

CBPF-CS-002/81

ASPECTOS ECONÔMICOS E ESTRATÉGICOS
DO ACORDO NUCLEAR BRASIL-ALEMANHA

por

Joaquim Francisco de Carvalho

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq
Av. Wenceslau Braz, 71, fundos
22290 - R.J. - Rio de Janeiro - BRASIL

Por Joaquim Francisco de Carvalho

Conduziremos a análise dos aspectos econômicos e estratégicos do Acordo Nuclear em três partes, a saber:

1^a. O Acordo Nuclear no contexto do processo de desenvolvimento econômico e social brasileiro, tendo a fundo o quadro de disponibilidade de recursos energéticos do país. Implicações políticas. Considerações sobre transferência e criação de tecnologia.

2^a. A economicidade intrínseca do Acordo Nuclear. Custos da energia elétrica a ser gerada nas centrais nucleares construídas no Brasil, versus custos da energia gerada nas hidroelétricas. Impactos sobre o desenvolvimento industrial e influências intersetoriais.

3^a. Aspectos estratégicos.

1^a Parte: O ACORDO NUCLEAR E O DESENVOLVIMENTO NACIONAL

Esta parte da análise destina-se a estimar o grau de prioridade a ser atribuído aos investimentos que serão programados para a construção de novas centrais nucleoeletricas, além das já contratadas, no âmbito do Acordo e a formular sugestões visando seu aperfeiçoamento. Para isso adotaremos duas hipóteses de desenvolvimento econômico e social até o ano 2000, sendo uma moderada e outra alta. Em seguida, confrontaremos o consumo de energia elétrica calculado na hipótese alta, com a oferta viável de energia elétrica de origem hidráulica.

O grau de prioridade procurado será uma função, entre outras coisas, do horizonte previsível para a duração da oferta suficiente de energia hidroelétrica. A escolha da energia hidráulica como referencial para a oferta de energia elétrica se deve às excepcionais peculiaridades geográficas, climáticas e hidrológicas, que garantem ao Brasil uma das maiores se não a maior reserva de recursos hidroelétricos economicamente aproveitáveis do Planeta e, também, ao fato de que a engenharia e a in

J. M.

dústria brasileiras não dependem de fornecimentos externos significativos, para o aproveitamento dos recursos hidroelétricos.

É evidente que uma análise semelhante, para ser realizada em outros países, deve adotar como referencial a fonte de energia mais abundante e para cujo aproveitamento o país esteja tecnológica e industrialmente mais capacitado. Assim, por exemplo, em países como a Grã-Bretanha, França, Alemanha ou Itália, parece claro que a fonte de energia elétrica mais acessível a curto e médio prazos, é a energia nuclear de fissão, pois esses países já aproveitaram praticamente todo o seu potencial hidroelétrico e, neles, a geração termoelétrica a carvão é economicamente e socialmente problemática. Na Austrália, ao contrário, o referencial a ser adotado é, nitidamente, a geração termoelétrica a carvão, face às excepcionais reservas australianas dessa matéria prima energética. Foi por esta razão, aliás, que, há alguns anos, quando a energia nuclear de fissão era considerada como obrigatória para qualquer nação aspirante ao desenvolvimento tecnológico e industrial, o Governo australiano teve o vislumbre e a coragem de abandonar um projeto já iniciado de construção de uma central nucleoeelétrica, no momento em que os técnicos e planejadores constataram que a energia nucleoeelétrica custaria de duas a três vezes mais caro que a energia termoelétrica a carvão e que a adoção da energia nucleoeelétrica inviabilizaria os grandes projetos de alumínio a serem implantados no país, a não ser que essa energia fosse subvencionada - mas, então com prejuízos para o restante da economia e, o que é mais grave, com grandes injustiças sociais, uma vez que toda a população seria onerada com os custos da energia nuclear. À vista disso, o Governo australiano sensibilizou-se diante dos argumentos técnico-econômicos, decidindo - por ser muito mais lógico e coerente com os interesses nacionais - cancelar o projeto nuclear e continuar com o carvão até um horizonte de tempo compatível com a duração das respectivas reservas.

Enquanto isso, algumas Universidades e Instituições

de pesquisas australianas desenvolvem programas nucleares com decidido apoio do Governo. O objetivo desses programas é preparar recursos humanos e acompanhar o desenvolvimento tecnológico da Indústria nuclear nos países que foram obrigados a adotar a geração eletronuclear, por não disporem mais de fontes de energia mais simples ou econômicas. Esses programas de formação de recursos humanos e acompanhamento da evolução tecnológica custam ao país apenas uma pequena fração do que custaria a implantação prematura de um programa de geração eletronuclear, de modo que ficam disponíveis recursos para investimentos mais urgentes, à luz do processo de desenvolvimento econômico e social equilibrado que faz da Austrália uma das nações mais prósperas e tecnologicamente evoluídas da comunidade internacional.

Isto posto, vejamos como foram estabelecidas as hipóteses moderada e alta de consumo de energia elétrica no ano 2000.

Partimos da mesma subdivisão setorial da economia, adotada pela ELETROBRÁS, e tomamos como base para as projeções os consumos efetivamente observados em 1979.

No caso da hipótese moderada, admitimos crescimentos contínuos de 5% ao ano, até o ano 2000, para os setores comercial, rural e terciário. Para o setor residencial, supuzemos que o consumo doméstico "per capita", que foi da ordem de 183 quilowatts x hora por habitante por ano, em 1979, atingirá 312 quilowatts x hora por habitante por ano, no ano 2000, quando, segundo o IBGE, a população brasileira será de, aproximadamente, 190 milhões de habitantes.

O transporte ferroviário foi tratado separadamente, da seguinte maneira: em 1979, de um total de 117.277 milhões de toneladas x quilômetro transportadas nas ferrovias nacionais, 11.429 milhões de toneladas x quilômetro foram em ferrovias eletrificadas; ou seja, o transporte ferroviário eletrificado correspondeu a 9,75% de todo o transporte ferroviário.

Para isso, o consumo de energia elétrica em ferrovias foi de 515.623 MWh. Dada a prioridade que deve ser atribuí-

J.M.

da a essa modalidade de transporte, admitimos que a carga transportada por ferrovia cresça a um ritmo de 5% ao ano, atingindo 326.729 milhões de toneladas x quilômetro no ano 2000, e que, naquele ano, o transporte ferroviário eletrificado corresponda a 30% do total. Teremos, então, no ano 2000, um total de 98.018 milhões de toneladas x quilômetro transportadas em ferrovias eletrificadas, consumindo 4.422.114 MWh. Em outras palavras, na hipótese moderada, admitimos que o transporte ferroviário eletrificado crescerá, ininterruptamente, até o ano 2000, com uma taxa de 10,8% ao ano.

Quanto ao setor industrial, projetamos para o ano 2000 um cenário no qual os padrões brasileiros de consumo de bens como o aço, alumínio, cimento, papel, produtos químicos, alimentos industrializados, etc. sejam equivalentes aos de países industrializados, caracterizados por ótima distribuição de renda e excelente nível de qualidade de vida, como foram, por exemplo, a França, a Alemanha e a Itália, em diferentes períodos situados na década de 1960. (*)

No caso específico do aço, vale observar que atualmente, a capacidade instalada de produção no Brasil é de 15 milhões de toneladas por ano, do que resulta uma produção "per capita" de 125 quilogramas por habitante por ano, pois a população atual é de 119 milhões de habitantes. Levando em conta certas peculiaridades, como por exemplo o fato de que, no Brasil, a construção civil (edifícios residenciais, comerciais e industriais; obras públicas, como pontes e viadutos, etc.) emprega largamente o concreto armado, em lugar do aço, como ocorre nos Estados Unidos e no Japão; consideramos como razoável um consumo de aço "per capita" de 210 kg/hab x ano no ano 2000. Mesmo assim, para atingirmos esta modesta meta, deveremos ter, no ano 2000, uma capacidade instalada de 40 milhões de toneladas/ano, o que significa que será necessário agregar à atual capacidade instalada, capacidades de 6,25 milhões de toneladas/ano, a cada 5 anos, o que exigirá investimentos, no setor siderúrgico, da ordem de 10 bilhões de dólares a cada cinco anos. Ora, este é um descomunal esforço financeiro

(*) Na 3ª parte "Aspectos estratégicos," demonstra-se que o consumo de energia elétrica deverá, "grosso modo", crescer linearmente com o crescimento da produção em cada setor.

J. M.

para um setor que, como sabemos, já está muito endividado e com sua capacidade de investimentos seriamente comprometida.

Nos casos das indústrias mecânicas e de material elétrico, assim como na indústria química, adotamos taxas de crescimento que nos levem a produzir no país, praticamente todos os bens e produtos que hoje são importados.

Finalmente, no tocante a indústrias direta ou indiretamente relacionadas à qualidade da vida, tais como as indústrias de alimentos, têxtil, de vestuário, celulose e papel, ^(*)editorial e gráfica, construção civil, etc. adotamos, mesmo na hipótese moderada, altas taxas de crescimento, para suprir evidentes carências brasileiras, no atual estágio de desenvolvimento social e cultural.

Na hipótese alta, admitimos crescimentos contínuos de 6% ao ano, ininterruptamente, nos 21 anos que vão até o ano 2000, para os setores comercial, rural e terciário - o que, evidentemente, é uma hipótese exageradamente otimista, dadas as características atuais e previsíveis dos modelos de crescimento econômico não apenas do Brasil, mas também dos países desenvolvidos: não existem casos de crescimento ininterruptos a taxas superiores a 4% ao ano, por períodos prolongados.

No setor residencial, supuzemos que o consumo doméstico "per capita" evolua dos 183 quilowatts x hora por habitante, por ano, verificados em 1979, para 360 kWh/hab x ano, no ano 2000. Para se ter uma idéia do que isto significa, basta assinalar que, para atingir esse consumo médio, será necessário que, no ano 2000 todos os brasileiros tenham domicílio e que, em média, esses domicílios abriguem famílias de 5 pessoas e sejam equipados com geladeira, televisão (80% preto e branco; 20% a cores); circuito de iluminação com 3 lâmpadas de 60 W e 2 de 100 W; ferro de passar roupa, rádio, ventilador, etc. Naturalmente, o valor médio pressupõe a existência de residências superequipadas, nos bairros mais ricos das zonas urbanas, e de residências singelamente equipadas, nos bairros pobres e na zona rural.

(*) No caso da indústria de celulose e papel, adotamos uma alta taxa de crescimento porque, à vista de seu enorme potencial florestal, o Brasil poderá ser um dos principais fornecedores desses produtos no mercado mundial.

Para se ter um elemento de comparação, mencionemos que na França, país caracterizado por excelente nível de qualidade de vida, o consumo médio em cada domicílio de 4 pessoas foi de 1.370 kWh por ano, em 1976; portanto, o consumo doméstico "per capita" foi de 343 kWh/hab x ano. Considerando a diferença climática entre o Brasil e a França, que nos permite viver com conforto gastando menos energia, parece-nos até exagerado admitir que o consumo doméstico "per capita" de energia elétrica, no Brasil, no ano 2000, será superior ao consumo francês observado nos dias que correm.

No tocante ao transporte ferroviário, a hipótese alta de crescimento é a seguinte: admitimos que a carga total transportada por ferrovia cresça continuamente a um ritmo de 6% ao ano, até o ano 2000 e que, naquele ano, 50% do transporte ferroviário seja feito em ferrovias eletrificadas. Temos, então, um total de 199.345 milhões de toneladas x quilometro transportadas por ferrovias eletrificadas, consumindo 8.994.000 MWh. Isto significa que, na hipótese alta, admitimos que o transporte ferroviário eletrificado crescerá continuamente até o ano 2000, com uma taxa de 14,6% ao ano.

Finalmente, para o setor industrial, imaginamos um cenário que seria atingido mediante o crescimento contínuo e ininterrupto de todos os segmentos, com taxas que nunca encontraram paralelo no mundo, por um período tão longo. No caso específico do aço, admitimos que a produção "per capita" no ano 2000 será de 263 Kg/habitante x ano, para o que seria necessário que o Brasil, naquele ano, tivesse uma capacidade instalada capaz de produzir 50 milhões de toneladas por ano, o que nos obrigaria a agregar ao atual parque siderúrgico - que é de 15 milhões de toneladas/ano - capacidades adicionais de 1,75 milhões de toneladas, anualmente, representando cerca de 3 bilhões de dólares por ano. Em outras palavras, teríamos que investir, todo ano, na construção de uma nova unidade quase igual à primeira fase da AÇOMINAS (2 milhões de toneladas/ano), para cuja implantação o setor siderúrgico es

D.OM

tã encontrando grandes dificuldades.

Para os demais segmentos do setor industrial, adotamos taxas contínuas de crescimento francamente otimistas, tratando-se de um período tão longo. Assim, admitimos que a indústria de celulose e papel crescerã, ininterruptamente, com uma taxa de 10,6% ao ano; a indústria química com 8% ao ano; as indústrias de metais não ferrosos a 7% ao ano; a extração de produtos minerais a 8% ao ano; a indústria de alimentos a 7,3% ao ano; a construção civil a 8% ao ano e assim por diante.

Segundo o IBGE, a taxa de crescimento demográfico da população brasileira - que atualmente é de 2,48% ao ano - deverá cair para cêrca de 2% ao ano por volta do ano 2000. Assim, a maioria das taxas de crescimento que adotamos para os diferentes segmentos do setor industrial são de três a quatro vezes maiores que a taxa de crescimento demográfico.

Se conseguirmos crescer de modo ininterrupto, com as taxas médias adotadas nas projeções, parece claro que o Brasil chegarã ao ano 2000 - quando nossa população será de aproximadamente 190 milhões de habitantes - como uma das nações mais prósperas do mundo.

Mesmo no caso da hipótese moderada, o Brasil atingirá, no ano 2000, um PNB de 720 bilhões de dólares e um produto "per capita" superior a 3.780 dólares por habitante, a valores de 1980. Considerando-se as atuais conjunturas nacional e internacional, e suas perspectivas de evolução, não há dúvidas de que os mencionados valores de PNB e produto "per capita" constituirão resultado excepcional, particularmente se lembrarmos que, atualmente, com uma população de 119 milhões de habitantes, o Brasil tem um PNB de 238 bilhões de dólares e um produto "per capita" de 2000 dólares por habitante. No caso da hipótese alta, nosso PNB no ano 2000 será de 875 bilhões de dólares e o produto "per capita" de 4.600 dólares por habitante, a valores de 1980. Para chegarmos a esses resultados, será necessário um enorme esforço de poupança e investimentos em projetos diretamente produtivos, rigorosamente selecionados, em absoluta coerên-

J.OM

cia, de um lado, com nossa dotação de fatores de produção e, de outro, com as evidentes carências do atual estágio de desenvolvimento do país.

