos e, conseqüentemente, de maior custo. Como os preços dos minérios refletem, a médio e longo prazos, os custos de exploração, pode-se prever constantes aumentos de preços. Se isso não tem acontecido, haja vista a história dos preços declinantes das "commodities" minerais, é porque a tecnologia ou novas descobertas de depósitos têm postergado ou revertido a tendência aos baixos teores. A reversão dessa tendência, modificou a geografia da distribuição das reservas e da produção de urânio, trazendo incertezas quanto a sua disponibilidade futura.

A perda de competitividade da indústria do urânio nos Estados Unidos exemplifica, com muita propriedade, a importância dos custos de exploração no suprimento desse bem mineral. A diminuição do teor de urânio dos depósitos em arenitos, provocou a desativação de vários centros de produção nesse país, os quais não conseguiram se ajustar aos preços praticados no mercado. Com isso, a produção de urânio foi sendo reduzida, tornando-o um grande importador. Mas, se os preços do urânio aumentarem, os centros desativados ou em "stand by" podem ou não retomar a produção, constituindo-se, assim, fonte de incerteza de suprimento.

Os baixos preços do urânio, que vigoram a partir dos anos oitenta, vêm permitindo manter em produção somente as jazidas de menor custo, ou que sacrificam suas reservas num processo de mineração seletiva. Muito do que era considerado reserva pode, hoje, não passar de miragem⁴⁴, comprometendo as possibilidades de suprimento no futuro. Assim, os baixos preços pagos pelo urânio nos anos oitenta, mantidos às custas da exploração de minérios ricos, deverão ser pagos no futuro, a não ser que a energia nuclear deixe de ser interessante como fonte de geração de eletricidade.

-Financiamento da Produção

A persistir o declínio dos preços do urânio, é pouco provável que, empresas mineradoras tradicionais, continuem investindo na implantação de novos centros de processamento ou mesmo na expansão dos existentes. A retração dos investimentos, a partir de 1985, pode ser percebida pela tendência à estabilização da produção na maioria dos países que processam minério de urânio.

O desinteresse dos mineradores têm levado as empresas de nucleoeletricidade a participar dos investimentos na produção de concentrados de urânio, pois

⁴⁴P.C.F.Crowson, Uranium: the recalcitrant commodity, in: Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, p.147.

"...a tied producer generally always has a buyer, although it may produce at non-competitive costs."⁴⁷

A falta de financiamento também é apontada como principal fator para não ter sido implantada, nos países em desenvolvimento, a indústria do urânio⁴⁸.

4.5.2. Fatores Políticos

O urânio, por suas implicações bélicas e ambientais, sofre inúmeras restrições a sua livre negociação, o que tem interferido na geografia das fontes produtoras.

A Austrália, até 1988, não permitia que o urânio oriundo de suas minas fosse vendido para a França, em represália aos testes nucleares realizados no Pacífico. Por outro lado, a política das três minas, restringindo a produção australiana, favoreceu o crescimento da canadense. Os Estados Unidos proibiram a importação de concentrados de urânio da África do Sul e da Namíbia, devido a política do

⁴⁷UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989. p.42-43.

⁴⁸United Nations Centre on Transnational Corporations, Transnational Corporation and Contractual Relations in the World Uranium Industry. New York, United Nations, 1983, p.11.

"apartheid", favorecendo, também, o crescimento da produção canadense.

O Canadá impôs restrição à exportação de urânio para a Índia, devido a construção de artefatos nucleares.

O Brasil e a França não são signatários do Tratado de Não Proliferação de Armas Atômicas, o que se constitui num entrave, pelo menos teórico, à comercialização de materiais nucleares.

Enfim, questões políticas, a perturbar o cenário de suprimento, não são poucas e deverão adquirir maior importância com a crescente concentração da produção de urânio. Por isso, "diversify", palavra de ordem a respeito das fontes de suprimento de urânio, esquecida em meados da década de oitenta, devido ao excesso de produção, pode retomar sua importância no início dos anos noventa.

4.5.3. Fatores de Produção

A indústria nuclear, para manter a competitividade, frequentemente operou à plena capacidade. Sob tal regime, investimentos em manutenção e expansão das plantas de processamento de minério são postergados ao máximo. No momento em que se tornam inadiáveis, os custos

podem ser proibitivos. Conseqüentemente, as estimativas de capacidade de produção, por incorporar plantas de operação duvidosa, podem ser superestimadas^{6*}, como seguramente estão os prognósticos de capacidade de produção de urânio para o final do século^{7*}.

4.5.4. Estoques Formados pelos Produtores

A retenção de estoques de concentrados de urânio pelos produtores, não é tão crítica como quando realizada por consumidores, embora a razão seja, fundamentalmente, a mesma: segurança.

Os estoques asseguram aos produtores a complementação de perdas de produtividade e a realização de vendas no mercado, sempre que desejarem. Tornam-se, assim, fontes potenciais de suprimento imediato, o que pode render bons lucros. Mas não tem sido essa a forma usual de atuação dos produtores de urânio, porque a possibilidade de lucros especulativos num mercado abarrotado de estoques parece remota. Assim, a retenção de estoques pelos produtores tem sido mínima, somente a necessária para eventuais

^{6*}UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, p.39.

^{7*}P.C.F.Crowson, Uranium: the recalcitrant commodity, in: Uranium and Nuclear Energy: 1988, London, 1989, pp.146-147.

complementações de compromissos, não se constituindo causa de incerteza de suprimento, a curto e médio prazos.

4.5.5. Urânio como Sub ou Co-Produto

A produção de urânio como sub ou co-produto da exploração de ouro, de cobre e de fosfatos é significativa, rondando a faixa dos 20% do total mundial. A economia da produção, nessas condições, depende mais do mercado dos elementos principais que do próprio urânio.

O urânio produzido na África do Sul, a partir dos rejeitos da exploração de ouro, em sua maioria, e de cobre, em pequenas quantidades, é importante fator de insegurança de suprimento. Diferentemente dos demais produtores, esse país recupera urânio por processo independente dos elementos principais, o que permite resposta rápida às necessidades do mercado, bem como administrar a produção em função exclusivamente de preços. Essa situação peculiar, é fonte de incerteza para o equacionamento da produção dos demais fornecedores.

4.5.6. Outras Fontes de Suprimento

A partir de 1989, o Instituto do Urânio passou a computar o material físsil reprocessado, nas avaliações de suprimento.

As dificuldades para reprocessar urânio e plutônio estocados há mais de três anos, exige que a contratação desses serviços seja antecipada. Assim, o material físsil a ser reprocessado, a curto e médio prazos, é bem conhecido, mas, em prazos mais longos, é incerto.

A política de utilização de estoques de combustível irradiado é difícil de ser prognosticada. As concessionárias podem reprocessá-lo ou não, a depender de facilidades para aquisição de "urânio novo", de cotas para enriquecê-lo, ou mesmo de adaptações técnicas dos reatores ao novo combustível MOX, evidentemente que considerados os aspectos econômicos da opção. Assim, o reprocessamento, considerado fator de incerteza de demanda de "urânio novo", quando visto pela ótica do suprimento, continua a proporcionar incertezas.