Cabe assinalar que, tanto na hipótese moderada quanto na alta, as taxas de crescimento adotadas são taxas médias. Na realidade as taxas efetivas serão mais elevadas nos próximos anos, para depois irem se reduzindo gradativamente, à medida que o parque industrial for se completando e integrando, em seus diferentes setores, a exemplo do que ocorreu nos países que hoje são industrializados.

Em nosso entender, as elevadas taxas de crescimento do consumo de energia elétrica, da ordem de 11,5% e 10,5%, observadas em anos recentes, decorrem de duas causas concorrentes: a substituição de derivados de petróleo por energia elétrica, nos processos térmicos de determinadas indústrias; e a própria implantação de novas indústrias de base, "energy intensive", principalmente nos setores metalúrgico e químico.

Ocorre que o ciclo de implantação de indústrias de base está praticamente completo. Assim, ao projetar o consumo de energia elétrica, com as mesmas taxas de crescimento dos anos recentes, alguns planejadores estão, inadvertidamente, confundindo variáveis de fluxo com variáveis de estoque, o que é um absurdo. Este procedimento de projetar cegamente para o futuro as tendências observadas em passado recente, pode causar graves prejuízos ao país, pela superavaliação e antecipação de vultosos investimentos que poderiam ser ~~postergados~~, com a vantagem adicional de que, um pouco mais tarde, o parque industrial brasileiro já estará mais completo e integrado e que, portanto, os referidos investimentos seriam feitos com uma participação nacional muito maior.

Ainda sobre a previsão do consumo de energia, deve ser enfatizado que, nos países industrializados, a elasticidade crescimento do consumo de energia/crescimento do PNB ($\Delta E_t / \Delta PNB$) tem caído após 1973. Na República Federal da Alemanha, por exemplo, essa elasticidade foi de 1,07 entre os anos de 1950 e

J.M

1970 tendo caído para 0,47 entre 1974 e 1978. Na Itália, para os mesmos períodos citados, a elasticidade foi de 1,83 e 0,38; e nos Estados Unidos, de 0,94 e 0,36, respectivamente. Esses dados e outros igualmente significativos, podem ser verificados nos documentos mencionados nas referências [1] e [2]. Voltaremos ao assunto na 3^a parte "Aspectos estratégicos".

Observe-se que as elasticidades inferiores à unidade traduzem os esforços que estão sendo feitos no sentido de eliminar os desperdícios de energia que se faziam anteriormente a 1973, quando não havia problemas de escassez e nem de preços. Naturalmente, quando se eliminarem todas as formas de desperdício, é evidente que as referidas elasticidades deverão se estabilizar em torno da unidade, só podendo novamente cair por força de inovações tecnológicas, que permitam usos mais eficientes de formas tradicionais de energia, ou mediante a introdução de fontes não comerciais, como deverá ser o caso da energia solar para pré-aquecimento de água para processos industriais.

Em nosso caso específico, crescendo com as taxas médias adotadas nas duas hipóteses, o Brasil chegará ao ano 2000 com um parque industrial completo, diversificado e integrado, de modo que as taxas efetivas de crescimento do consumo de energia, que ~~estará~~ estão caindo gradativamente, se equilibrem com as taxas de crescimento do PNB, por volta daquele ano.

Por outro lado, tendo, no ano 2000, atingido o estágio de país industrializado, é razoável que as taxas de crescimento do PNB sejam apenas um pouco superiores às taxas de crescimento demográfico. De acordo com o IBGE, a taxa média de crescimento demográfico, que foi de 2,47% ao ano na última década, deverá ser da ordem de 2% ao ano na década de 1990 a 2000, caindo para valores um pouco mais baixos na virada do século. Assim, se a população estiver crescendo, digamos, a 1,65% ao ano ^{1,65%} após o ano 2000, seria um resultado excelente se o PNB crescesse, simultaneamente, a 3% ao ano. Nesse caso, seria mais do que suficiente que o consumo de energia também crescesse a 3% ao a-

J. W. M.

no, sobretudo se considerarmos que, certamente, serão introduzidas inovações que permitirão seu uso mais eficiente. Por conseguinte, após o ano 2000, o consumo de energia, no Brasil, deverá duplicar a cada 23 anos, aproximadamente. (*)

Nos quadros I e II a seguir, sintetizamos os cálculos dos consumos de energia elétrica correspondentes aos dois cenários que seriam atingidos, nos casos das hipóteses moderada e alta.

Os dados sobre consumo de energia elétrica em 1979, que aparecem nos quadros I e II, foram obtidos na ELETROBRÁS. Ao consumo total de 109.800 GWh, correspondeu uma produção de, aproximadamente, 122.000 GWh, dos quais cerca de 7% foram gerados por autoprodutores. A diferença entre os valores de produção e consumo refere-se às perdas ocorridas na transmissão e distribuição que foram, por conseguinte, da ordem de 11% da energia produzida.

Ainda segundo a ELETROBRÁS, dos 122.000 GWh produzidos em 1979, 92% foram em centrais hidroelétricas e apenas 8% em termoelétricas, com a seguinte subdivisão: 4% a óleo combustível, 2% a carvão, 1% a diesel e 1% a bagaço de cana e outras biomassas.

A atual capacidade instalada do parque gerador brasileiro é de 28.386 MW, assim subdivididos:

Hidroelétricas	24.137 MW (85% do total)
Termoelétricas	4.249 MW (15% do total)

Em 1979, - como, de resto, nos anos anteriores - as hidroelétricas tiveram um fator de utilização mais elevado que as termoelétricas; pois, representando 85% da capacidade instalada, produziram 92% da energia elétrica gerada.

Na Alemanha, a estrutura do parque gerador é inversa da brasileira: de uma capacidade total instalada da ordem de 80.000 MW, apenas cerca de 6.400 MW, isto é, 8% do total, correspondem a hidroelétricas, enquanto 73.600 MW, ou 92% da capacidade instalada, são termoelétricas; das quais cerca de 5.820 MW são termoelétricas nucleares efetivamente em operação. Vê-se, portanto, que a Alemanha depende, de maneira vital, da energia ter-

(*) Ver mais detalhe sobre este assunto na 3ª parte "Aspectos Estratégicos"

J. M.

- Q U A D R O I -

HIPÓTESE MODERADA

S E T O R	Consumo de Energia Elétrica - MWh			
	Em 1979 (*)	Crescimento Anual (%) (*)(*)	No ano 2000	
COMERCIAL	12.806.000	5,0	35.677.000	
RURAL E TERCIÁRIO	12.046.377	5,0	33.560.800	
RESIDENCIAL	21.284.000	5,0	59.296.400	
FERROVIÁRIO	515.623	10,8	4.422.200	
I N D U S T R I A L	Aço	8.000.000	4,8	21.412.900
	Não ferrosos	11.296.000	5,8	36.908.200
	Indústria Mecânica	1.088.400	6,0	3.700.000
	Material elétrico e de comunic.	1.316.000	6,0	4.474.000
	Cimento	2.214.000	5,0	6.168.000
	Outros min. n/metálicos	2.433.800	5,0	6.780.000
	Celulose, papel, papelão	2.537.700	8,0	12.774.500
	Indústria química	6.669.100	7,0	27.614.800
	Indústria de mat. transporte	2.665.400	4,0	6.738.300
	Indústria de madeiras	871.800	7,0	3.609.700
	Indústria de mobiliário	311.000	4,0	708.700
	Indústria de borracha	638.600	4,5	1.609.500
	Couros, peles, similares	194.400	5,0	541.600
	Prod. farmacêuticos, veterinários	305.400	4,0	696.000
	Perfumes, sabões e velas	94.400	3,5	194.500
	Produtos de mat. plástica	1.027.300	3,5	2.115.700
	Indústria Têxtil	3.787.100	3,5	7.799.300
	Vestuário e calçados	383.200	3,5	789.200
	Indústria de alimentos	4.347.900	6,0	14.780.900
	Indústria de bebidas	566.400	3,5	1.166.500
	Indústria de fumo	111.100	3,5	206.700
	Indúst. editorial e gráfica	294.300	7,0	1.218.600
	Extração produtos minerais	1.976.800	7,0	8.185.100
	Indústria da construção civil	594.200	7,0	2.460.300
Indúst. de utilidades públicas	100.000	8,0	503.400	
Indústrias diversas	1.704.700	6,0	5.795.200	
Auto-produtores	7.619.000	2,4	12.500.000	
TOTAL INDUSTRIAL	63.148.000	(5,8)	191.452.600	
TOTAL GERAL	109.800.000	(5,3)	324.409.000	

(*) Fonte dos dados de consumo em 1979: ELETROBRÁS

(*)(*) Taxas anuais médias no período.

Obs: Medidas simples de conservação podem reduzir consideravelmente o consumo de energia e elétrica, para os mesmos níveis de produção. Por exemplo, o consumo industrial pode ser reduzido em cerca de 10%, mediante a correção do baixo fator de potência nas fábricas.

J.M.

- Q U A D R O II -

HIPÓTESE ALTA

S E T O R	Consumo de Energia Elétrica - MWh			
	Em 1979 (*)	Crescimento Anual (%) (*)(*)	No ano 2000	
COMERCIAL	12.806.000	6,0	43.534.812	
RURAL E TERCIÁRIO	12.046.377	6,0	40.952.425	
RESIDENCIAL	21.284.000	5,7	68.400.000	
FERROVIÁRIO	515.623	14,6	8.994.000	
I N D U S T R I A L	Aço	8.000.000	6,2	26.670.000
	Não ferrosos	11.296.000	7,0	46.771.792
	Indústria Mecânica	1.088.400	7,0	4.506.588
	Material elétrico e de comunic.	1.316.000	7,0	5.448.980
	Cimento	2.214.000	6,5	8.308.438
	Outros min. n/metálicos	2.433.800	6,4	8.954.865
	Celulose, papel, papelão	2.537.700	10,6	21.052.223
	Indústria química	6.669.100	8,0	33.571.141
	Indústria de mat. transporte	2.665.400	5,0	7.425.704
	Indústria de madeiras	871.800	8,0	4.388.496
	Indústria de mobiliário	311.000	5,0	866.434
	Indústria de borracha	638.600	5,5	1.965.760
	Couros, peles, similares	194.400	6,0	660.875
	Prod. farmacêuticos, veterinários	305.400	5,0	850.832
	Perfumes, sabões e velas	94.400	4,5	237.910
	Produtos de mat. plástica	1.027.300	4,2	2.437.358
	Indústria Textil	3.787.100	4,5	9.544.405
	Vestuário e calçados	383.200	4,5	965.756
	Indústria de alimentos	4.347.900	7,3	19.092.979
	Indústria de bebidas	566.400	4,5	1.427.464
	Indústria de fumo	111.100	3,5	228.802
	Indust. editorial e gráfica	294.300	7,6	1.370.401
	Extração produtos minerais	1.976.800	8,0	9.950.882
	Indústria da construção civil	594.200	8,0	2.991.104
	Indúst. de utilidades públicas	100.000	9,0	610.880
	Indústrias diversas	1.704.700	7,0	7.058.416
	Auto-produtores	7.619.000	3,3	15.000.000
	TOTAL INDUSTRIAL	63.148.000	(6,6)	242.358.485
TOTAL GERAL	109.800.000	(6,4)	404.239.722	

(*) Fonte dos dados de consumo em 1979: ELETROBRÁS

(*)(*) Taxas anuais médias no período.

Obs: Medidas simples de conservação podem reduzir consideravelmente o consumo de energia elétrica, para os mesmos níveis de produção. Por exemplo, o consumo industrial pode ser reduzido em cerca de 10%, mediante a correção do baixo fator de potência nas fábricas.

7.00

moelétrica. Nesse país, as expansões do parque gerador deverão, obrigatoriamente, basear-se na energia nuclear, uma vez que o potencial hidroelétrico aproveitável já está todo instalado e as expansões baseadas na geração a carvão são muito problemáticas, devido a restrições de caráter ecológico e dificuldades sociais nas regiões de mineração.

No tocante à oferta de energia primária para a geração de energia elétrica, as possibilidades brasileiras são as seguintes:

- a) O potencial hidráulico brasileiro, que ainda não está totalmente inventariado, é da ordem de 213.000 MW, que poderão produzir 1.194.900 GWh por ano, em condições hidrológicas médias, ou 933.000 GWh por ano em condições hidrológicas críticas, semelhantes às verificadas nas épocas de máximas secas ocorridas no período histórico de observação.

O potencial até agora inventariado é bastante conservador, uma vez que nele não estão considerados os rios da área sedimentar da bacia amazônica - como o próprio curso principal do Rio Amazonas - nem os aproveitamentos de pequeno porte, inferiores a 10 MW, que hoje já são economicamente competitivos. Também não está incluído o potencial das usinas reversíveis que poderão ser construídas na Serra do Mar, e que trarão uma substancial contribuição para atender às necessidades de ponta da região centro-sul, particularmente nas áreas densamente industrializadas da Grande São Paulo e do Vale do Paraíba.

Do potencial de 213.000 MW, apenas cerca de 6.5% correspondem à margem esquerda do Rio Amazonas, enquanto 39,5% situam-se na Região Norte Centro-Oeste, 7,3% na Região Nordeste, 26,3% na Região Sudeste-Centro Oeste e 20,4% na Região Sul.

Vê-se, portanto, que o potencial hidroelétrico brasileiro é distribuído de maneira razoavelmente uniforme por todo o território nacional, fato que pode ser utilizado como

W.C.

um importante instrumento de execução de uma política de desenvolvimento econômico destinada a corrigir a atual distorção representada pelo intenso deslocamento de populações nordestinas de origem rural, para os centros urbanos da Região Centro-Sul, em busca de melhores oportunidades de emprego. Com efeito, a partir do momento em que os aproveitamentos hidroelétricos da Amazônia começarem a oferecer energia abundante e barata, é inegável que estaremos diante do mais eficaz incentivo para atrair para aquela região grande parte dos investimentos em indústrias de transformação - metal-mecânicas, químicas, etc. - que utilizem matérias primas oriundas dos grandes projetos de mineração, como Carajás.

Criar-se-á, por essa via, um polo de equilíbrio para o desenvolvimento industrial brasileiro, que não apenas neutralizará o grave problema da crescente concentração urbana na Região Centro-Sul, que tantos males de natureza política e social tem causado à nação; mas também aliviará as necessidades de transmissão de energia elétrica a longas distâncias.

- b) Atualmente, a energia elétrica gerada nas termoelétricas a carvão no sul do país tem um custo variando na faixa de 30 a 40 milésimos de dólar por quilowatt x hora gerado. Nessas condições, essa energia é competitiva com a energia a ser gerada nas nucleoeletricas em construção no Brasil, que custará acima de 50 milésimos de dólar por KWh. As reservas existentes nas jazidas de Candiota e Iruí, que somam cerca de 10 bilhões de toneladas, permitirão a instalação de 25.000 MW, numa base de 30 anos de operação, admitindo-se, numa estimativa conservadora, que apenas 40% das mencionadas reservas serão utilizadas para a geração termoelétrica.

W.C.

c) As reservas brasileiras de óxido de urânio até agora estimadas, são de, aproximadamente, 276.000 toneladas, das quais uma parte está razoavelmente assegurada. As perspectivas dos programas de prospecção são muito favoráveis, tudo levando a crer que a totalidade das reservas estimadas será efetivamente comprovada. As reservas de óxido de tório são estimadas em 1.270.000 toneladas.

Em termos de potencial energético, as 276.000 toneladas de óxido de urânio serão suficientes para alimentar 32 reatores a água leve, tipo PWR, de 1.245 MW cada um, durante sua vida útil, ou seja: nossas reservas de urânio permitirão a instalação de, aproximadamente, 40.000 MW eletr nucleares, numa base de 30 anos de operação.

A mais longo prazo, com o desenvolvimento industrial dos reatores regeneradores, as reservas de urânio e tório seriam suficientes para suprir nossas necessidades de energia elétrica por muitos séculos. (*)

d) Além do potencial hidroelétrico de 213.000 MW, que é permanentemente renovável; e do potencial termoelétrico a carvão e urânio, que soma 65.000 MW, instaláveis a médio prazo e que, segundo as estimativas atuais, terá sua duração limitada a 30 anos - o Brasil dispõe de um grande manancial de energia renovável, que pode ser desenvolvido como fonte de energia primária para a geração termoelétrica; para atender a pequenas cargas, ao nível de fazendas e agroindústrias. Trata-se da biomassa, sob diversas formas - bagaço de cana, álcool, lenha e gases de pirólise e, ainda o biogás. Particularmente o biogás poderá desempenhar um importante papel na energização das zonas rurais, seja como fonte de energia térmica direta para processos de aquecimento e secagem, seja como combustível para pequenos grupos geradores de energia elétrica.

(*) Ver 3^a parte: "Aspectos estratégicos"

D. M.

e) A radiação solar direta é outra possível fonte de energia primária para a geração de eletricidade, seja através de caldeiras solares com concentradores de radiações, que produzem vapor para acionar pequenos grupos turbo-geradores, constituindo os chamados sistemas de geração termosolar; seja através de células fotovoltaicas, constituindo os sistemas de geração fotovoltaicos.

f) Finalmente, não se deve deixar de lado as possibilidades da geração eólica, para fins específicos, tais como a irrigação, em que se pode aproveitar suprimentos intermitentes de energia.

Concluindo estas considerações sobre o Acordo, no contexto do desenvolvimento brasileiro, podemos dizer que os números apresentados falam por si sô, no tocante à aferição da prioridade de que deve ser atribuída à implantação do restante do Acordo ou, mais precisamente, das quatro centrais nucleoeletricas, que faltam para completar as oito que compõem o programa; uma vez que, das quatro primeiras, duas já foram contratadas e estão em construção e outras duas estão em fase adiantada de negociações, já tendo sido, inclusive, avançada a encomenda de alguns componentes o que, aparentemente, coloca-nos diante de um fato consumado.

Façamos algumas reflexões sobre os números apresentados: segundo nossa hipótese alta, o consumo de energia elétrica no ano 2000 será de 404.240 GWh. Admitindo que as perdas na transmissão e distribuição sejam da ordem de 12% - pois supozemos que parte da energia será transmitida a longas distâncias, em linhas de transmissão de corrente contínua e voltagem elevada - a produção total de energia elétrica naquele ano deverá ser da ordem de 452.748 GWh.

Ora, como vimos anteriormente, o potencial hidroelétrico conhecido até agora permitirá a geração de 933.000 GWh por ano, ou seja, mais do dobro do que será necessário gerar no ano 2000.

W.C.

Quanto à capacidade a ser instalada para atender aos requisitos de energia firme e de ponta, será a seguinte, admitindo-se reservas de 8% para manutenção e 8% para operação:

Requisito de energia 60.000MW
Requisito de ponta 100.000MW

Como vimos anteriormente, o potencial hidráulico brasileiro conhecido, permitirá a instalação de 213.000 MW, adotando-se um fator de capacidade de 0,5 para o sistema hidroelétrico. Por conseguinte, mesmo em nossa hipótese alta, o potencial hidroelétrico disponível é amplamente suficiente para atender aos requisitos de energia firme e de potência de ponta, para fazer face à demanda no ano 2000. Na realidade, o potencial disponível é superior ao dobro do necessário. Adotando-se a hipótese que justificamos anteriormente, de que por volta do ano 2000, com o parque industrial já completamente integrado, a elasticidade $\Delta E_e / \Delta PNB$ se aproxime da unidade^(*) como nos países industrializados e - também como nesses países - que a taxa de crescimento do PNB seja pouco maior que a taxa de crescimento demográfico, seria lícito esperar que o consumo de energia elétrica, nas primeiras décadas do ano 2000, esteja crescendo com uma taxa média da ordem de 3% ao ano, uma vez que a taxa média de crescimento demográfico já será inferior a 2% ao ano.

Nessas condições, o consumo de energia, a partir do ano 2000 levará cerca de 23 anos para dobrar, de onde se conclue que, a rigor, o potencial hidroelétrico conhecido é suficiente para atender à demanda até o ano 2023 ou seja: nas próximas quatro décadas o Brasil terá seu suprimento de energia elétrica praticamente assegurado somente com os recursos hidroelétricos.

Mesmo que adotemos uma hipótese de crescimento ainda mais elevada, a partir do ano 2000 - 5% ao ano, por exemplo - ainda assim o potencial hidroelétrico será suficiente para atender à demanda até o ano 2014, o que nos deixa praticamente três décadas e meia para desenvolvermos, com método e esforço próprios, uma alternativa adequada para somar-se à geração hidroelétrica.

(*) Ver, também, a 3ª Parte " Aspectos estratégicos".

trica. Essa alternativa poderia ser, mesmo, a geração nuclear a fissão; porém não com reatores a água leve, como os PWR^(*) que constituem o objeto do Acordo Nuclear pois, com estes, como vimos, a geração nuclear no Brasil estaria limitada a uma capacidade instalada da ordem de 40.000 MW, com horizonte de duração de 30 anos. É necessário, por conseguinte, desenvolver no Brasil - por enquanto, insistimos nesse ponto, apenas ao nível de projeto piloto a ser realizado nas instituições de pesquisa competentes - a tecnologia dos reatores regeneradores a neutrons rápidos, que possibilitariam muito melhor aproveitamento das reservas de material físsil. As instituições de pesquisa que, em nosso entender, poderiam conduzir com sucesso um projeto dessa natureza estão mencionadas mais adiante, no tópico "considerações sobre transferência e criação de tecnologia".

A partir do ano 2000, já com uma base de tecnologia desenvolvida com esforço próprio, iniciariamos um programa em escala industrial, de modo a chegarmos à segunda década o próximo século capacitados, tecnológica e industrialmente, para projetar e fabricar no Brasil os reatores a fissão necessários para a complementação da geração hidroelétrica.

É de se assinalar, por outro lado, que os recursos carboníferos nos permitirão instalar 25.000 MW termoelétricos, o que nos proporciona - de um lado, uma reserva térmica para atender, inclusive, a crescimentos inesperados da demanda - e de outro lado, um campo excelente para o desenvolvimento tecnológico, comercial e econômico dos estabelecimentos industriais que, futuramente, serão qualificados para fornecer componentes para centrais nucleares.

Não nos devemos deixar impressionar por previsões apressadas do consumo de energia elétrica nas próximas décadas.

Algumas dessas previsões são estimuladas por representantes de interesses de fabricantes de equipamentos e sistemas de geração de energia elétrica, que desejam ampliar a curto prazo o mercado para suas vendas, particularmente depois que esse mercado, em virtude de razões diversas, ficou restringido em

(*) Ver mais detalhes na 3ª parte "Aspectos estratégicos".

200

seus países de origem.

Já vimos, por exemplo, projeções que afirmam, que no ano 2010 o Brasil estará consumindo cerca de 1.400.000 GWh por ano; e outras que, candidamente, adotam a hipótese de que, a partir do ano 2000, o consumo de energia elétrica continuará crescendo a taxas muito elevadas, por que - entre outras razões - "sômente 7% das ferrovias brasileiras são eletrificadas e que a eletrificação progressiva das demais implicará na necessidade de aumentos sucessivos na capacidade de geração de energia elétrica..." (sic)

É evidente que a eletrificação das ferrovias aumentará o consumo de energia elétrica, mas não nas proporções imaginadas por alguns planejadores. Para eliminar dúvidas a respeito, tratamos o setor ferroviário separadamente em nossas hipóteses moderada e alta. É fácil constatar que mesmo admitindo taxas exageradamente elevadas para o crescimento do transporte ferroviário eletrificado, o reflexo final na estrutura de consumo não será tão relevante a ponto de implicar elevadas taxas de crescimento do consumo global.

Um outro argumento, arrolado por determinados previsores de elevadas taxas de crescimento do consumo de energia elétrica a partir do ano 2000, é que "o aumento da população brasileira e do seu padrão de vida provocarão certamente um aumento da taxa de crescimento do consumo de energia elétrica na 'classe' residencial, que hoje representa sômente 20% do consumo total do país..." (sic). Simultaneamente, os mesmos argumentadores afirmam que "o consumo industrial de energia, que, em 1979, foi de 60% do total produzido, deverá aumentar substancialmente nos próximos anos..."

Os dois argumentos acima citados foram publicados num artigo de dois funcionários da Superintendência de Planejamento - SUPLA, da NUCLEBRÁS, o Tenente-Coronel, Engenheiro Industrial de Armamento e Nuclear S.C. Valadão e o Capitão de Mar e Guerra, Engenheiro Mecânico e Nuclear E. Montandon.

J. M.

O artigo foi publicado na revista mencionada na referência [3] .

Perguntamo-nos, como podem os citados técnicos desejar que a participação percentual do setor residencial no consumo ultrapasse os 20% e, ao mesmo tempo, a do setor industrial, ultrapasse os 60%? Onde ficariam os setores comercial, rural e terciário?

Por estarmos convencidos que os dois funcionários produzem esses argumentos em boa fé e movidos de espírito patriótico, permitimo-nos lembrá-los de que na estrutura de consumo de países altamente industrializados, como os Estados Unidos, a Alemanha, a França, etc., as participações percentuais dos diversos setores da economia no consumo de energia elétrica são, em média, aproximadamente as seguintes:

Industrial	55 %
Residencial	20 %
Comercial e Terciário	25 %

Tudo leva a crer que a estrutura de consumo do Brasil - que, com as taxas de crescimento adotadas em nossa hipótese alta, também será um país altamente industrializado no ano 2000 - não se torne muito diferente da que se apresenta nos países mencionados, a não ser por peculiaridades locais, como por exemplo o fato de que, em clima tropical, gasta-se menos energia no setor residencial, uma vez que a calefação - em parte eletrificada - é vital nos climas frios, enquanto, em nosso clima, a refrigeração artificial é dispensável na maioria das residências. Ademais, nosso clima permite a refrigeração natural, através de uma arquitetura adequada.

Finalmente, desejamos reafirmar nossa convicção de que o crescimento desordenado da demanda de energia não pode mais ser aceito pelos responsáveis pelo planejamento nacional como um parâmetro imutável, ou tendência inelutável, que deva ser aceita passivamente, e atendida a qualquer preço e a qualquer custo. Ao contrário, deve-se compreender que o consumo

J.M.

de energia é uma variável do processo de desenvolvimento, sobre a qual o planejador pode e deve atuar, de modo a compatibilizar o crescimento da demanda, ao potencial de oferta, de maneira natural, sem impor grandes sacrifícios à comunidade.

De resto, pode-se demonstrar, fãcilmente, que não são razoáveis as hipóteses de que o crescimento do consumo se mantenha em torno dos 7% ao ano, continuamente, depois de 1990. Com efeito, admitamos, por absurdo, que o consumo, tendo chegado a 300.000 GWh em 1990, continue crescendo a partir daí, até o ano 2020, com uma taxa de 7% ao ano. Teríamos, então, consumos de 631.000 GWh no ano 2000; 1.328.000 GWh no ano 2010 e 2.613.000 GWh no ano 2020. Isto exigiria, capacidades instaladas de 156.000 MW, no ano 2000; 328.000 MW, no ano 2010 e 650.000 MW no ano 2020.

Ora, considerando que o potencial hidroelétrico conhecido é de 213.000 MW; o do carvão de 25.000 MW e o nuclear com reatores PWR de 40.000 MW; os dois últimos numa base de operação de 30 anos - e considerando ainda que não seria realista prever a utilização em larga escala dos ciclos regenerativos do urânio e do tório até aqueles anos; seja por insuficiência de tempo para acumulação de estoques de plutônio e de urânio-233, seja por escassez de recursos financeiros para um programa de tal envergadura; chegamos à conclusão de que as referidas hipóteses são absurdas, pois não será viável a oferta de energia elétrica para atender a consumos tão elevados.

Por conseguinte, o planejamento do setor elétrico deve se basear em hipóteses mais realistas, compatíveis com nossa dotação de fatores de produção e com os recursos para investimentos. (*)

Em nosso entender, além dos programas de geração de energias comerciais, merecem especial prioridade os programas destinados a evitar os desperdícios de energia, que, por si só, representariam um considerável prolongamento dos horizontes de duração das fontes de energia hoje disponíveis.