Considerando-se que toda a capacidade de reprocessamento planejada seja efetivamente instalada, poderiam ser obtidas, ao longo dadécada, quantidades equivalentes a 19200 toneladas de U, representando 3,4% dos

requerimentos desse mesmo período⁷⁴. Mas, a história recente do desenvolvimento e disseminação do reprocessamento, leva a estimativas mais conservadoras, como as apresentadas no capítulo anterior. A dificuldade em estimar a contribuição do material reprocessado, a médio e longos prazos, para suprimento de urânio constitui-se importante incerteza de suprimento de urânio.

Uma grande incógnita na questão do suprimento de urânio é a entrada da China e da União Soviética no reduzido grupo dos fornecedores de "yellowcake".

Os esforços desses países para se consolidarem nesse segmento do ciclo do combustível, desde 1988, têm sido grandes. Inclusive, para afastar a desconfiança dos consumidores e os entraves políticos à aceitação de seus concentrados, estão depositando, nos Estados Unidos, a produção a ser comercializada.

As informações a respeito dos recursos e da produção de urânio desses países, entretanto, são escassas. A União Soviética é considerada portadora de vastos recursos de urânio, estimando-se que disponha de uma produção superior a 10000 toneladas U/ano para repassar ao ocidente⁷⁵. As reformas políticas e econômicas em andamento

⁷⁴UI, Uranium Market Issues, 1989-2005, London, 1989, p.37 (no prelo).

⁷⁵NUKEM Market Report 1/90, p.7.

deverão facilitar o seu acesso ao mercado internacional de urânio.

A situação da China, por sua vez, tornou-se complicada depois dos incidentes na Praça da Paz Celestial, em 1989. A sensibilidade às questões políticas que o mercado de urânio tem demonstrado, torna imprevisível se conseguirá colocar em produção, como pretende, suas reservas estimadas em 50000 toneladas U⁷⁹.

* * *

Conclusões Parciais

A indústria do urânio se estabeleceu, após a Segunda Grande Guerra, sob o amparo do Estado Norteamericano, que necessitava suprir suas fábricas de armamentos nucleares com material físsil. Para isso, incentivou, através da Comissão de Energia Atômica (AEC), a prospeccção do elemento dentro e fora do país. Nessa época o urânio desfrutou de um prestígio que poucos recursos minerais mereceram.

⁷⁹Ibidem

A produção de urânio nos Estados Unidos respondeu rapidamente ao estímulo governamental, sendo repassadas à AEC quantidades que a indústria bélica não assimilou. A excessiva produção fez com que fossem revistos os incentivos e preços praticados e, conseqüentemente, levou à retração da oferta de urânio no final da década de cinquenta.

A penetração da nucleoeletricidade no mercado energético mundial foi rápida, mas, mesmo assim, as quantidades de urânio requeridas não justificavam a implantação de novos centros de processamento de minério. A produção norte-americana supriu as necessidades mundiais até meados dos anos sessenta, quando novas fontes de produção passaram a disputar o mercado, ainda em formação.

A crise energética, patrocinada pela OPEP, reativou a indústria do urânio, que há pouco adquirira dimensão internacional. Instalou-se um "rush" exploratório a nível mundial, propiciando a definição de depósitos de alto teor, notadamente, no Canadá e na Austrália. Nos Estados Unidos, por outro lado, os teores de urânio nos arenitos mostraram-se declinantes. Mas, mesmo perdendo a competitividade, a indústria norte-americana responsabilizou-se por mais de 50% das 44000 toneladas U produzidas, sucessivamente, em 1980 e 1981.

No Brasil, o "rush" exploratório dos anos setenta permitiu a definição de importantes depósitos, portadores de vastas reservas, situando o país entre os mais ricos em minérios de urânio. Entretanto, dentre os oito países que detêm as maiores reservas, 92% dos recursos razoavelmente assegurados, que podem ser produzidos a menos de US\$80/kgU, somente o Brasil não tem produção expressiva de "yellowcake", não participando do mercado internacional.

As "reservas geológicas" inventariadas no Brasil, 301000 toneladas U_3O_8 , mais de 50% das quais na categoria de recursos razoavelmente assegurados, permitiriam produzir, para o mercado externo, sem qualquer preocupação com a escassez desse energético para consumo interno. Mas não o fez, muito pelo contrário. Reafirmou, em 1988, o monopólio do Estado sobre os recursos minerais físseis, demonstração explícita do desconhecimento de que a industrialização do urânio tornou-se, nos anos oitenta, atividade eminentemente internacional⁷⁴. O urânio das jazidas brasileiras continuou sendo considerado material estratégico, não uma "commodity".

A questão principal do suprimento de urânio, a médio e longo prazos, reside na capacidade de produção. Considerando-se somente as plantas de processamento de

⁷⁴United Nations Centre on Transnational Corporations, op.cit., p.44.

minério existentes e contratadas, com custo de produção inferior a US\$80/kg U, o cenário de suprimento é de restrição. De uma capacidade nominal, em 1980, da ordem de 50000 toneladas U/ano, chegar-se-á, ao próximo século, com pouco mais de 35000 toneladas U/ano instaladas. Assumindo-se requerimentos de 55000 toneladas U para o ano dois mil, evidencia-se um déficit da ordem de 20000 toneladas U/ano. Para que isso não ocorra, é necessário definir novos depósitos de alto teor, colocando-os em operação ainda nos anos noventa, ou passar a produzir urânio a partir de depósitos conhecidos, mas de mais alto custo. Em qualquer das hipóteses, o incentivo passa pelo aumento dos preços do urânio.

5. O MERCADO DE URÂNIO: A INTERAÇÃO SUPRIMENTO E DEMANDA

A interação entre o suprimento e a demanda de urânio se estabelece através de mercados, onde políticas governamentais, requerimentos de combustível nuclear e produção de "yellowcake" atuam no sentido de formular regras e preços para a comercialização do elemento.

A história da indústria do urânio confunde-se com a da indústria nuclear norte-americana, enquanto que a história do mercado de urânio, com as necessidades de suprimento de material físsil para essa indústria nuclear.

A partir da Segunda Grande Guerra, o suprimento de urânio, nos Estados Unidos, foi realizado através da Atomic Energy Commission, a qual exercia o monopólio dos materiais nucleares e se incumbia de incentivar a exploração e a produção do urânio dentro e fora do país.

Os preços do urânio, motivados pelo "Acquisition Program", passaram de US\$7,14/lb U_2O_8 , em 1948, para cerca de US\$12,00/lb U_2O_8 , em 1956, fomentando a produção. Nesse ano operavam, nos Estados Unidos, doze centros de

processamento de urânio, abastecidos por setecentas e cinquenta minas em atividade.

A indústria de armamentos não assimilou as quantidades de "yellowcake" produzidas, fazendo com que a AEC, no final de 1956, revisasse a política de incentivos e preços. Anunciou, então, que a partir de 1962 somente pagaria US\$8,00/lb U_3O_8 . Das setecentas e cinquenta minas em atividade, permaneceram em operação, após a nova política de preços, apenas quatrocentas e cinquenta, maioria das quais fornecia minério aos grandes centros de produção de concentrados de urânio. Os pequenos mineradores, com produção independente, abandonaram o setor.

O declínio da produção obrigou o governo dos Estados Unidos a redefinir a política para o urânio. Mas, mesmo liberando as vendas para o mercado interno e externo, em 1958, e promovendo o fim do monopólio estatal da utilização dos materiais de nucleares, em 1964, a produção de urânio não recuperou os níveis alcançados em 1956.