(*) Ver, também, 3ª Parte: "Aspectos estratégicos".

Alta prioridade merecem, também, os programas voltados para a introdução de determinadas formas de energia, para as quais existe no Brasil tecnologia já desenvolvida, além da necessária capacidade industrial.

Referimo-nos à utilização da radiação solar direta em coletores planos, para o aquecimento de água para usos residenciais e industriais e à utilização de determinados combustíveis de biomassa como, por exemplo, o biogás, que, além de poder ser empregado como fonte de energia térmica direta, em fazendas e agroindústrias, pode também ser usado como combustível para pequenos grupos geradores de eletricidade.

Programas dessa natureza, que são perfeitamente acessíveis à capacidade de realização do empresariado nacional, contribuiriam de maneira significativa para o desenvolvimento econômico e elevação da qualidade de vida no interior do Brasil, sem exercer pressões sobre o consumo de energias comerciais, como a eletricidade de origem hidráulica e térmica, cuja oferta exige pesados investimentos, que podem sacrificar demasiadamente as próximas gerações de brasileiros.

Por todas essas razões, com base nos números apresentados sobre as previsões da demanda de energia elétrica nas próximas décadas e sobre os potenciais hidroelétrico e termoelétrico, somos de opinião que a implantação das restantes usinas nucleoeletricas, previstas nos documentos comerciais de implantação do Acordo Nuclear, pode ser consideravelmente postergada. No tópico seguinte, "aspectos políticos do Acordo Nuclear", procuramos analisar as linhas em que uma postergação poderia ser realizada - sem ferir compromissos assumidos entre os Governos - de modo a, de um lado, maximizar os benefícios que o Acordo ainda pode oferecer no tocante à transferência de tecnologia e, de outro lado, obter para o Brasil condições comerciais mais satisfatórias, tais como melhores preços para componentes e assistência técnica, por exemplo.

D. C. M.

Implicações políticas do Acordo Nuclear

O Acordo Nuclear Brasil - Alemanha é executado, pelo lado Brasileiro, por uma empresa estatal formalmente vinculada ao Ministério de Minas e Energia - a NUCLEBRÁS - que tem amplo acesso aos mais elevados escalões decisórios do Governo Brasileiro. Pelo lado alemão, o Acordo é executado por uma empresa privada, a Kraftwerk Union - KWU, subsidiária da Siemens.

A NUCLEBRÁS, como sabemos, é a "holding" de um grupo de subsidiárias, as mais importantes das quais são controladas tecnicamente pela KWU. Esse controle técnico é exercido por Diretores alemães, pertencentes aos quadros da própria KWU, ou de empresas a ela direta ou indiretamente ligadas por interesses comuns, tais como a Steag, a Voest, etc. Os Diretores Técnicos alemães contam, ademais, com bem elaborados Acordos de Acionistas, de tal modo que seu controle técnico é, "de facto", um controle muito abrangente.

É natural que todo o esforço dos Diretores Técnicos ligados à KWU destine-se muito mais a dinamizar as vendas da indústria nuclear alemã, do que a resolver os problemas brasileiros no campo da energia, ou a transferir tecnologia para o nosso país. Negar isso, seria negar as mais elementares e tradicionais regras do comércio internacional e da competição entre empresas industriais.

Na verdade, os Diretores Técnicos das subsidiárias da NUCLEBRÁS, em virtude de sua maior experiência, influenciam maciçamente o pensamento de toda a organização, a ponto de fazerem permear suas idéias até a direção da "holding". Esta influência chega a ponto de se refletir sobre o planejamento do setor energético brasileiro - em particular sobre a previsão da demanda de energia elétrica e sobre os usos futuros dessa forma de energia pela indústria de nosso país - de maneira a ampliar ao máximo o mercado brasileiro para os equipamentos e serviços da indústria nuclear alemã.

Sendo a KWU uma empresa privada que, muito justamen-

W.C.

te , visa maximizar seu lucro mediante a venda de serviços e produtos, é compreensível que sua influência sobre o planejamento do setor elétrico brasileiro - indiretamente exercido através de sua associada brasileira, a NUCLEBRÁS - provoque graves distorções. Com efeito, a tendência do grupo NUCLEBRÁS, KWU e subsidiárias, é fazer com que o objetivo visado pelos investimentos do setor elétrico, que deveria ser a geração econômica de energia elétrica; passe a ser a construção, a qualquer custo, de centrais nucleares, ficando os custos da energia para segundo plano.

Depreende-se, pois, que a forte influência exercida pela KWU através da NUCLEBRÁS, na formulação da política energética nacional - e, indiretamente, das políticas industrial e de desenvolvimento científico e tecnológico - tende a desviar dos interesses nacionais os objetivos dessas políticas, para ajustá-los aos programas de vendas da indústria nuclear alemã.

Estas considerações nos levam a sugerir que o Congresso Nacional - através das comissões especializadas do Senado Federal, reanalise todos os documentos assinados entre os Governos brasileiro e alemão, e entre a NUCLEBRÁS e empresas privadas alemãs, para separar os compromissos de natureza oficial, estabelecidos entre as nações, daqueles de natureza comercial, resultantes da implementação de uma sofisticada política de vendas de empresas alemãs, que não coincide, necessariamente, com os interesses e prioridades da nação brasileira.

Em nosso entender, o chamado Acordo Nuclear, que se intitula, precisamente, "Acordo entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo da República Federal da Alemanha sobre a cooperação no campo dos usos pacíficos da energia nuclear" estabelece, apenas, uma intenção dos dois Governos de fomentarem a cooperação entre instituições de pesquisa científica e tecnológica e empresas dos dois países, abrangendo as diversas fases do ciclo do combustível nuclear

D. M.

e a produção de reatores e seus componentes. É isto que está disposto no artigo I do referido Acordo.

Ora, para fomentar a cooperação, os Governos não podem forçar a sociedade brasileira a arcar com os onus de um programa comercial basicamente apoiado na política de exportação de um grupo privado, principalmente depois que se constatou que o potencial hidroelétrico brasileiro é mais do dobro do que se imaginava, quando se concebeu o "pacote" a ser exportado.

Para reanalisar os documentos referentes ao Acordo Nuclear e seus instrumentos de implementação, sugerimos que as Comissões Técnicas do Senado solicitem, caso necessário, a assistência especializada de instituições como a SBPC e o Instituto e Clube de Engenharia de São Paulo e do Rio de Janeiro, no tocante às questões técnico-econômicas; e do Instituto dos Advogados Brasileiros e da Ordem dos Advogados do Brasil, no que diz respeito aos aspectos jurídicos e de direito internacional.

Depois de completada essa análise, seria perfeitamente admissível que o Congresso Nacional recomendasse ao Poder Executivo uma reformulação do Acordo Nuclear, nos termos de seu Artigo VII, para ajustá-lo aos reais interesses da nação brasileira, face à atual conjuntura e suas perspectivas de evolução. Para isso, aliás, o próprio Acordo Nuclear prevê um instrumento apropriado, nas disposições de seu Artigo VII, estabelecendo que "a pedido de uma das Partes Contratantes, estas entrarão em consultas sobre a implementação do Acordo e, quando for o caso, em negociações para sua revisão".

Naturalmente, o fato novo representado pela revelação da ELETROBRÁS, de que o potencial hidroelétrico brasileiro economicamente aproveitável é muito superior ao que se admitia, quando o Acordo foi planejado - além das notórias dificuldades que o Brasil está enfrentando em decorrência de sua crescente dívida externa, são razões suficientes para que o Governo brasileiro proponha ao Governo alemão uma com-

2. CM

pleta revisão do Acordo.

A este propósito, é relevante assinalar que o Acordo prôpriamente dito não estabelece nenhuma obrigatoriedade, por parte do Brasil, de construir centrais nucleares. Um esboço dessa obrigatoriedade, assim mesmo impreciso, está traçado no "Instrumento dos Governos do Brasil e da República Federal da Alemanha, relativo à implementação da cooperação sobre os usos pacíficos da energia nuclear", assinado em Bonn, na mesma data em que foi celebrado o Acordo Nuclear, isto é, 27 de junho de 1975.

Contudo, este documento, publicamente conhecido como "Acordo Industrial", aprova as diretrizes para as negociações dos contratos comerciais, mas não nos obriga, efetivamente, a obedecer um cronograma para a construção de centrais nucleares para a geração de energia elétrica. De resto, se isso tivesse sido feito, o Governo brasileiro teria abdicado completamente de sua soberania, em relação ao planejamento do setor elétrico e às correções que se fizessem necessárias nesse planejamento. Entretanto, uma das diretrizes para negociação dos contratos comerciais, estabelece que, no quadro do Acordo, poderão ser construídas 8 centrais nucleares; porém com um detalhe muito importante, negociado e aprovado na fase comercial, com a KWU, que é o seguinte: para as quatro primeiras centrais do programa, os componentes das centrais serão adquiridas à KWU, que se obriga a fornecê-los a preços compatíveis com o mercado internacional; para as quatro centrais restantes, serão abertas concorrências internacionais, para as quais serão convidados fornecedores de centrais nucleares que poderão, inclusive, propor inovações face à evolução tecnológica da indústria nuclear no mundo todo.

Considerando, de um lado, que os reatores térmicos, particularmente os reatores a água leve, têm seus dias contados, face às limitações das reservas mundiais de materiais físséis, e, de outro lado, que o Brasil - em virtude

W.C.

de seu enorme potencial hidroelétrico e das possibilidades de complementação térmica a carvão - certamente não necessitará, nas próximas décadas, de reatores a água leve (como os PWR da KWU), para a geração de energia elétrica; considerando, finalmente, que a construção de quatro centrais é mais do que suficiente para preparar recursos humanos até certo nível de qualificação; mas reconhecendo que os reatores de Angra II e III já constituem fato consumado e que as negociações para a construção de mais dois reatores PWR - o terceiro e o quarto previstos nos entendimentos comerciais com a KWU - já estão muito avançadas; somos de opinião que se deve adotar, para a implementação da segunda metade do Acordo Nuclear, a orientação de se abrirem, para a construção de cada um dos quatro reatores restantes, concorrências internacionais que, pelo menos, nos garantam para esses reatores preços realmente competitivos e nos assegurem um acesso mais efetivo a aspectos essenciais do projeto básico dos sistemas nucleares de geração de vapor.

Visando o máximo proveito para o Brasil, essas concorrências poderiam ser organizadas segundo um modelo inspirado no modelo argentino. Em nosso modelo, cada concorrência seria subdividida em três partes:

Na primeira parte, as empresas nacionais qualificadas seriam convidadas a apresentarem - consorciadas ou não - propostas para o fornecimento dos componentes do BOP e sua montagem. Para isso, essas empresas poderão celebrar contratos de assistência técnica com fornecedores estrangeiros.

Na segunda parte da concorrência, seriam convidados fornecedores brasileiros e estrangeiros, consorciados ou não, a apresentarem propostas para a fabricação e montagem do grupo turbo-gerador, com a condicionante de que a NUCLEN tenha acesso aos detalhes do projeto básico e participe da supervisão da montagem.

Finalmente, na terceira parte da concorrência, seriam convidados os fornecedores de sistemas nucleares de gera-

ção de vapor, que deveriam apresentar propostas prevendo a participação da NUCLEN na elaboração do projeto básico e seu detalhamento, e da NUCLEP na fabricação dos componentes pesados. Para os sistemas nucleares de geração de vapor, os concorrentes poderiam apresentar propostas alternativas: além do sistema com reator PWR, o fornecedor poderia apresentar uma proposta de sistema com reator a urânio natural e água pesada a fim de que o Brasil possa ir se assenhorando da tecnologia relativa a esses reatores, que nos permitiriam tirar melhor proveito de nossas reservas de urânio e tório, com vistas à formação de estoques de plutônio e urânio-233, para alimentar os ciclos regenerativos,^(*) que poderão constituir uma solução a longo prazo para o problema da geração elétrica, depois do ano 2020.

Considerações sobre transferência e criação de tecnologia

Como sabemos, os países que hoje estão na vanguarda da tecnologia e da indústria nuclear, desenvolveram-se nesse campo mediante um esforço de adaptação coordenado e concentrado nas instituições de pesquisa e empresas industriais dos setores metal-mecânico e de bens sob encomenda, que há mais de meio século já vinham acumulando experiência na construção das centrais termoelétricas a carvão e a óleo, nas quais - à exceção do sistema de geração de vapor - os demais sistemas são muito semelhantes aos de uma central nuclear.

No caso específico da Alemanha, a tecnologia e a indústria nuclear se desenvolveram rápida e sólidamente em virtude de circunstâncias completamente diferentes daquelas que cercam o Acordo Nuclear com o Brasil.

Sendo, na Alemanha, praticamente toda a energia elétrica gerada em centrais termoelétricas a carvão e a óleo, a antevisão da crise de combustíveis fósseis e os problemas sociais e ecológicos associados a mineração do carvão obrigaram o Governo e as empresas industriais alemãs a concentrarem o máximo de esforços coordenados na busca de alternativas para substituir o carvão e o petróleo na geração de eletricidade, uma

(*) Ver mais detalhes na 3ª parte.

Handwritten signature

vez que o potencial hidroelétrico alemão, que é muito pequeno já estava todo aproveitado. Portanto, a decisão de iniciar um programa nuclear de grande porte foi vital para a sobrevivência de economia alemã, pois simplesmente não existia outra alternativa de suprimento de energia elétrica.

Por outro lado, havia na Alemanha uma sólida base industrial apta a absorver a tecnologia dos reatores a água leve, desenvolvida nos Estados Unidos. Empresas alemãs como a Siemens - da qual nasceu a KWU - a AEG, a Brown Boveri (Mannheim), a Babcock alemã, a KSB, a Balke-Dürr, etc., tinham mais de setenta anos de experiência em projeto e construção de sistemas, componentes e centrais termoelétricas completas, a carvão e a óleo; de modo que a passagem para as centrais termonucleares a água leve - nas quais os componentes dos sistemas água-vapor e do grupo turbogerador são praticamente iguais aos das termoelétricas a carvão e a óleo - constituiu-se num salto relativamente pequeno. Além disso, o Governo mobilizou as principais e mais experientes instituições de pesquisa industrial do país, no esforço de absorção e criação de tecnologia para a indústria nuclear, esforço desenvolvido em íntima cooperação com empresas industriais como as citadas, todas detentoras de larga experiência em centrais térmicas convencionais e possuidoras de bem organizados e poderosos departamentos de pesquisa/desenvolvimento e "engineering".

No Brasil, a situação é inteiramente diversa. Em primeiro lugar, por que a energia nucleoe elétrica ainda não é vital para a sobrevivência da economia brasileira, uma vez que, até a gora, instalamos hidroelétricas aproveitando só cerca de 12% do potencial hidroelétrico disponível, e o programa de construção em andamento prevê o aproveitamento, no correr da presente década, de apenas outros 16%.

Em segundo lugar, porque a estrutura dos estabelecimentos industriais brasileiros é totalmente diferente da dos alemães. São raríssimas as empresas nacionais que dispõem de departamentos de pesquisa/desenvolvimento e "engineering" sufici-

J. W.

entamente equipados, em termos materiais e humanos, para absorver e adaptar tecnologia específica de projeto e produção de componentes para centrais nucleares.

Em terceiro lugar, porque ainda não temos experiência em projeto e construção de termoelétricas a carvão. Isto significa que, se dermos a devida prioridade ao programa de geração a carvão, estaremos, automaticamente, preparando - em termos técnicos e também comerciais e econômicos - os estabelecimentos industriais brasileiros para uma participação efetiva num programa de geração nuclear - de porte compatível com as necessidades de energia elétrica do país - que deverá ser implantado depois da virada do século.

Desse programa de geração a carvão - e, oportunamente, do programa nuclear - deverão participar ativamente algumas instituições brasileiras de pesquisa e assistência técnica à indústria, notoriamente experientes e de larga tradição na solução de problemas concretos em campos tais como a metalurgia, a tecnologia de soldagem, a construção mecânica, os processos térmicos, etc. Dentre essas instituições, merecem destaque o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Instituto de Pesquisas Energéticas (IPEN), de São Paulo; a Universidade Estadual (UNI CAMP) e a Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC), de Campinas; o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), a Universidade de São Carlos (USC), o Instituto Militar de Engenharia (IME), etc.

Essas instituições são muito bem equipadas materialmente e contam com equipes de técnicos, especialistas e pesquisadores de elevada qualificação profissional e reconhecida experiência em problemas industriais.

Sua participação num programa termoelétrico brasileiro - convencional e nuclear - seria uma estratégia adequada para se fazer face à referida característica estrutural dos estabelecimentos industriais brasileiros que, em geral, se dedicam apenas à fabricação com assistência técnica externa, geralmente não possuindo departamentos de pesquisa/desenvolvimento e "engineering" organizados e equipados para absorver, adaptar e recri-

W.C.

ar tecnologia apropriada às condições brasileiras.

Desejamos salientar que o Brasil já se encontra em estágio de desenvolvimento industrial em que o máximo de esforços deve ser concentrado na criação local de tecnologia brasileira. Como é do conhecimento daqueles que tem experiência no setor industrial, a chamada "transferência de tecnologia" de empresas de países industrializados para empresas de países em desenvolvimento é, na realidade, uma venda de serviços, na qual o vendedor dificulta a efetiva transferência de conhecimentos sobre a tecnologia básica do projeto, cálculos de processo, seleção de materiais e dimensionamento, para vender apenas o "know how" de fabricação, além de serviços de assistência técnica para produção e inspeção; tudo isso a preços elevadíssimos.

No quadro do Acordo Nuclear, a situação não é diferente, embora, nas aparências, haja uma ênfase na transferência de tecnologia. Ocorre que a transferência de tecnologia pressupõe a existência - do lado do país que deve absorvê-la - de uma estrutura tecnológica e industrial experiente, e de capacidade já desenvolvida na criação de tecnologia destinada a atender a necessidades da indústria local, como era o caso da Alemanha, quando esse país iniciou seu programa nuclear.

Em nosso entender, para que o Brasil possa desenvolver um programa nuclear que realmente consulte aos interesses nacionais, é necessário começar lenta e gradativamente, com a participação integrada de estabelecimentos industriais qualificados e instituições de pesquisa/desenvolvimento e assistência técnica à Indústria, como as acima citadas. Simultaneamente, deve-se intensificar o ritmo do programa de geração termoelétrica a carvão, a fim de que os estabelecimentos industriais tenham um mercado para se desenvolverem técnica, comercial e economicamente.

D. M.

2ª Parte: A ECONOMICIDADE INTRÍNSECA DO ACORDO NUCLEAR

A experiência tem demonstrado que os custos de investimento em centrais hidroelétricas no Brasil vão de valores muito baixos, da ordem de 360 dólares por quilowatt instalado, como se constatou no aproveitamento de Itumbiara; a cerca de 1000 dólares por quilowatt instalado, no caso de Itaipu.

Dentro dessa faixa deverão situar-se em média, por exemplo, os custos das hidroelétricas amazônicas.

Os técnicos do setor elétrico estimam que o custo médio dos aproveitamentos hidroelétricos ainda por serem implantados no Brasil, situar-se-á bem acima do de Itumbiara - que foi beneficiado pelas condições financeiras muito favoráveis vigentes na época de sua realização - porém abaixo do de Itaipu, que é um projeto atípico, onerado por várias circunstâncias, particularmente pelo fato de ser administrado por uma empresa binacional.

O custo médio mais provável, segundo os especialistas mais abalizados, será da ordem de 800 dólares por quilowatt instalado, a preços de 1980, incluindo-se nesse valor todas as despesas financeiras; muito embora o Ministério de Minas e Energia tenha decidido adotar, como valor de referência, um custo hipotético de 1.200 dólares por quilowatt instalado nas hidroelétricas a serem construídas no futuro.

Partindo desses custos de investimento, calcula-se facilmente, que a energia a ser produzida nas hidroelétricas brasileiras custará de 17 milésimos de dólar por quilowatt x hora gerado - se admitirmos que o custo de investimento ficará nos 800 dólares por quilowatt instalado - a cerca de 25 milésimos de dólar por quilowatt x hora gerado, se adotarmos para o custo de investimento o valor de referência de 1200 dólares por quilowatt instalado, de acordo com a orientação do Ministério de Minas e Energia.

Por outro lado, a NUCLEBRÁS, em carta publicada no Jornal do Brasil de 28.12.1980, informa que o custo total das 8

J. W.

usinas nucleoeletricas que pretende construir com a participacao da KWU, no quadro do Acordo Nuclear, perfazendo 10 milhoes de quilowatts instalados, sera de 13 bilhoes e meio dolares, sem incluir as despesas financeiras, acrescentando que estas despesas serao de 65% do investimento direto, no caso de Angra II e 62%, no caso de Angra III.

Admitamos, otimisticamente, que as despesas financeiras das 8 centrais nucleares em questao situem-se, em media, em torno de 65% do custo do investimento, ou seja, iguais as de Angra II. E evidente que esta hipotese e excessivamente otimista pois, como sabemos, os financiamentos para Angra II e III foram negociados numa epoca de euforia no mercado financeiro internacional, quando ainda era possivel obterem-se emprestimos com juros de 8 a 10% ao ano e "spread" muito reduzido. Hoje os juros dos financiamentos internacionais superam os 15% ao ano e o "spread" para o Brasil gira em torno de 2%.

Admitamos, ademais, que o custo direto das 8 centrais fique, realmente, nos 13,5 bilhoes de dolares anunciados pela NUCLEBRAS na aludida carta - o que tambem e uma hipotese exageradamente otimista.

Partindo dessas hipoteses otimistas, constata-se que o custo do quilowatt nuclear instalado no Brasil sera de 2.228 dolares, de onde se calcula, de modo muito simples, que o custo da energia eletrica a ser gerada nas centrais nucleares construidas pela NUCLEBRAS, atraves da NUCON, sera de, aproximadamente 54 milésimos de dolar por quilowatt x hora. Vê-se, por conseguinte, que a energia nucleoeletrica, no Brasil, custara duas vezes mais caro que a energia hidroeletrica, se adotarmos, para os investimentos em centrais hidroeletricas, o custo de referencia estipulado pelo Ministerio de Minas e Energia; ou tres vezes mais caro, se admitirmos como mais provavel o custo medio estimado pelos mais competentes especialistas do setor eletrico brasileiro.

Observe-se, ainda, que no custo de geracao nucleoeletrica, não foram computados os custos marginais do Acordo Nucle

M.C.

ar, tais como os das diversas unidades do ciclo do combustível nuclear (beneficiamento do minério de urânio, conversão do óxido em hexafluoreto, enriquecimento, fabricação de elementos combustíveis e reprocessamento de combustíveis irradiados). Também não foram incluídos os custos da deposição final, em condições seguras, dos rejeitos radioativos e nem os custos da desativação das centrais nucleares, ao fim de suas vidas úteis.

Finalmente, reconhecendo que, no Brasil, a energia hidroelétrica é mais barata que a energia nucleoeétrica, o Governo está se manifestando propenso a limitar artificialmente, o custo da energia nucleoeétrica, ao valor equivalente da energia hidroelétrica produzida numa central hidroelétrica que custasse o valor de referência estipulado pelo Ministério de Minas e Energia, ou seja, para efeito do cálculo do preço de venda da energia nucleoeétrica, seria adotado um custo de referência da ordem de 25 milésimos de dólar por quilowatt x hora, que é o que custaria a energia gerada numa hidroelétrica de 1.200 dólares por quilowatt instalado.

Com isso, espera o Governo minimizar os reflexos negativos que um custo distorcidamente alto de energia elétrica teria sobre o desenvolvimento do país.

Ocorre que esta orientação corrige a distorção apenas em suas aparências, pois para que as concessionárias possam vender a energia elétrica gerada nas centrais nucleares a um preço baseado nos custos da energia de uma hidroelétrica de 1.200 dólares por quilowatt instalado, será necessário que o Governo subvencione a diferença. Apenas no que diz respeito às 8 centrais do Acordo Nuclear, esta subvenção terá que ser de, no mínimo, um bilhão e oitocentos milhões de dólares por a-
no.

Sem esta subvenção, as empresas de setor - que até agora vinham desempenhando satisfatoriamente seu papel no atendimento aos requisitos de energia elétrica do país - ficarão completamente descapitalizadas e sem capacidade de investimento, nem mesmo para prosseguirem com o programa hidroelétrico, e

D. Cant

iniciar um programa termoelétrico a carvão.

Impactos sobre o desenvolvimento e influências intersetoriais

O processo de desenvolvimento do Brasil - país que pode ser classificado como de industrialização recente - caracteriza-se por:

- Taxas de poupança insuficientes para que a formação interna de capitais alcance os níveis necessários para um desenvolvimento equilibrado. Por isso, os investimentos são complementados com capitais externos ou com capitais oriundos de empréstimos internacionais, resultando daí consideráveis aumentos da dívida externa. O pagamento do serviço da dívida externa - sem mencionar o pagamento do principal - está minando a renda interna e comprimindo, ainda mais, as taxas de formação de capitais autóctones. Isto deixa o país à mercê dos desígnios dos credores estrangeiros, que passam a exercer influência na seleção e programação cronológica dos investimentos nacionais.

Tal situação contribui para induzir elevadas taxas inflacionárias.

- Excessiva concentração de renda e crescimento descontrolado de bolsões socialmente deprimidos, principalmente na periferia das grandes cidades.

Nesses bolsões vive hoje uma ponderável parcela da população brasileira, em extrema pobreza, sem condições de alimentação que garantam a dose mínima de proteínas para um desenvolvimento físico e mental satisfatórios. O ensino é praticamente inexistente e os níveis culturais são absolutamente primitivos. A tensão social nessas áreas está dando origem a ondas de violência nunca vistas.

Essas características do atual estágio do desenvolvimento brasileiro deverão obrigar o Governo a canalizar todos os escassos recursos disponíveis, para investimentos em programas inadiáveis;

200

e de rentabilidade econômica e social assegurada a curto e médios prazos; tais como os programas de saneamento básico, alimentação, saúde, desenvolvimento agropastoril e agroindustrial, etc. Se programas como os mencionados não merecerem a devida prioridade no momento da seleção e quantificação dos investimentos públicos para os próximos anos, a sociedade brasileira não terá condições de se desenvolver econômica e culturalmente, para levar o Brasil à categoria de nação desenvolvida.

No campo energético, máxima prioridade deve ser atribuída aos programas de utilização das fontes de energia mais abundantes e para cujo aproveitamento a engenharia e a indústria nacional não dependem de fornecimentos externos significativos que viriam agravar ainda mais a situação da dívida externa. É evidente que, neste campo, os programas prioritários nas próximas décadas devem ser o hidroelétrico, o termoelétrico a carvão, o de biomassas para a produção de combustíveis líquidos, o de xiloenergia e carvão vegetal e o de biomassas para a energização do meio rural e das pequenas agroindústrias.

Nesse quadro, a prioridade a ser atribuída à energia nuclear deveria se concentrar num programa preponderantemente nacional que tenha por objetivo desenvolver, nos próximos 10 anos, um protótipo de reator de potência, projetado para aproveitar ao máximo as reservas brasileiras de urânio e tório. O acordo Brasil-Alemanha deve ser ajustado a esta prioridade; o que pode ser feito, mediante a observância das sugestões formuladas nos tópicos "Implicações políticas ..." e "Considerações sobre transferência e criação de tecnologia".

Um programa dessa natureza custaria apenas uma fração dos vultosos investimentos que se pretende programar, para dar prosseguimento ao Acordo Nuclear; não agravaria a dívida externa e ainda - o que é muito importante - estimularia a comunidade técnico-científica e industrial brasileira a desenvolver um esforço coordenado para criar uma tecnologia destinada a resolver um problema crítico para o nosso desenvolvimento após o ano 2000.

Desse programa deveriam participar, além de estabe-

g.c.m.

lecimentos industriais qualificados, instituições de pesquisa e assistência técnica à indústria, tais como os mencionados no tópico "considerações sobre transferência e criação de tecnologia".

No tocante às influências intersetoriais do Acordo Nuclear, consideraremos aquelas diretamente ligadas à produção e as que se refletem indiretamente, através de um impacto tecnológico no parque industrial.

Como foi demonstrado no início, a energia elétrica a ser gerada nas centrais nucleares construídas no Brasil custará de duas a três vezes mais caro que a energia hidroelétrica.

Por outro lado, mesmo em nossa hipótese alta de crescimento do consumo, o potencial hidroelétrico seria suficiente para atender à demanda até o ano 2023.