O interesse na aquisição de "yellowcake", diretamente das fontes produtoras, surgiu somente em 1966, quando a primeira transação comercial, sem a intermediação da AEC, foi efetuada nos Estados Unidos. Esse ano pode ser

considerado o marco inicial da instalação do mercado de urânio.

A partir de então, a indústria do urânio, ainda centrada no mercado norte-americano, passou a sentir os efeitos da internacionalização. Outros produtores, mas principalmente o Canadá, começaram a ofertar concentrados de urânio a preços inferiores aos praticados nos Estados Unidos.

Em 1966, para proteger a indústria da competição internacional, a Atomic Energy Commission reservou parte de sua capacidade de enriquecimento para o urânio produzido no país. O embargo permitiu a recuperação da indústria do urânio norte-americana, que produziu mais de 13000 toneladas U_3O_8 , em 1970.

A revitalização da indústria nos Estados Unidos não teve, como contrapartida, o esperado aumento na demanda de urânio, a nível mundial. A construção das centrais nucleares mostrou-se mais demorada do que o previsto, não sendo absorvida a produção de concentrados. Os estoques de urânio aumentaram, levando a capacidade de produção à ociosidade, enquanto os preços do urânio permaneciam inferiores a US\$8,00/lb U_3O_8 , como acontecia desde 1962.

Do desbalanceamento entre o suprimento e a demanda surgiu, no início dos anos setenta, um mercado de curto prazo para o urânio.

5.1. Mercado de Curto Prazo

Embora a questão dos prazos seja um tanto arbitrária, pode-se identificar um mercado de urânio no qual a entrega ocorre assim que a compra é efetuada, "...much the same as any consumer shops for a commodity"⁴. São transações essencialmente "over the counter" e, por isso, caracterizam um tipo de mercado conhecido como "spot".

Concepções menos ortodoxas sobre "mercado spot" consideram como tal, também os contratos que estabelecem prazos de entrega do "yellowcake" até dezoito meses após a negociação. Na concepção tradicional, entretanto, esses últimos constituem o mercado de curto prazo, uma espécie de ponte entre as necessidades presentes e futuras das concessionárias. Apesar da ressalva, o "spot" é identificado, pela maioria da indústria do urânio, como o mercado de curto prazo.

⁴United Nations Centre on Transnational Corporations, Transnational Corporations and Contractual Relations in the World Uranium Industry, United Nations, New York, 1983, p.105.

Diferentemente de muitas outras "commodities" minerais, não existe um "mercado spot" oficial para a comercialização e fixação dos preços do urânio, a exemplo do London Metal Exchange. Os preços são cotados pela Nuclear Exchange Corporation- NUEXCO, pela NUKEM², ou outro indicador acordado entre as partes. No "mercado spot", o essencial é que os preços reflitam o balanceamento entre o suprimento e a demanda no momento da negociação, pois se destina ao procedimento de ajuste das necessidades presentes das concessionárias. Não se constitui em fonte de suprimento regular de urânio, responsabilizando-se por cerca de 10% a 15% do urânio comercializado mundialmente.

Na década de oitenta, o "mercado spot" teve como característica a presença das concessionárias ofertando urânio, desfazendo-se dos estoques que haviam sido ampliados depois do primeiro "choque do petróleo". Enquanto isso, os produtores mantiveram participação discreta no mercado. O que é compreensível, pela abundância de estoques em poder das concessionárias e pelos baixos preços de comercialização do urânio.

²(N.da A.)- NUEXCO e NUKEM são firmas especializadas nas questões e transações que envolvem materiais nucleares, as quais fornecem cotações de preços para o urânio no mercado "spot". Em breves palavras, são firmas de corretagem de materiais nucleares.

A primeira atua no mercado norte-americano, e a outra no europeu.

The Exchange Value é o preço estabelecido pela NUEXCO, com base na suposição de que, sob esses preços, quantidades significativas de urânio poderiam ser transacionadas numa determinada data. A NUEXCO não considera o "Exchange Value" um preço "spot". Os preços estabelecidos pela NUKEM são mais representativos do mercado "spot"

A presença de produtores, especialmente os norte-americanos, tem sido na condição de compradores, por mais paradoxal que possa parecer. Preferem cumprir seus contratos de venda adquirindo urânio no "mercado spot" do que produzindo-o. Situação que demonstra o estado de inviabilidade econômica em que se encontra a indústria do urânio nos Estados Unidos.

A década de noventa inicia-se com sinais de melhores condições para os produtores no "mercado spot", apesar dos preços do urânio mostrarem-se deprimidos como nunca.

O primeiro desses sinais foi a retração das ofertas de urânio por parte das concessionárias, percebida no final de 1989. Isso pode indicar, se não a adequação dos estoques, pelo menos a preocupação com o suprimento a médio e longo prazos. É preciso ressaltar, porém, que essa tendência não se definiu claramente.

Outro sinal, vem da atuação de intermediários, que em 1989 "took a stronger position as traders"³, responsabilizando-se por mais de 40% do urânio comercializado no "spot". A entrada dos corretores

³NUKEM Market Report 1/90, p.3.

relaciona-se com a possibilidade de lucros especulativos e de um mercado comprador potencial.

5.2. Mercado de Longo Prazo

O mercado de longo prazo, mais do que o balanceamento entre suprimento e demanda, reflete os custos de produção do "yellowcake". Nesse mercado, os contratos cobrem períodos entre dois a dez anos, raramente alcançando vinte anos. As entregas são geralmente divididas em quantidades pré-determinadas e constantes, planejadas conforme as necessidades das concessionárias.

A indústria do urânio se estabeleceu sob forte amparo governamental, nos Estados Unidos e, depois, no resto do mundo. Especialmente nesse país, toda a produção de "yellowcake" era absorvida pelo Estado, que se encarregava de distribuí-la aos consumidores. Essa intermediação desobrigava os produtores, em grande número à época, de se preocupar com o mercado, que se limitava a poucos consumidores. Mas, quando a indústria adquiriu autonomia, os produtores passaram a sentir a necessidade de contratar, com as concessionárias de nucleoeletricidade, a garantia de escoamento da produção. Celebraram, assim,

contratos de longo prazo, os quais foram, por muito tempo, a única forma de comercialização do urânio.

Em 1973, com a crise do petróleo, a demanda de urânio aqueceu e o mercado adquiriu, efetivamente, dimensão internacional. Contribuíram, paralelamente, para incrementar a demanda, os rígidos contratos de enriquecimento que vigoraram a partir de 1974. Tomadores desses contratos foram obrigados a adquirir, com antecedência, quantidades de urânio sem que pudessem proceder ajustes na demanda, com base no consumo de seus reatores. Como consequência do aumento da procura, os preços dispararam a ponto de, em 1975, a Westinghouse declarar que não poderia honrar seus compromissos de entrega de urânio.

A escalada dos preços do urânio alterou as relações no mercado de longo prazo. Produtores afoitos procuraram romper contratos anteriormente firmados, e consumidores, preocupados com o prenúncio de escassez, tornaram-se ávidos por contratos que lhes assegurasse o suprimento de urânio a longo prazo.

O resultado do conflito de interesses que se estabeleceu, foi a proliferação dos mais variados tipos de contratos para regular o mercado de longo prazo, cada qual servindo a uma situação específica. Entre outros tantos,

podem ser destacados os contratos condicionais, os contratos a preços fixos, os contratos com preço base mais o incremento inflacionário, os contratos a preço de mercado à época de entrega, os contratos com preços baseados nos custos de produção do concentrado, os contratos com participação acionária do comprador e os contratos tripartite.