Ademais, o potencial hidroelétrico atualmente conhecido, que é de 213.000 MW, pode ser complementado pelo potencial carbonífero, que permitirá a instalação adicional de 25000 MW no sul do país, o que torna ainda mais segura a garantia de suprimento de energia elétrica até o ano 2023.

Portanto, ao decidir implantar prematuramente um grande parque gerador nucleoeletrico - que, inevitavelmente acarretará um aumento dos custos da energia elétrica - o Governo está abdicando de uma vantajosa posição estratégica que, em decorrência da chamada "crise energética", poderia ser explorada pelo menos durante três décadas. Tal vantagem é a seguinte: enquanto os países industrializados - por já terem instalado todo seu potencial hidroelétrico, e encontrarem dificuldades na expansão do parque térmico convencional - são obrigados a apelar para a onerosa energia nuclear; o Brasil só precisaria fazê-lo, em escala industrial, daqui a trinta ou quarenta anos.

Nesse prazo, os setores industriais mais consumidores de energia elétrica, tais como o alumínio, o aço, a celulose e papel e as indústrias químicas da linha soda/cloro ganhariam, no Brasil, excepcionais condições de desenvolvimento:

Por outro lado, se, para manter os custos favorá-

D. M.

veis da energia elétrica, o Governo decidir subvencionar a geração eletrônica, com base no valor de referência de 1.200 dólares por quilowatt instalado, esse subsídio montará - somente para a operação das 8 usinas que se pretende programar pelo Acordo Nuclear - a um valor da ordem de 1 bilhão e 800 milhões de dólares por ano, recursos esses que deixarão de ser aplicados nos programas inadiáveis mencionados no tópico anterior. Ao subsídio deverão somar-se, no mínimo, outros 30 bilhões de dólares - dos quais pelo menos 18 em moeda estrangeira - correspondentes às despesas diretas e encargos financeiros da construção das centrais e das unidades do ciclo do combustível nuclear.

Quanto ao impacto tecnológico, não é novidade que o desenvolvimento de uma indústria baseada em tecnologia de ponta, caracterizada por elevados padrões de qualidade, repercute positivamente sobre praticamente todo o parque industrial.

Esse impacto fica muito bem ilustrado com o exemplo da indústria aeroespacial, cujo principal polo de desenvolvimento é a cidade de São José dos Campos, em São Paulo, onde se localizam, de um lado, o CTA e a EMBRAER e, de outro, uma grande variedade de estabelecimentos industriais fornecedores de peças, componentes e sistemas para a própria EMBRAER e outras empresas. Todo esse complexo industrial experimentou um notável progresso seja no que diz respeito à tecnologia e a garantida qualidade, seja no que se relaciona às práticas administrativas e à consistência comercial e financeira das empresas participantes - graças ao inteligente esforço coordenado que caracterizou a implantação da indústria aeroespacial no Brasil, à base de um modelo autóctone bem diverso do que está sendo adotado no Acordo Nuclear - que foi concebido no exterior e constitui um "produto" vendável que a KWU oferece livremente no mercado.

Contudo, somos de opinião que mesmo o Acordo Nuclear poderá exercer influências positivas no parque industrial. Ponderamos, apenas, que as mesmas influências poderiam ser exercidas através de um programa mais gradativo, mais autóctone e, sobretudo, menos oneroso.

J. CM

3^a Parte: ASPECTOS ESTRATÉGICOS

Existe uma correlação entre o crescimento do Produto Nacional Bruto de um país, e o seu consumo de energia; pois consome-se energia na produção dos bens e serviços cujos valores agregados compõem o Produto Nacional Bruto. Acreditamos que ninguém põe em dúvida a existência dessa correlação.

O que se questiona é se permanece válida a correlação logarítmica - que de fato existia entre os crescimentos da produção agregada e do consumo total de energia, até passado recente, quando o processo de desenvolvimento das nações regia-se por modelos baseados na abundância ilimitada de energia, a custos distorcidamente baixos. Nesses modelos, as forças de mercado privilegiavam hábitos de consumo e tecnologias industriais desperdiçadoras de energia [4, 5 e 6].

Não é surpreendente, contudo, que qualquer análise e laborada sobre séries históricas abrangendo períodos longos, continue encontrando um reflexo da mencionada correlação logarítmica, mesmo que as séries analisadas terminem em passado relativamente recente [7]. Isto decorre da natural inércia que impede os modelos de desenvolvimento de se transformarem drasticamente a curto prazo, inércia essa que se transmite aos dados estatísticos. Assim, tais análises devem ser vistas sob reserva.

Os modelos baseados na energia como fator abundante e barato se transformarão certamente em modelos nos quais a energia - refletindo a nova realidade - seja o fator mais escasso. Entretanto, em nosso entender, essa transformação será um processo gradual e lento, porque exigirá onerosas adaptações ou substituições de equipamentos e - o que é mais importante - implicará na modificação de práticas e costumes adquiridos e enraizados durante décadas de uso predatório da energia. Nesse particular, aliás, acreditamos que as nações em desenvolvimento desfrutarão de uma vantagem relativa, pois poderão, desde já, planejar seu desenvolvimento com base em modelos que excluam os desperdícios e consumos supérfluos de energia.

J. M.

A análise de dados estatísticos mais recentes [1 e 2], evidencia que o grande esforço que está sendo realizado, particularmente nas nações desenvolvidas no sentido de estimular tecnologias e hábitos de consumo que propiciem - para os mesmos níveis de produção - menores gastos de energia; já está surtindo os primeiros resultados.

Em decorrência desses esforços, o que se observa hoje, naqueles países, é que a correlação logarítmica que existia entre os crescimentos do produto nacional e do consumo de energia, está se transformando numa correlação linear; o que comprova a expectativa de que os novos custos de energia modificarão o comportamento dos agentes econômicos, em direção a hábitos, práticas, costumes e tecnologias que - assegurando níveis de qualidade de vida até melhores - não induzam demandas de energia desproporcionalmente crescentes em relação à produção.

É interessante observar que, em certos casos - como resultado do esforço realizado para eliminar desperdícios - a produção pode continuar crescendo durante algum tempo, enquanto o consumo de energia decresce, ou se mantém inalterado.

Isto pode ser verificado pelo exame da elasticidade $\Delta E_t / \Delta \text{PNB}$ (crescimento do consumo total de energia/crescimento do PNB) que, após 1973, caiu para valores inferiores à unidade, na maioria dos países industrializados [1]. Evidentemente, quando os modelos de desenvolvimento estiverem ajustados à nova realidade energética, a mencionada elasticidade deverá situar-se em torno da unidade.

Observa-se, por outro lado, que nos países industrializados, a elasticidade entre o crescimento do consumo de energia elétrica e o crescimento do PNB ($\Delta E_e / \Delta \text{PNB}$) ainda vem se mantendo superior à unidade, o que traduz uma penetração da energia elétrica na estrutura de consumo, em substituição a outras formas de energia. Entretanto, à medida que o coeficiente E_e / E_t se aproxima de um terço, a elasticidade ($\Delta E_e / \Delta \text{PNB}$) cai, aproximando-se da unidade; o que significa que acima de 33% do con-

J. AM

sumo total, a penetração da eletricidade tem sido apenas marginal. O quadro III ilustra as tendências identificadas:

QUADRO III

PAÍS	Gráu de Eletrificação		Elasticidades			
	(E _e /E _t médio no período)		$\Delta E_t / \Delta PNB$		$\Delta E_e / \Delta PNB$	
	1950-1970	1974-1978	1950-1970	1974-1978	1950-1970	1974-1978
Estados Unidos	0,20	0,28	0,94	0,36	1,93	1,40
Alemanha	0,19	0,30	1,07	0,47	1,84	1,50
França	0,19	0,27	1,17	0,10	1,80	1,30
Itália	0,29	0,30	1,83	0,38	1,46	1,30
Grã-Bretanha	0,18	0,30	0,64	0,41	2,40	1,40

Fonte: Referências [1 e 2].

Dados ainda mais recentes demonstram que a elasticidade $\Delta E_e / \Delta PNB$ na Alemanha e na França está se aproximando de 1,10.

Poucos países, como a Noruega e a Suíça, apresentam uma estrutura de consumo atípica, o que se explica facilmente, pois a participação da geração hidroelétrica no total de energia elétrica produzida é de 100% na Noruega e 90% na Suíça. Como, nos países de clima frio, cerca de 40% a 50% da energia primária são gastos em aquecimento de ambientes (residências, escritórios, estabelecimentos comerciais, fábricas, etc.) e considerando que os aquecedores elétricos são mais práticos e limpos que os tradicionais radiadores a óleo, carvão ou gás; é evidente que a escolha tem que recair no aquecimento elétrico, nesses países, que dispõem de hidroeletricidade abundante. Por isso, o coeficiente E_e / E_t é de 0,69 na Noruega e 0,49, na Suíça.

Mas isso não ocorre nos países em que a geração é preponderantemente termoelétrica; como, por exemplo, a Alema-

D. al

nha, onde o referido coeficiente é de 0,31; a França, onde é de 0,29; a Holanda, onde é de 0,25; a Bélgica, onde é de 0,26; a Grã-Bretanha e a Itália, onde é de 0,30 e os Estados Unidos, onde também é de 0,30, etc. Nesses países, seria antieconômico utilizar amplamente uma eletricidade gerada em termoeletricas nucleares ou a óleo, com uma eficiência de 30% a 40%, para reconvertê-la em calor, nos aquecedores de ambiente; muito embora, já se esteja começando a fazê-lo, por falta de alternativa melhor, face aos elevados preços do petróleo, do gás e do carvão. De qualquer maneira, o problema não existe no Brasil, o que, indiscutivelmente, nos coloca em posição de vantagem relativa, vantagem essa que, traduzida em números significa, simplesmente, que - mesmo não conseguindo adotar um modelo de desenvolvimento compatível com a nova realidade energética e continuando a imitar modelos de desenvolvimento e padrões de consumo já abandonados até nos países industrializados - ainda assim, para iguais níveis de produção e qualidade de vida, o consumo de energia no Brasil deverá ser aproximadamente 40% menor do que em países industrializados de clima frio, pois em nosso clima a calefação de ambientes não é necessária.

Além da vantagem relativa oferecida pelo clima ameno, sem excessos de calor ou de frio, há outras que, se bem compreendidas e utilizadas, poderiam facilitar e acelerar o processo de transição do Brasil à categoria de nação socialmente desenvolvida e industrialmente madura. Ainda no campo energético, uma dessas vantagens é o fato de que a extensão territorial e o regime hídrico favorecem o emprego de fontes de energias renováveis - biomassas, energia solar direta, miniaproveitamentos hidráulicos, etc. - que, em conjunto, trariam um considerável aporte à estrutura de oferta energética.

Assim, por exemplo, um programa bem estruturado de produção descentralizada de biomassas para a geração de calor direto; vapor e eletricidade - com vistas ao suprimento energético de fazendas e agroindústrias, além de indústrias cerâmicas, cimenteiras e de polpa e celulose - permitiria que, com

J. M.

investimentos de custo social perfeitamente suportável, o Brasil assegurasse uma oferta suficiente de energia para o processo de desenvolvimento. É de se assinalar também que, como muitas das energias mencionadas não são comerciais, teríamos um consumo real maior que o consumo aparente, de modo que as elasticidades $\Delta E_t / \Delta PNB$ e $\Delta E_e / \Delta PNB$ a serem utilizadas no planejamento da oferta de energias comerciais deveriam ser menores que as elasticidades reais [13] .

No tocante à oferta de energia elétrica, os minia-proveitamentos hidráulicos que podem, perfeitamente, ser construídos nas próximas décadas - além das minitermoelétricas a biogás e a biomassas florestais, para o suprimento de fazendas e agroindústrias - contribuiriam de modo significativo para o crescimento da produção nacional.

Naturalmente, um bom planejamento deve prever a substituição por biomassas - e não por energia elétrica, que exige grandes investimentos na produção - dos derivados de petróleo, como óleo combustível e diesel, que são hoje empregados em indústrias como as de cerâmica; cimento; e polpa e celulose.

Aliás, do ponto de vista termodinâmico, essas substituições seriam mais lógicas, pois o calor gerado pelas biomassas seria aproveitado diretamente nos fornos e caldeiras, com uma eficiência da ordem de 85%. Evidentemente, as caldeiras e fornos elétricos alcançam eficiências mais elevadas; ocorre, porém, que a produção de eletricidade em termoelétricas (nucleares ou a combustíveis fósseis) tem eficiências variando entre 30% e 40%. Por conseguinte, o emprego de eletricidade em caldeiras e fornos é, em princípio, um processo desperdiçador de energia; a não ser que a eletricidade seja produzida em hidroelétricas, pois estas têm eficiências muito elevadas. Contudo, se adotarmos a política de estimular a substituição de derivados de petróleo por eletricidade, em indústrias como as mencionadas, estaremos introduzindo uma prática que nos obrigará a antecipar a execução de um programa termoelétrico de grandes proporções e, conseqüentemente, a desperdiçar energia dentro de poucas décadas. Em nosso entender, seria muito mais interessante para a nação, que um programa

D. A. N.

termoelétrico em grande escala só fosse iniciado cerca de 15 anos antes da época previsível para a instalação de todo o potencial hidráulico disponível, a fim de que - de um lado, aproveitássemos por mais tempo a vantagem relativa da energia hidroelétrica barata para usos específicos, como a eletrometalurgia e a eletroquímica e - de outro lado, tivéssemos tempo para entrar num programa termoelétrico de modo gradativo, dando, no início, mais ênfase à geração a carvão e, à medida que a base industrial-tecnológica fosse sendo desenvolvida, transferiríamos a ênfase para a geração nuclear, como foi visto no tópico "considerações sobre transferência e criação de tecnologia".

De tudo isso decorre que uma atitude responsável, face ao futuro de nosso desenvolvimento, recomenda que uma política de substituição de derivados de petróleo por energia elétrica nas indústrias cerâmicas, cimenteiras e de polpa e celulose, seja encarada com extrema cautela e adotada apenas em casos muito especiais, em que não haja outra alternativa [8 e 9].

A este propósito, cabe salientar que a energia solar pode ser usada diretamente em muitos processos industriais. Segundo Hayes [10], um estudo realizado pela Indústria de Processamento de Alimentos da Austrália, evidenciou por exemplo, que aproximadamente 90% das necessidades de energia dessa indústria diziam respeito a calor de processo; que 80% desse calor é a temperaturas inferiores a 100°C e que dos restantes 20%, a quase totalidade é abaixo de 150°C. Ora, as temperaturas abaixo de 100°C podem, facilmente, ser obtidas com coletores solares planos.

Nos Estados Unidos, cerca de 18% do consumo total de combustíveis, destinam-se a geração de calor a baixas temperaturas, em processos industriais [11]. De um modo geral, uma terça parte da energia consumida nos países industrializados, é utilizada para produzir calor a temperaturas que os coletores solares planos podem, perfeitamente, suprir [12], principalmente em climas como o brasileiro.

J. CA

Assim, em nosso entender, as autoridades competentes têm a responsabilidade de fazer realizar, o quanto antes, um programa de estudos a nível micro-econômico, com o objetivo de identificar:

- . A viabilidade e as possibilidades de os estabelecimentos industriais que utilizam processos térmicos adotarem, para a substituição do óleo combustível, soluções baseadas no emprego de biomassas e de radiação solar direta, como fonte de energia primária.
- . Meios de se economizar energia, através da simples eliminação de desperdícios evidentes, tais como vazamentos de vapor; isolações térmicas deficientes, "lay-outs" mal estabelecidos, baixos fatores de potência, etc.

Um programa dessa natureza constituiria um importante instrumento de orientação para a elaboração de um planejamento energético realmente compatível com a dotação de fatores de produção de que dispomos. Em conjunto, as soluções encontradas nos estudos micro-econômicos, permitiriam reduzir de 20% a 30% as necessidades globais de energias primárias e, conseqüentemente, aliviariam proporcionalmente os investimentos públicos nos grandes sistemas de produção ou geração.

Por outro lado, tal planejamento permitiria que se otimizasse a estrutura da oferta, de modo que cada demanda energética específica fosse atendida por energia da forma mais apropriada, reduzindo ao mínimo indispensável as conversões de baixo rendimento, como, por exemplo, a conversão termoelétrica.

Como resultado das substituições corretas - quando viáveis - de derivados de petróleo por biomassas ou por aquecimento solar direto, teríamos, evidentemente, uma redução da elasticidade média $\Delta E_t / \Delta PNB$. No tocante à energia elétrica, se a estrutura da oferta for planejada com o objetivo de se minimizarem os investimentos e se evitarem os desperdícios decorrentes das conversões de baixo rendimento; é evidente que a

J. A. W.

elasticidade $\Delta E_e / \Delta PNB$ tenderá à unidade. De fato, seria anômalo se os valores verificados nos últimos anos, se mantivessem por muito tempo. Terminado o intenso processo de investimentos nas indústrias de base - caracterizadas por altos coeficientes de consumo de energia elétrica - e corrigidas as distorções resultantes das substituições de derivados de petróleo por energia elétrica em alguns processos industriais; é de se esperar que a referida elasticidade tenderá a situar-se em torno da unidade.

Em nosso entender, o intenso esforço de pesquisa/desenvolvimento que países industrializados como os Estados Unidos, a Alemanha, a França, o Japão, etc., têm concentrado nos sistemas termosolares e fotovoltaicos, assim como no aproveitamento energético das biomassas, estará apresentando resultados ponderáveis a partir da próxima década. Para citar apenas o exemplo dos Estados Unidos, que consomem aproximadamente a terça parte de toda a energia produzida no planeta, mencionemos que, segundo estudos preparados para o setor de avaliação tecnológica do Congresso, cerca de 12 a 17 quadrilhões de BTU por ano poderão ser produzidos nos Estados Unidos a partir da biomassa, no ano 2000 [14]. Além disso, cerca de 2 quadrilhões de BTU por ano poderão ser obtidos mediante o emprego de sistemas termosolares [15]. Tal é a importância que vem sendo atribuída, nos Estados Unidos, aos programas de conversão termosolar e fotovoltaica (energia solar direta), bem como de utilização de biomassas (energia solar fotossintética), que o programa de energia solar do Departamento de Energia têm como meta, para o ano 2000, o atendimento de 20% da demanda total de energia primária daquele país [16].

Isto significa que, no ano 2000, os norte-americanos esperam retirar da energia solar o equivalente a quase o dobro do consumo total de energia, previsto para o Brasil, naquele ano; pois admite-se que o atual consumo norte-americano, que é da ordem de 80×10^{15} BTU/ano, (20×10^{15} kcal/ano), crescerá com uma taxa de 3% ao ano; e que o atual consumo brasileiro, que é de, aproximadamente, $5,2 \times 10^{15}$ BTU/ano ($1,3 \times 10^{15}$ kcal/ano), crescerá com uma taxa de 6% ao ano, o que é muito verossímil.

J. C. M.

O grande esforço que está sendo aplicado no desenvolvimento das energias renováveis de biomassa e dos sistemas termosolares e fotovoltaicos certamente resultará numa importante penetração da energia solar nas estruturas de oferta energética dos países industrializados o que, provavelmente, se refletirá nos países de industrialização recente.

Ora, o Brasil, além de ter extensão territorial adequada, apresenta condições climáticas e ecológicas muito mais favoráveis do que os Estados Unidos, para o aproveitamento da energia solar. É, pois, de se esperar que as autoridades competentes e o empresariado se conscientizem dessa vantagem relativa, que pode se constituir, para o Brasil, numa das pré-condições que estão faltando, para que possamos dar o que Rostow define como "arranco" na direção do desenvolvimento, que nos conduzirá à categoria de nação econômica e socialmente desenvolvida [17].

Se continuarmos com a atitude mimética de adotar os mesmos modelos econômicos dos países que já são industrializados, nos quais - particularmente no setor energético - dominam as soluções adaptadas a condições ecológicas e fatores de produção completamente diferentes dos nossos, estaremos nos condenando a seguir, eternamente, a reboque de tecnologias que não nos permitirão aproveitar eficientemente as nossas vantagens relativas.

E, por paradoxal que pareça, acabaremos por importar até as tecnologias de utilização direta e indireta da energia solar, que poderiam, perfeitamente, ser desenvolvidas desde já no Brasil.

De qualquer maneira, o imenso potencial da energia solar fará com que seja inelutável sua penetração na estrutura de oferta de energia primária no Brasil, de modo ponderável, já na próxima década; seja com tecnologia aqui desenvolvida - se as autoridades competentes perceberem, em tempo útil, a vantagem relativa que nos oferece esta fonte renovável de energia - seja com tecnologia importada, com todos os inconvenientes das adaptações "a posteriori"; se as autoridades competentes continuarem canalizando os principais fluxos de recursos para programas exa-

J. A. M.

geradamente "capital intensive", que evidentemente não serão necessários nas próximas décadas.

Um reflexo obrigatório da inexorável penetração da energia solar - inclusive sob várias formas não comerciais - na estrutura de oferta de energia primária, será a queda das elasticidades $\Delta E_t/\Delta PNB$ e $\Delta E_e/\Delta PNB$, que se referem a energias comerciais, pois, evidentemente, o "imput" de energias não comerciais também contribue para o aumento da produção em cada setor. Essas elasticidades deverão situar-se abaixo da unidade, durante o período de reaparelhamento e adaptação da estrutura produtiva da economia, ao novo perfil de oferta total de energias comerciais e não comerciais. Para o caso específico da energia elétrica, os novos "inputs" não comerciais, aliados a uma política de substituições corretas de derivados de petróleo por biomassas - e não por eletricidade - sempre que isto for viável, permitem prever com relativa segurança que a elasticidade $\Delta E_e/\Delta PNB$, que atualmente é superior à unidade, caia para valores infraunitários durante parte da década de 90, de modo que seu valor médio se situe "grosso modo", em torno da unidade, ao longo dos 20 anos que nos separam do ano 2000.

Assim, em nosso entender, deve-se proceder com muita cautela ao se elaborarem projeções de demanda de energia elétrica para as próximas décadas, pois qualquer superavaliação induzirá os responsáveis pelo planejamento nacional a adotarem políticas de investimentos públicos calcadas em prioridades equivocadas, com graves conseqüências para o desenvolvimento brasileiro a médio e longo prazos.

Sobre as previsões de demanda de energia, é importante assinalar que os acontecimentos que têm caracterizado o panorama energético mundial após 1973, comprometeram seriamente a credibilidade dos métodos prospectivos - estatísticos e econométricos - até então amplamente utilizados e que continuam sendo empregados no Brasil em vários setores governamentais.

Nos países mais avançados, entretanto, já se observa uma tendência de se abandonarem os métodos prospectivos,

J. C. M.

em favor dos métodos normativos, que possibilitam um processo iterativo de ajuste do planejamento às reais condições estruturais e conjunturais vigentes e previsíveis [18, 19, 20 e 21].

Em linhas gerais, os métodos normativos compreendem três etapas, a saber:

- I - Montagem de um cenário futuro, no qual se estabelecem objetivos e metas ligadas à qualidade da vida e bem estar social. Decomposição da economia em subsistemas correspondentes às metas estabelecidas; tais como: habitação urbana e rural; transportes urbanos e interurbanos; alimentação, abastecimento, agroindústria e agricultura; educação e saúde; indústrias de base; indústrias de bens de consumo; etc.

- II - Quantificação dos volumes de produção de bens ou serviços a serem alcançados em cada um dos subsistemas, a fim de que as metas estabelecidas no cenário sejam atingidas.

- III - Análise de cada subsistema e identificação dos parâmetros característicos que o definam quanto ao consumo energético. Estudo da viabilidade da introdução de novas tecnologias, menos consumidoras de energia. Avaliação das quantidades de energia necessárias, para que os subsistemas atinjam os níveis de produção estabelecidos.

O cenário assim elaborado facilita a análise da viabilidade de se implantar uma estrutura de oferta que possa assegurar as energias, sob as formas adequadas, para atender as demandas quantificadas, na época prevista. Havendo viabilidade, elaboram-se o planejamento dos diversos sistemas de produção e geração; caso contrário, o cenário deve ser reelaborado, a níveis de consumo mais modestos.

Os cenários que elaboramos na primeira parte deste trabalho, "O Acordo Nuclear e o Desenvolvimento Nacional", correspondentes às hipóteses moderada e alta de crescimento da produção nacional e do consumo da energia, constituem um exercício

D. C. W.

simplificado de aplicação de um método normativo de previsão do consumo de energia elétrica no ano 2000.

Para a hipótese alta, fixamos, como meta, um PNB "per capita" equivalente ao PNB "per capita" de um país altamente desenvolvido e caracterizado por um elevado nível de qualidade de vida, como a Alemanha, onde, em 1965, o PNB "per capita" foi de 4.600 dólares.

Para isso, o PNB brasileiro teria que chegar a 875 bilhões de dólares - isto é, quase o dobro do PNB da Alemanha, em 1980, cabendo assinalar que esse país é a segunda ou terceira potência industrial do mundo.

Se nos detivermos para meditar seriamente sobre as atuais conjunturas econômico-sociais brasileira e internacional, e suas perspectivas de evolução, somos obrigados a admitir que, para atingir aquelas metas, a economia brasileira deverá apresentar, nos próximos 20 anos, um desempenho sem precedentes em nossa história.

As razões expostas nesta análise demonstram que - diante das alternativas ainda disponíveis - as perspectivas de crescimento da demanda de energia elétrica não justificam a implantação, nas próximas décadas, de um programa de geração nuclear de grandes proporções, baseado em reatores a água leve. Demonstram, também, que as previsões de custos do programa e da energia a ser gerada, representariam um ônus que a economia brasileira dificilmente poderia suportar nas próximas décadas, a não ser com graves prejuízos para outros programas e projetos, cuja implantação é inadiável, como os mencionados no tópico "Impactos sobre o desenvolvimento industrial e influências intersetoriais".

Sobre a questão dos custos, gostaríamos de salientar, mais uma vez, que a energia nucleoe elétrica pode ser competitiva em países altamente industrializados, como a Alemanha, a França, os Estados Unidos ou a Grã-Bretanha, que não dispõem mais de alternativas hidráulicas a serem aproveitadas.

No Brasil, segundo informações divulgadas pela NUCLEBRÁS e por FURNAS, entidades até agora responsáveis pela construção das centrais nucleares de Angra dos Reis, os custos das centrais nucleares ultrapassarão, de muito, a casa dos 2.000 dólares

J. M.

por quilowatt instalado. De resto, a própria NUCLEBRÁS admite que o custo direto das 8 usinas nucleares que pretende construir no âmbito do Acordo Brasil-Alemanha, será de 13,5 bilhões de dólares, sem incluir as despesas financeiras; despesas essas que, para Angra II e III estão representando, respectivamente, 65% e 62% de acréscimo sobre os custos diretos [22]. Observe-se que os empréstimos obtidos para essas duas unidades foram negociados numa época em que as taxas de juros e "spreads" eram praticamente a metade das taxas hoje vigentes no mercado. Portanto, constitui hipótese otimista admitir que os juros e despesas financeiras para o programa todo represente apenas 65% de seu custo direto. Entretanto, mesmo com esta hipótese, as 8 centrais - que perfarão cerca de 10 milhões de quilowatts instalados - custarão aproximadamente 22,28 bilhões de dólares, a valores de 1980. Se somarmos a esta quantia os custos diretos e indiretos das diversas unidades do ciclo do combustível nuclear e, ainda, o que custou e está custando a NUCLEP; chegaremos perto dos 30 bilhões de dólares, dos quais pelo menos 60%, ou seja, 18 bilhões de dólares, serão gastos fora do Brasil. Isto significa que os encargos do Acordo Nuclear, apenas em moeda estrangeira, aumentarão em 30% o montante líquido da dívida externa brasileira, contribuindo pesadamente para agravar ainda mais as dificuldades que enfrentamos para fazer face ao serviço dessa dívida.