Apesar do "mercado spot" não ser representativo das quantidades de urânio comercializadas, tem antecipado a tendência geral de preços do de mais longo prazo. Exceto entre 1975 e 1980, quando o prenúncio de célere crescimento nuclear indicou a indisponibilidade do elemento nas quantidades requeridas, os preços "spot" sempre foram inferiores aos contratos de longo prazo. Nesse período, entretanto, alcançaram US\$43,4/lb U_3O_8 , em 1978, enquanto os dos contratos de longo prazo atingiram US\$35,00/lb U_3O_8 , valores máximos verificados até hoje.

A partir de 1978 a "moratória" da indústria nuclear norte-americana e a redução do consumo de eletricidade a nível mundial, provocaram a reversão da tendência altista dos preços "spot". Em 1980, já haviam retornado a patamares inferiores aos do mercado de longo prazo, como pode ser constatado na Figura 8.

Na década de oitenta, o descompasso entre o suprimento e a demanda de urânio inverteu a tendência do mercado. Novamente os produtores passaram a depender de contratos de longo prazo para garantir o escoamento da produção ou ampliar suas participações no mercado, como aconteceu nos primórdios da instalação da indústria do urânio. As concessionárias, por sua vez, mostram-se receosas em aceitá-los, devido aos baixos preços do urânio no "spot". Com efeito, sem o estímulo de preços compensadores, a produção de urânio mantém-se inferior aos requerimentos desde 1985.

O mercado dos anos oitenta caracterizou-se pela existência de abundantes estoques, determinando a continuada queda de preços do urânio que, em dezembro de 1989, chegaram ao valor "spot" mínimo da década: US\$9,00/lb U_2O_8 . Descontada a desvalorização do dólar, os preços retrocederam a um valor inferior aos praticados, nos Estados Unidos, ao tempo do monopólio exercido pela Atomic Energy Commission.

Os baixos preços do urânio vêm retardando a ampliação da capacidade de produção das jazidas de Olympic Dam e Ranger, na Austrália, aguardando-se a obtenção de contratos de venda de longo prazo. Da mesma forma Cigar lake, no Canadá, aguarda a celebração de maior número de

contratos para entrega futura, para que tenha definida mais precisamente a data em que iniciará a produzir.

Mantidas essas incertezas, o suprimento de urânio pode se tornar, a médio prazo, problemático, uma vez que, investimentos na produção, somente serão realizados para atender uma demanda firme, contratada com razoável antecedência. Assim sendo, a comercialização de urânio deverá se restringir, ainda mais, ao mercado de longo prazo.

A possível limitação de suprimento tem levado países com significativa participação nucleoeleétrica na matriz energética, portadores de escassos recursos de urânio, notadamente a França, Alemanha e Japão, a participar de investimentos na exploração e produção de urânio nos diferentes continentes. A atitude desses países procede. Ao ser verificado que, por volta de 1995 mais de 50% da produção mundial de urânio poderá estar concentrada em apenas dois países, Canadá e Austrália. "Thoughts about supply diversification might not be out of place"⁴.

O conhecimento das incertezas e percalços que acompanharam a história do mercado de urânio não aumentou,

⁴S. Horiuchi e W. Gerisch, Uranium resources, production and demand, Uranium and Nuclear Energy 1989, London, p.105.

no início dos anos noventa, a confiabilidade nos prognósticos de seu comportamento.

Os desenvolvimentos tecnológicos que poderiam diminuir a demanda de urânio, tais como, novas técnicas de gerenciamento do combustível, ganhos de fator de carga, ou o reprocessamento do material irradiado, mostram-se de pouca importância a curto e médio prazos. A questão da demanda localiza-se na existência de estoques, aparentemente excessivos. Fora isso, é firme, e bem retratada pelos "requirements".

O suprimento de urânio, sim, é incerto. Os baixos preços praticados há uma década, para o que contribuiu, prioritariamente, a abundância de estoques, não estimulam investimentos na exploração nem na implantação de novos centros produtores. Muito pelo contrário. Têm levado a significativa redução da capacidade de produção, com tradicionais empresas de mineração abandonando o setor, a exemplo das norte-americanas Exxon e Petrochemicals.

Além disso, a capacidade de produção para o ano dois mil, está, seguramente, superestimada, inclusive nas análises que a demonstram decrescente. Isso porque, sem o incentivo de melhores preços para o urânio, as plantas de processamento de minério planejadas, poderão não ser instaladas nos prazos previstos, a exemplo de Cigar Lake.

Os estoques seriam, então, consumidos num ritmo acelerado, ajustando-se às necessidades das concessionárias antes do esperado.

Apesar das incertezas, o balanceamento entre os requerimentos e a produção de urânio, apresentado na Tabela 15, permite prever condições de mercado mais favoráveis aos produtores, nos anos noventa, do que foram na década anterior. Esse balanceamento, realizado para o período compreendido entre 1990 e 2000, indica um déficit acumulado de 62600 toneladas U. Isso se todas as plantas que processam minério a custo inferior a US\$130/kg U, operarem à capacidade plena⁵.

O déficit de 62600 toneladas U é, aproximadamente, a metade dos estoques disponíveis, e corresponderá a 88% das necessidades de urânio no ano dois mil. Isso significa que, sem o concurso de novos centros de produção, os estoques estarão reduzidos a pouco mais de um ano de consumo da capacidade nuclear instalada no início do novo século. Lembrando-se que as concessionárias precisam dispor de "yellowcake" com antecedência mínima de 18 meses para a preparação do "fuel assembly", os estoques, remanescentes, da ordem de 67000tU (estoques totais - balanço), são insuficientes.

⁵(N.da A.) - Desde 1985 a produção de urânio vem sendo inferior a 37000 toneladas U, podendo estar superestimada a capacidade de produção apresentada na Tabela 15, como foi discutido no capítulo anterior, o que aumentaria o déficit calculado.

Tab.15- Balanço entre Requerimento e Produção de Urânio (1000 tU; WOCA).

Ano	Requerimento	Produção	Balanço
1990	47,2	47,2	0 -
1991	47,5	46,9	0,6
1992	48,3	46,9	1,4
1993	48,7	46,8	1,9
1994	48,2	45,4	2,8
1995	51,1	44,6	6,5
1996	51,5	44,3	7,2
1997	54,1	43,8	10,3
1998	52,0	43,7	8,3
1999	54,5	43,7	10,8
2000	55,0	42,2	12,8
TOTAL	558,1	495,5	62,6

Fonte: UI, 1989*, adaptada.

Mesmo nos períodos em que a produção de concentrados de urânio superou os requerimentos, as concessionárias mantiveram estoques para mais de dois anos de consumo. Assim, é pouco provável que, no momento em que

*UI, Uranium Market Issues 1989-2005, London, 1989, pp.70-71 (no prelo).

a produção de "yellowcake" se mostra decrescente, alterem a política de estoques, reduzindo-os a níveis inferiores aos históricos. Para não reduzi-los, terão que adquirir "urânio novo".

* * *

Conclusões Parciais

A primeira transação comercial envolvendo urânio, sem a intermediação da Atomic Energy Commission, ocorreu nos Estados Unidos em 1966, após o fim do monopólio da utilização dos materiais nucleares. Somente a partir daí, os produtores tiveram que se preocupar com a colocação do "yellowcake" no mercado, optando, preferencialmente, por celebrar contratos de longo prazo diretamente com os consumidores.

No início da década de setenta, a crescente internacionalização do mercado e a expectativa de escassez de urânio, modificaram as relações de oferta e procura, levando os consumidores a se empenhar na obtenção de contratos que lhes garantissem o suprimento a longo prazo. Porém, ao não se verificar o crescimento previsto para a

nucleoeletricidade, os estoques de urânio foram se acumulando, o que fomentou transações entre concessionárias no "mercado spot".

O excesso de oferta determinou acentuada e contínua queda de preços do urânio no "mercado spot", desestimulando a produção que, desde 1985, manteve-se inferior aos requerimentos da capacidade nuclear mundialmente instalada.

Mas, a situação desfavorável aos produtores não deve perdurar. A retração das ofertas de urânio, por parte das concessionárias, e o interesse das corretoras em adquirí-lo, comportamentos que começaram a se esboçar no "mercado spot" em fins de 1989, sinalizam uma mudança de cenário. Por outro lado, a preocupação com o suprimento de urânio, a longo prazo, vem se mostrando cada vez mais evidente, haja vista a crescente participação dos consumidores nos financiamentos à produção. Participação essa que, inclusive, poderá configurar, proximamente, um mercado do tipo cativo.

Afora esses indícios, o balanceamento entre os requerimentos, representando a demanda, e a capacidade de produção, pelo lado do suprimento, fornecem dados mais contundentes quanto as perspectivas do mercado até o ano dois mil. A se verificar o déficit acumulado de produção de

62600 toneladas U, determinado, fundamentalmente, pela capacidade de produção decrescente, os estoques serão reduzidos a pouco mais de um ano de consumo da capacidade nuclear mundialmente instalada. Historicamente, seja por imposição do ciclo do combustível ou por motivos estratégicos, as concessionárias mantiveram estoques para períodos mais longos do que esse.

Pode-se prognosticar, assim, que deverão voltar a demandar quantidades de "urânio novo", compatíveis com seus requerimentos, a partir de meados da década de noventa, abrindo-se novas oportunidades no mercado para os produtores.

Quanto aos produtores potenciais, a melhor política é a da cautela, planejando a entrada no mercado através da captação de investimentos por parte dos consumidores. As 163000 toneladas U razoavelmente asseguradas definidas no Brasil, constituem-se em importante trunfo para atrair esses investimentos.

CONCLUSÕES

Os recursos físséis constituíram-se em importante instrumento de política nuclear no pós-Guerra. Através de seu controle, os Estados Unidos procuraram manter a hegemonia da tecnologia da fissão atômica, política que influenciou, decisivamente, a formulação de diretrizes nacionalistas para o setor nuclear brasileiro.

As diretrizes nacionalistas, ao superestimarem o caráter estratégico dos recursos físséis em detrimento do seu valor de mercado, desincentivaram a sua produção, visto que a prioridade era o domínio do ciclo do combustível nuclear, especialmente da tecnologia do enriquecimento isotópico.

A pretexto de obter a tecnologia para enriquecer o isótopo físsil do urânio, não foi definida uma política específica de aproveitamento dos recursos físséis existentes no Brasil. Mesmo nos períodos em que o mercado de urânio se mostrou favorável aos produtores e, após inventariados recursos da ordem de 300000 toneladas U_3O_8 , não houve interesse na produção de concentrados. O

imbróglio do enriquecimento resistiu a todas as reestruturações por que passou o setor nuclear do país.

As diretrizes nacionalistas, as quais valorizaram o caráter estratégico dos recursos físseis e priorizaram o domínio da tecnologia do enriquecimento, atribui-se a inexpressiva produção de urânio no Brasil e a não participação no mercado internacional dessa "commodity" energética.

Em 1988, com a criação da Urânio do Brasil, houve a possibilidade de romper-se com os condicionamentos existentes, fruto de uma política ultrapassada, delineando-se um quadro favorável à produção e comercialização da "commodity" urânio, independentemente das questões relativas ao seu enriquecimento. Isso, entretanto, não veio a ocorrer. Num primeiro momento, porque o mercado de urânio não era favorável e o malogro do Acordo com a Alemanha dificultou a obtenção de investimentos do Governo Federal. E, mais recentemente, porque o Governo tem dado demonstrações de estar predisposto a rever a política nuclear, não sendo possível prever-se o destino da Urânio do Brasil.

Por outro lado, o mercado internacional de urânio começa a sinalizar um cenário favorável para os produtores, revertendo uma situação que se mantinha há dez anos. A

retração das ofertas das concessionárias e o forte interesse dos corretores em adquirir urânio, percebidos no "mercado spot" em fins de 1989, indicam a alteração nas relações de oferta e demanda desse energético.

O balanceamento entre os requerimentos, representando a demanda, e a capacidade de produção, pelo lado do suprimento, fornece dados mais contundentes quanto às perspectivas do mercado. Constata-se um déficit cumulativo de produção, ao longo da década de noventa, que alcançará 62600 toneladas U no final do ano dois mil. A expectativa é de limitação de suprimento, com aumento de preços do urânio, os quais justificam a crescente participação dos consumidores na sua exploração e produção.

Além disso, também deverá se recolocar a necessidade de diversificar as fontes de produção, uma vez que Canadá e Austrália estarão produzindo cerca de 50% do urânio que será ofertado no final do século. Assim, podem ser previstas oportunidades para produtores potenciais.

Todos esses aspectos, que interagem no mercado de urânio, permitem prognosticar um cenário favorável aos produtores, inclusive aos produtores potenciais, a se configurar em meados da década.

Para a inserção do Brasil no mercado internacional de urânio é fundamental, no plano interno, desmitificar a importância estratégica desse energético, e, no externo, celebrar contratos de entrega futura, atraindo investimentos para a sua exploração e produção.

Siglas e Abreviaturas

ADA - Atomic Development Authority
AEC - Atomic Energy Commission
CEME - Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq - Conselho Nacional de Pesquisas
CPI - Comissão Parlamentar de Inquérito
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSN - Conselho de Segurança Nacional
DOE - Department of Energy
EAR - Estimated Additional Resources
EMFA - Estado Maior das Forças Armadas
EURATOM - European Atomic Energy Community
FBR - Fast Breeder Reactor
GWe - Gigawatt elétrico (10^9 watts elétricos)
IAEA - International Atomic Energy Agency
ICDI - International Coal Development Institute
INB - Indústrias Nucleares do Brasil S.A.
IFEAC - Instituto de Pesquisas, Estudos e Assessoria de
Congressos
Kg - Quilograma
KW - Kilowatt (10^3 watts)
LWR - Light Water Reactor

MW - Megawatt (10^6 watts)

Mwd/tU - Megawatt-day/tonnes U

NEA - Nuclear Energy Agency

NUEXCO - Nuclear Exchange Corporation

NUCLEBRÁS - Empresas Nucleares Brasileiras S.A.

OECD - Organization for Economic Co-operation and
Development

ONU - Organização das Nações Unidas

OPEP - Organização dos Países Produtores e Exportadores de
Petróleo

Orquima - Indústrias Químicas Reunidas S.A.

PIB - Produto Interno Bruto

ppm - partes por milhão

RAR - Reasonably Assured Resources

SR - Speculative Resources

SWU - Separative Work Unit

t - tonelada

TCE - Toneladas de Carvão Equivalentes

TDE - Toneladas de óleo Equivalentes

TW - Terawatt (10^{12} watts)

TWh - Terawatt-hora (10^{12} watts-hora)

UI - Uranium Institute

WAES - Workshop on Alternative Energy Strategies

WEC - World Energy Conference

WOCA - Western Outside Central Planned Economy Areas

Bibliografia

- 1) ADELMAN, M.A. et alii- *Energy Resources in an Uncertain Future*. Cambridge, Massachussets: Ballinger Publishing Company, 1983. 433p.
- 2) AHREND, K.- The socio-economic determination of the natural resource category. *Raw Materials Report* v.3, n.1, 1984. p.37-44.
- 3) ALBERT, G. et alii- Les Ressources en Uranium du Monde à Economie de Marché. *Industrie Minérale-Mines et Carrières*, p.81-89, Févr. 1986.
- 4) ALBERT, M.-G. et alii- Cycle du Combustible Nucléaire. *Techniques de L'ingénieur* v.37, n.B137, p.B3560-1/B3560-9, Aug. 1986.
- 5) ANDRADE RAMOS, J.R.de, MACIEL, A.C.- Atividades de Prospecção de Urânio no Brasil: 1966-1970. *Boletim CNEN n.3*, Rio de Janeiro, 1974.. 86p.
- 6) ANDRADE RAMOS, J.R.de, MACIEL, A.C.- Prospecção de Urânio no Brasil: 1970 - 1974. *Boletim CNEN n.4*, Rio de Janeiro, 1974. 129p.
- 7) ARCHER, R.- Política Nacional de Energia Atômica. In: SALLES, D., *Energia Atômica: Um Inquérito que Abalou o Brasil*. São Paulo: Fulgor, 1958. p.193-228.
- 8) ARGENTIERE, R.- *Urânio e Tório no Brasil*. São Paulo: Edições Lep, s.d.. 555p.
- 9) ATLANTIC COUNCIL OF THE UNITED STATES- Nuclear Power and Nuclear Weapons Proliferation. Boulder, Colorado, Westview Press, s.d.. 139p.
- 10) AVELINE, A., et alii- Energia Nuclear: Uma Breve Visão Crítica. *Ciência e Cultura*, v.29, n.8, 1977. p.888-901.
- 11) BAROCH, C.T., BAROCH, C.J.- Nuclear Mineral and Their Utilization. In: VOGELY, W.A. (ed.) *Economics of the Mineral Industries*. 3ª Ed. New York: AIME, 1976. p. 498-510.
- 12) BERVILLE, M.- Generalites Sur Les Gisements D'Uranium En Explotation Et Les Reserves En Uranium Dans Le Monde. *COGEMA, Journée Techniques d'Explotation*

- et de Traitements des Minerais d'Uranium*, 17 avril 1986. 14p.
- 13) BIRD, P.J.W.N.- The Uranium Market. *Energy Exploration & Exploitation* n.5, p.401-414, 1987.
 - 14) BOWIE, S.H.U.- *Uranium and thorium raw materials*. Oxford University Press, 1983. p.56-75.
 - 15) BRADFIELD, P.J.- Australia's uranium industry: where does it go from here? In: *Uranium and Nuclear Energy: 1987*. Proceedings of the 12th International Symposium held by Uranium Institute, London: Sept. 1988. p.94-102.
 - 16) BRYNARD, H.J. et alii- *Uranium in South Africa*. Pretoria, The Atomic Energy Corporation of South Africa Ltda., Jun 1988. 30p.
 - 17) CABRAL, M.- A Questão Nuclear. *Relatório da Comissão Parlamentar de Inquérito do Senado Federal sobre o Acordo Nuclear do Brasil com a República Federal da Alemanha*. Política Nuclear, v. III. Brasília: Centro Gráfico do Senado, 1983. 198p.
 - 18) CARVALHO, J.F.- O Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. In: ORTIZ, A. (Ed.). *O Brasil Nuclear*. Porto Alegre: Editora Tchê!, 1987. p.49-58.
 - 19) CLEMENTS, A.A.- Uranium Demand: The Major Factors Determining the Future Requirements. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1981*. Proceedings of the 6th International Symposium held by The Uranium Institute. London: The Uranium Institute 1982. s.n.p.
 - 20) CLARK, S.P.Jr.- *Structure of the Earth*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1971. 131 p.
 - 21) COLEMAN, P.L.- The Economics of Uranium Exploration in Australia. *The Aust. IMF Conference*, Darwin, Aug. 1984. p.63-71
 - 22) COLOMBO, U.- A Strategic View of the World Energy Problem. *Environ. Int.* 10, p. 347-358, 1984.
 - 23) CONNOLLY, T.J.- The Nuclear Power Industry in the United States: Status and Projections. *Seminars in Nuclear Medicine* v.18, n. 1, p. 22-35, 1988.
 - 24) CONWAY, A.- Uranium in its Proper Place? *Resources Policy* n.12, p.75-77, 1986.

- 25) CRIJNS, M.J. et alii- The Supply/Demand Outlook for Uranium. *IAEA Proceedings Series* n.5, p.323-339, 1988.
- 26) CROWSON, P.C.F.- Uranium as a Comodity: Lessons for the future. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1985*. Proceedings of the 10th International Symposium. held by The Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1986. s.n.p.
- 27) CROWSON, P.C.F.- Uranium: the recalcitrant commodity. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1987*. Proceedings of the 13th International Symposium held by The Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1988. pp.140-145.
- 28) DAHLKAMP, F.J.- Classification of Uranium Deposits. *Mineral Deposita* n.13, p.83-104, 1978.
- 29) DAVIS, J.F.- US uranium industry continues active development despite nuclear uncertainties. *Engineering Mineral Journal* August 1977. p. 91-94.
- 30) DE VOTO, R.H.- *Uranium Geology and Exploration*. Colorado School of Mines, Golden, 1978. 396p.
- 31) DERRY, D.- Sources of uranium - present and future. *Australia's Mineral Energy Resources*, 1979. p. 71-85.
- 32) DEPARTMENT OF ENERGY/ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION- Uranium Industry Annual 1988. Washington, D.C., DOE/EIA 0478(88), 1988. 121p.
- 33) DEPARTMENT OF ENERGY/ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION- World Nuclear Fuel Cycle Requirements. Washington, D.C., DOE/IEA 0436(85), 1985. 99p.
- 34) *ELECTRICITY* in the Third World: a dark future. *The Economist*, 7 May, 1988. p.118.
- 35) FONSECA, G.da- Brasileiros Contra o Brasil. In: *Energia Atômica: Um Inquérito que Abalou o Brasil* (Pref.). São Paulo: Fulgor, 1958. s.n.p.
- 36) FAIRBRIDGE, R.W.(ed.)- *The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences*. Pensilvania: Dowden, Hutchinson e Ross, 1972. p.1215-1238.
- 37) FAUL, H., FAUL, C.- *It Began with a Stone*. New York: John Wiley & Sons, 1983. 270p.
- 38) FAURE, G.- *Isotope Geology*. New York: John Wiley & Sons, 1986. 589p.

- 39) FUNDAÇÃO FORD- *Energia Nuclear: Problemas e Opções*. Relatório do Grupo de Estudo da Política de Energia Nuclear (EUA). Trad. J. L. Dantas. São Paulo: Cultrix, 1977. 528p.
- 40) FORMAN, J.M.A.- Urânio e seu Aproveitamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE FONTES CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS DE ENERGIA. Brasília: MME/Câmara dos Deputados, 1980. pp.406-492.
- 41) FRAENKEL, M.O. et alli- jazida de Urânio no Planalto de Poços de Caldas - Minas Gerais. In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Rio de Janeiro: MME/DNPM/CVRD, 1985. v.I, 187p.
- 42) FINANCIAL TIMES ENERGY ECONOMIST- World Status: Uranium Resources. FTEE n.60, p.8-12, Oct. 1986.
- 43) FURTADO, A.T.- Produtos Primários e Divisão Internacional do Trabalho. In: *Prospectiva Tecnológica para America Latina*. Textos para Discussão. Campinas: UNU/NFCT-UNICAMP, 1987.p.01-15.
- 44) GIROTTI, C.A.- *Estado Nuclear no Brasil*. São Paulo: Brasiliense, 1984. 258p.
- 45) GOLDEMBERG, J.- O acordo nuclear dez anos depois. *São Paulo: Energia*, n.16, junho, 1985. p.16.
- 46) GUAIS, J.-C.- Back-end options: some remarks. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1988*. Proceedings of The 13th International Symposium held by the Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1989. p.188-198.
- 47) GUILHERME, D.- *O Brasil e a Era Atômica*. Rio de Janeiro, Editorial Vitória, 1957. 317p.
- 48) GRESTER, A.- Missão Brasil: 1961-1966. Rio de Janeiro, *Boletim CNEN n.2*, 1974. 59 p.
- 49) HAFELE, W.- *Energy in Finite World*. Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing, 1981. 225p.
- 50) HEINRICH, E.W.- *Mineralogy and Geology of Radioactive Raw Material*. New York: McGraw-Hill, 1958. 654p.
- 51) HORIUCHI, S., GEHRISCH, W.- Uranium resources, production and demand. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1988*. Proceedings of the 13th International Symposium held by the Uranium Institute. London: The Uranium Institute 1989. p.87-105.

- 52) HOLMES, A., HOLMES, D.L. - Geología Física. Trad. por M. D. Miró. Barcelona: Ediciones Omega, 1980. 812p. Trad. de: Principles of Physical Geology.
- 53) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Energy, Electricity And Nuclear Power Estimates For The Period Up To 2000. Vienna, 1985. 55p.
- 54) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Energy, Electricity And Nuclear Power Estimates for the Period up to 2005. Vienna, 1987. 55 p.
- 55) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Methods for the Estimation of Uranium Ore Reserves. Technical Reports Series n.255. Vienna, 1985. 92p.
- 56) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Nuclear Power: Status And Trends. Vienna, 1987. 61p.
- 57) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Power Reactor information System. Preliminary data as of 1 October 1989.
- 58) INTERNATIONAL COAL DEVELOPMENT INSTITUTE - Why chose coal? The case for coal in power generation. London, 1988.
- 59) JANSEN, C. et alii - Jazida de Urânio de Itataia - Ceará. In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília/Rio de Janeiro: MME/DNPM/CVRD, 1985. v.I, p.130-131.
- 60) JANIN, R. - Relations and cohérences économiques dans le cycle du combustible nucléaire. *Revue de l'énergie*, n.397, nov. 1987. p. 558- 601.
- 61) LAMBERT, I.B., HEIER, K.S. - Estimates of the Crustal Abundances of Thorium, Uranium and Potassium. *Chem. Geol.* n.3, pp.233-238, 1968.
- 62) LEITE, R.C. de C. - *Energia Nuclear e outras Mitologias*. São Paulo: Duas Cidades, 1977. 103p.
- 63) LEWINER, C., SCHAERER, R. - Uranium demand effect of different fuel management schemes. *Uranium and Nuclear Energy: 1988*. Proceedings of the 13th International Symposium held by the Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1988. 10-25.
- 64) LEWINER, C., SCHAERER, R. - Mutual Influences of Reactor Operation & Fuel Cycle Management. *Nuclear Europe*, v.9, n.1-2, p.11-13, 1989.

- 65) LIMA,P.- Modelo tripartite nos novos projetos. *Minérios, Extração e Processamento* n.93, p.25-31, 1984.
- 66) LINDHOLM,I.- World Uranium Resources, Production and Demand. IAEA Panel Proceedings Series TC-543/1, Vienna, 1988. p.1-17.
- 67) LOBATO,L.M. et alii- Uranium Enrichment in Archean Crustal Basement Associated with Overthrusting. *Nature* n.303, p.235-237, 1983.
- 68) MARBLE,J.P.- *Nuclear Geology*. New York: John Wiley & Sons, 1954. 414p.
- 69) MACIEL,A.C., CRUZ,P.R.- Perfil Analítico do Tório e Terras Raras. *Bol. DNPM* n.28, Rio de Janeiro, 1974. 72p.
- 70) MARQUES,J.P.M. et alii- Sistema de Avaliação de Reservas de Bens Minerais na Nuclebrás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú (SC), 1980. Nuclebrás, Publicação Especial. 37p.
- 71) MCINTYRE,H.C.- How Much Uranium do We Really Need? *Energy International*, Feb. 1980. p.13-15.
- 72) MCKELVEY,V.E.- Mineral Resource Estimates and Public Policy. *American Scientist* n.60, p.32-40, Jan/Feb. 1972.
- 73) MCKELVEY,V.E.- Potential mineral reserves. *Resources Policy*, Dec. 1974.p.75-81
- 74) MORRISON, R. W.- Nuclear Power and Uranium Supply. Proceedings of the South East Asia Pacific Regional Symposium. WORLD ENERGY CONFERENCE 13, Perth, Australia, 1986. p.717-738.
- 75) MORTIMER,N.- An Application of Energy Analysis. *Resources Policy*, March, 1980. p.19-32.
- 76) NUCLEAR ENERGY AGENCY(OECD)/INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- Uranium: Resources, Production and Demand. Paris, 1988. 194p.
- 77) NETTO,A.M- Contributions a la Mineralogie, a la Petrografie et a la Metallogenie du Gisement Fosfo-Uranifere D'Itataia- Ceará- Bresil. Paris: l'Universite de Clermont II, 1983. 203p. (tese de doutorado).

- 78) NEWMAN, D.F.- Trends of Nuclear Fuel Cycle Costs in the United States. In: SEMINAR ON COSTS AND FINANCING OF NUCLEAR POWER PROGRAMS IN DEVELOPING COUNTRIES. IAEA, Vienna, 1985. 6p.
- 79) Boletim Informativo. NUCLEBRÁS- Legislação Básica, 1980.
- 80) NUKEM Market Report 6, May 1986. 23p.
- 81) NUKEM Market Report 1, Jan. 1990. 33p.
- 82) NUMARK, N.J.- Analysis of Factors Influencing National Spent Fuel Management Strategies and an Overview of World Activities. *IAEA Proceedings Series* n.5, p. 581-595, 1988.
- 83) NUCLEAR ENERGY AGENCY(OECD)/INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- Uranium, Resources, Production and Demand. Paris, 1988. 194p.
- 84) NUCLEAR ENERGY AGENCY(OECD)/INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- Uranium. Resources, Production and Demand. Paris, 1983. 348p.
- 85) O'FAIRCHEALLAIGH, C.- Future Markets for Kakadu Uranium. *Bull. Proc. Australas. Inst. Metall.*, v.292., n.4, June 1987. p.28-31
- 86) OLIVEIRA, A.de- Energia e Sociedade. *Ciência Hoje* v.5, n. 29, p.30-37. 1987.
- 87) OLIVEIRA, A.de, MOTTA BARROS, E.B.da- Recursos e Reservas de Fontes Não Renováveis de Energia: Sua Avaliação. COPPE/UFRJ, abril, 1984. 24p.
- 88) OWEN, A.D.- Short Term Price Formation in the U.S. Uranium Market. *The Energy Journal* v.6, n.3, p.37-49, 1985.
- 89) PATERSON, W.C.- *La Energia Nuclear*. Madrid: H. Blumes, 1982. 437p.
- 90) PEREIRA, N.- Há mais urânio do que se imaginava. *Energia São Paulo* n.35, p.17, 1987.
- 91) Penn State University- The Finite Earth. *Bull. of Science, Technology & Society* v.3, n.1, 1983. 106p.
- 92) PINGUELLI ROSA, L.- Anais do Seminário Alternativas Para Uma Política Energética. São Paulo, CPFL, 1985. p.450-453.

- 93) PINGUELLI ROSA, L.- A Política Nuclear e o Caminho das Armas Atômicas. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1985. 78p.
- 94) PINGUELLI ROSA, L.- Panorama e Perspectivas da Energia Nuclear. In: Energia, Tecnologia e Desenvolvimento. Petrópolis: Vozes, 1978. p.38-65.
- 95) PINGUELLI ROSA, L.- O Papel da Energia Nuclear no Brasil. COPPE, 1981. 31p.
- 96) PINGUELLI ROSA, L.- O que fazer da Nuclebrás. São Paulo: Energia, n.21, nov/dez 1985. p.39-40.
- 97) PINTO, B.- Relatório da Comissão de Constituição e Justiça da Câmara dos Deputados. In: *Câmara dos Deputados: Projeto 944-A--1956*. Departamento de Imprensa Nacional, 1962. 66p.
- 98) PUISEAU, L.- A Controvérsia da Questão Nuclear. *Rev. do Clube de Engenharia* n.425, Rio de Janeiro, p.49-51, 1982.
- 99) RATTNER, H.- O Esgotamento dos Recursos Naturais: Catástrofe ou Interdependência? *Rev. de Adm. Empresarial* v.17, n.2, p.15-21, 1977.78)
- 100) REYNOLDS, J.D.- Uranium Fuelled Electricity- an Australian Perspective. *Mining Review*, Sept. 1986. p.1-9.
- 101) RUNNALLS, D.J.C.- Uranium supply in Canada. London: *Sterling Publications*, 1987. p.84-86.
- 102) RUZICKA, V.- New Sources of Uranium? *Canadian Mining Journal*, April, 1975. p.41-44.
- 103) SALAFF, S.- Cigar Lake Uranium Project: the Way Ahead. *Nuclear Europe* n.5, 1985. p.37-39.
- 104) SALLES, D.- Relatório da CPI para proceder a investigação sobre o problema de energia atômica no Brasil. In: *Câmara dos Deputados*, Rio de Janeiro, 20.11.1958, 66p.
- 105) SANDKLEF, S., SELLERS, J.- Preparing for the 21st century. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1988*. Proceedings of the 13th International Symposium held by the Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1989, p.1-9.
- 106) SANDKLEF, S., SELLERS, J.- New Developments Affecting Uranium Supply and Demand. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1987*. Proceedings of the 12th International

Symposium held by The Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1988. p.83-93.

- 107) SCHANZ, J.J. Jr- Resource Terminology: An Examination of Concepts and Terms and Recommendations for Improvement. Washington, D.C.: *Resources for the Future*, 1975. 116p.
- 108) SILVA SOARES, G.F.- Contribuição ao Estudo da Política Nuclear Brasileira. São Paulo, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 1974. 326p. (tese de doutorado).
- 109) SURCAN SANTOS, L.C., ANACLETO, R.- Avaliação do Potencial Uranífero do Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, Gravatal (SC): MME/DNPM., Fev. 1979. p.93-96.
- 110) SURCAN SANTOS, L.C., ANACLETO, R.- Jazida de Urânio de Espinharas - Paraíba. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília/Rio de Janeiro: MME/DNPM/CVRD, 1985. v.I, p.143-155.
- 111) STOBBS, J.J.- The value of reprocessed uranium. In: *Uranium and Nuclear Energy: 1988*. Proceedings of the 13th International Symposium held by The Uranium Institute. London: The Uranium Institute, 1989. p.181-187.
- 112) TAVORA, J.- *Átomos para o Brasil*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1958. 357p.
- 113) TAVORA, J.- *Uma Vida e Muitas Lutas: Memórias*. Rio de Janeiro: José Olympio (5ª ed.). v.III, 1976. 269p.
- 114) THOMAS, R.J.- Australia's uranium export policy. *Nuclear Spectrum*, v.3, n.2, 1987, p.24-24.
- 115) TOENS, P.D.- World Mineral Energy Resources and their Distribution in Time and Space. *Nuclear Development Corporation of South Africa (Pty), Ltd.*, Per 86, 1985. 16p.
- 116) TOENS, P.D., ANDREWS-SPEED, C. P.- The time-bound character of uranium mineralising process with special reference to the Proterozoic and Gondwana. *Precambrian Research* n. 25, p.13-36, 1984.
- 117) URANIUM INSTITUTE- The Uranium Market Issues 1989-2005. London, 1989. 89p. (no prelo).
- 118) URANIUM INSTITUTE- Uranium Supply and Demand: Perspectives to 1995. London, 1984. 80p.

- 119) UNITED NATIONS CENTRE ON TRANSNATIONAL CORPORATIONS-
Transnational Corporations and Contractual Relations
in the World Uranium Industry: A technical paper.
New York: United Nations, 1983. 167p.
- 120) URANIUM INFORMATION CENTRE LIMITED - Australia's
Uranium. The Case for Mining and Export. Melbourne,
Victoria, Feb. 1985. 88p.
- 121) VON WAHLS, S.-The Development of a Supply Model for
Natural Uranium. *Natural Resources and Development*,
v.27, 1988. p.7-29.
- 122) UVAA - *Energia Nuclear em Questão*. Rio de Janeiro:
Instituto Euvaldo Lodi, 1981. 93p.
- 123) WALKER, D.G.- The Nuclear Industry in Australia. Japan
Industrial Forum Annual Conference, Tokyo, 1985.
Gensan Nenji Taikai Hobunshu, n.18, 1985, p.83-103.
- 124) WARNER, R.K.- The Australian Uranium Industry. *Aust.*
Federal Police Journal, Dec 1984. p.117-135.
- 125) WILSON, M.- Pace Quickens at Olympic Dam. *Aust. Min.*,
v.79, n.3, 1987. p. 16-20.
- 126) ZWARTENDYK, J.- What is "Mineral Endowment" and How
Should we Measure It? Department of Energy and
Resources, *Mineral Bulletin* MR 126, Ottawa, 1972.
17p.
- 127) ZWARTENDYK, J.- Economic Issues in Mineral Resource
Adequacy and in the Long-Term Supply of Minerals.
Economic Geology v.76, n.5, 1981. p.999-1005.

* * *