Seria ocioso ficar fazendo exercícios de orçamentação e de cálculo dos custos da energia produzida pelas centrais nucleares brasileiras, na esperança de poder provar que elas serão competitivas com as hidráulicas, pois nunca será possível fazê-lo. A este propósito, reproduzimos, a seguir, algumas passagens recolhidas do depoimento prestado ante o Senado Federal pelo Ex-Presidente de FURNAS e atual Diretor Técnico da Itaipú Binacional, engenheiro John Cotrin [23]: "em lugar algum do mundo, principalmente onde houver amplos recursos hidráulicos disponíveis, uma usina nuclear é apresentada como alternativa econômica para uma usina hidroelétrica" ---- "pois, além de exigirem investimento inicial menor, as hidroelétricas possuem vida útil mais longa, custo operacional mínimo e utilizam um recurso renovável, gratuito - a água -

J. A. M.

--. Não existe no mundo fonte de energia elétrica comparável à hidráulica. A questão é que, na maioria dos países desenvolvidos, onde se realizam as grandes pesquisas e donde emanam as novidades tecnológicas, o que era possível aproveitar em matéria de energia hidráulica já foi aproveitado." ---- "A tendência de encarecimento dos projetos hidroelétricos é muito menor que no caso das nucleares" ---- "Recente estudo da Rand Corporation, dos Estados Unidos, sobre custos de centrais nucleares a água leve, assinala que estas centrais vêm sofrendo um encarecimento anual à razão de US\$140,00/kW, por ano e que não há evidência de que tal tendência se modifique a curto prazo." ---- "Há uma tendência de se ignorar, no custo das usinas nucleares, o custo de transmissão. Na realidade, entre tanto, a localização de usinas nucleares é condicionada por inúmeros fatores e nem sempre pode ser feita próximo ao centro de carga." ---- "Se as usinas de Angra II e III custarem apenas aquilo que estava orçado em meados de 1978; tomando-se por base o custo atual do combustível nuclear e desprezando-se o custo da transmissão, a energia produzida terá um custo de 60 a 70 milésimos de dólar por quilowatt x hora gerado, contra algo entre 25 e 30 milésimos de dólar por quilowatt x hora de Itaipú, incluindo a transmissão." ---- "Metade do potencial hidroelétrico nacional está na região sul-sudeste ---- graças à política de interligação que vem sendo praticada, o sistema elétrico desta região funciona como um conjunto eletricamente integrado. ---- Nessas condições, e tendo em vista as previsões da demanda para a região até o fim do século, verifica-se facilmente que, ainda por muito tempo o atendimento dos requisitos nessa área poderá ser basicamente hidroelétrico e com recursos da própria área, aos quais poderão ser oportunamente acrescentados, se necessário, os vastos recursos da região amazônica, ainda totalmente inesplorados e cuja transmissão ao centro-sul está em vias de se viabilizar, com a introdução, no país, da tecnologia de transmissão em corrente contínua." ---- "O custo das usinas nucleares no Brasil caminha para a casa dos 3.000 dólares por quilowatt instalado e, mais cedo do que o desejariam, os responsáveis pela execução do programa nuclear terão que trabalhar à base

J. M.

desses números. Pois as usinas custam o que custam e não o que se deseja que elas custem! ---- "No Brasil, onde a produção de eletricidade é em base predominantemente hidroelétrica, as usinas nucleares em nada contribuirão para substituir o petróleo, pois sua finalidade é apenas a de produzir eletricidade". ---- "Não só por questões de mercado, como por motivo de custo, assim como devido à alteração substancial ocorrida no quadro de alternativas que lhe deu origem, o programa de instalações nucleares, originalmente concebido para a região sul-sudeste do Brasil, mereceria ser reexaminado à luz dos fatos acima enumerados". ---- "O problema está, pois, na dosagem de um programa nuclear, que ofereça uma solução de equilíbrio entre os requisitos efetivos do setor elétrico e suas possibilidades econômicas, e a necessidade de preparar industrialmente o país para um programa nuclear mais intenso, a partir de meados da década de 90". ---- etc.

Como vemos, os conceitos emitidos pelo Sr. John Cotrim, engenheiro de inegável idoneidade técnica e notória competência, quase que poderiam ser adotados, como conclusão, para o presente trabalho.

Ainda sobre os exercícios de orçamentação e cálculos de custos de energia gerada em usinas nucleares brasileiras, gostaríamos de nos referir a um trabalho apresentado no II Congresso Brasileiro de Energia, realizado no Rio de Janeiro em abril de 1981. Trata-se do trabalho dos Srs. D. Gonçalves e I. Menegassi [24].

Sem entrar em detalhes de caráter metodológico, permitimo-nos assinalar que, no tocante à energia nuclear, os custos tomados como base para os cálculos, além de já se encontrarem superados, referem-se a países altamente industrializados - particularmente os Estados Unidos - onde as estruturas da economia, principalmente nos setores industrial e energético, são completamente diferentes das brasileiras. Por conseguinte, é uma extrapolação muito ousada admitir que aqueles custos serão válidos no Brasil.

Os custos calculados em bases brasileiras são aqueles que a NUCLEBRÁS divulgou oficialmente [22], os quais, de res

J.M

to, estão próximos dos custos estimados por FURNAS para Angra II, a menos de pequenos acréscimos verificados neste projeto, decorrentes de problemas atípicos na execução das fundações.

Por outro lado, no mesmo trabalho [24], os autores adotaram o valor de 4,1 milésimos de dólar por quilowatt x hora, para a incidência do custo do combustível nuclear, no cálculo dos custos de geração. Este valor está completamente desatualizado. Para cálculos mais atualizados, os valores corretos da incidência do custo do combustível nos custos da geração nuclear são de 1,81 centavos de marco alemão por quilowatt x hora (isto é, cerca de 9 milésimos de dólar por kWh), para reatores que entraram em operação a partir de 1975, segundo a referência [25]; e cerca de 12 milésimos de dólar por kWh, para reatores que entrarão em funcionamento a partir de 1984, segundo a referência [26].

Evidentemente, esses custos serão ainda maiores no Brasil, quando forem utilizados os elementos combustíveis fabricados pela NUCLEBRÁS. Neste caso, acreditamos que 14 milésimos de dólar por kWh seria uma estimativa otimista.

Vê-se, portanto, que os autores subestimaram os custos do combustível, adotando um valor cerca de três vezes menor que aquele atualmente constatado nos países industrializados. Isto, certamente, contribuiu para que a análise comparativa que elaboraram, sobre os custos de geração hidráulica, nuclear e a carvão, tenha ficado completamente distorcida.

Embora aparentemente sem importância, as estimativas sub-avaliadas de custos - do mesmo modo que as superestimativas de demanda de energia elétrica - podem levar os planejadores do setor elétrico a cometer graves equívocos no estabelecimento das prioridades atribuídas aos programas e projetos a serem implantados no setor energético, nas próximas décadas. E esses equívocos poderão ter consequências funestas para o desenvolvimento econômico e social da nação, como foi assinalado no tópico "Impactos sobre o Desenvolvimento Industrial e Influências Intersetoriais". Portanto, embora pareça redundante e sentencioso, insistimos em que é absolutamente necessário o respeito aos sadios princípios da ética e da responsabilidade profissionais, na

J. M.

formulação das hipóteses de trabalho, na elaboração de projeções e previsões, nos cálculos de custos, e nas informações prestadas ao público.

Antes de concluir, vamos examinar, em linhas gerais, alguns aspectos estratégicos do planejamento a longo prazo de programas nucleares, à luz de certas condicionantes impostas pelas limitações dos ciclos de combustível nuclear, com a ressalva de que um tratamento detalhado do assunto foge ao escopo deste trabalho.

Para que também os não iniciados em física de neutrons e engenharia de reatores possam acompanhar as considerações que faremos a seguir, comecemos com uma pequena digressão de caráter puramente qualitativo, deixando de lado qualquer formalismo matemático; sobre alguns fenômenos básicos que regem o emprego da energia nuclear.^(*) Como sabemos, a utilização dessa energia para fins práticos se faz através do aproveitamento da "energia de ligação" que mantém coesas as partículas nucleares; energia essa que pode ser liberada em reações que "quebram", ou fissionam, os núcleos de elementos pesados, como o urânio, separando-os em outros núcleos, cuja soma das massas é menor que a massa do núcleo original.

As reações de fissão podem ser provocadas pelo "bombardeio" dos núcleos físséis, por neutrons; que são partículas nucleares de carga nula, o que lhes dá um grande poder de penetração, pois não ficam sujeitos às repulsões eletrostáticas.

Numa reação de fissão, cada neutron absorvido por um núcleo físsil, ao "quebrá-lo", provoca, também, a emissão de, em média, 2,5 neutrons; dos quais apenas um é necessário para provocar outra fissão, dando origem a uma reação em cadeia. Sobram, portanto, em média, 1,5 neutrons, que podem ser absorvidos por material fértil (urânio-238 ou tório-232), convenientemente colocado, provocando reações nucleares de captura radioativa; que dão origem, respectivamente, aos materiais físséis plutônio-239 (no caso do urânio-238), ou urânio-233 (no caso do tório-232).

Graças a isso, é possível projetar reatores nos quais a quantidade de material físsil criado - mediante a cap-

(*) Para uma abordagem mais formal do assunto, sugerimos os excelentes livros indicados nas referências [27] e [28].

D. M

tura de neutrons por material fértil - seja maior que a quantidade de material fissil consumido. Tais reatores chamam-se regeneradores, superconversores ou "breeders".

Evidentemente, uma condição indispensável para a operação de qualquer reator é a disponibilidade de material fissil. Ocorre que, praticamente, o único material fissil existente na natureza é o urânio-235, cuja abundância relativa, no urânio natural, é de aproximadamente 1 átomo, para 140 átomos de urânio-238, que é fértil, mas não fissil. Os outros materiais físséis que podem ser considerados para a operação de reatores são os citados plutônio-239 e urânio-233, que não existem na natureza.

A reduzida abundância relativa do urânio-235 impossibilita - em condições normais - a sustentação de uma reação em cadeia num simples pedaço de urânio natural. Com efeito, as probabilidades, que têm os núcleos de urânio-235 e urânio-238 de absorverem neutrons de alta energia (ou neutrons rápidos), emitidos na fissão de outro núcleo de urânio-235; estão na razão de 6 para 1. Mas como só existe um átomo de urânio-235 para 140 átomos de urânio-238, a maior parte dos neutrons é capturada pelos núcleos de urânio-238 - que não fissionam - de modo que não sobram neutrons suficientes para provocar novas fissões de núcleos de urânio-235, e manter a reação em cadeia.

Entretanto, para neutrons de baixa energia (também chamados neutrons lentos ou térmicos), a situação é diferente. No caso destes, aumenta muito a probabilidade de serem absorvidos pelos núcleos de urânio-235, provocando novas fissões; esta probabilidade passa a ser cerca de 200 vezes maior que a probabilidade de captura pelos núcleos de urânio-238, fato que compensa a menor abundância relativa do urânio-235. Por conseguinte, se os neutrons de alta energia (ou rápidos) forem desacelerados (ou moderados), reduzindo seus níveis de energia para níveis comparáveis aos de átomos e moléculas em movimento térmico; então é possível manter a reação em cadeia no urânio natural.

Para moderar os neutrons faz-se com que eles colidam com núcleos de determinados materiais, de tal maneira que

J. M.

transfiram parte de sua energia para esses núcleos, num processo semelhante ao de uma bola de bilhar que, a alta velocidade, vai colidindo e transferindo parte de sua energia nos choques com outras bolas, até que todas fiquem com velocidades aproximadamente equivalentes.

Entretanto, no processo de moderação, os neutrons de velocidades intermediárias - que se encontram na chamada faixa de ressonância - podem ser capturados pelo urânio-238 com uma probabilidade maior que pelo urânio-235; o que deve ser evitado, a fim de que a reação em cadeia possa continuar. Para isso, procura-se separar, ou confinar, o processo de moderação numa zona em que não existam átomos de urânio-238 (e nem de urânio-235, pois ambos ficam misturados no combustível nuclear).

Na prática, as reações de fissão em cadeia são mantidas em reatores, que nada mais são do que montagens de materiais físséis, materiais estruturais e moderadores, dispostos segundo uma configuração geométrica conveniente, de modo que, nesse meio, uma reação em cadeia possa se auto-sustentar.

Na maioria dos casos, os reatores encerram uma estrutura interna, onde se localiza o combustível nuclear, chamada "coração" ou "caroço" do reator, e uma região circundante, chamada refletor. Nos reatores superconversores ou regeneradores há, também, uma região contendo material fértil, chamada "cobertura", geralmente situada entre o coração e o refletor.

Os reatores podem ser classificados de várias maneiras como, por exemplo, segundo sua finalidade (reatores de potência; reatores de pesquisa; reatores de produção de radioisótopos; reatores de propulsão; etc.), ou segundo a faixa de energia dos neutrons que provocam a maioria das fissões (reatores térmicos ou lentos; reatores rápidos), etc.

Para os fins do presente estudo é suficiente que nos detenhamos apenas nos reatores de potência - térmicos e rápidos - naquilo que diz respeito aos ciclos de combustíveis nucleares.

Vejamos, primeiro, os térmicos. Como dissemos anteriormente, a sustentação de uma reação em cadeia impõe certas

G.M

restrições aos materiais empregados e à geometria, isto é, à forma e dimensões do reator.

Dissemos também, que é possível manter uma reação em cadeia no urânio natural, desde que os neutrons sejam moderados num meio especial. Este meio chama-se "moderador" e deverá se constituir de átomos com núcleos leves, que possam absorver o máximo de energia, no mínimo de choques elásticos com os neutrons. É necessário, também, que a probabilidade de captura de neutrons pelos núcleos do moderador seja a menor possível. Finalmente, o moderador deve ser denso (muitos núcleos por centímetro cúbico), para não ocupar um espaço muito grande; condição esta que, praticamente elimina os gases.

Estas três condicionantes tornam muito limitada a escolha de um moderador. Basta examinar a lista dos elementos naturais mais leves, para concluir que a escolha não é fácil. O hidrogênio é o mais leve de todos; porém, além de ser um gás, sua probabilidade de captura de neutrons é elevada. Entretanto, a combinação de hidrogênio com oxigênio sob a forma de água natural (ou "leve") sendo um líquido, pode, em princípio, ser utilizada como moderador, pois o oxigênio, embora mais pesado que o hidrogênio, ainda é suficientemente leve e, ademais, apresenta uma probabilidade de captura de neutrons muito baixa. Resta um único inconveniente, que é a elevada probabilidade de captura de neutrons pelos núcleos de hidrogênio. Isto pode ser contornado aumentando-se a porcentagem de núcleos físséis no combustível.

Em outras palavras, o urânio é "enriquecido", de modo que o teor de urânio-235 (físsil), que é de cerca de 0,7% no urânio natural, seja elevado para, aproximadamente, 3%. Graças a esse enriquecimento, compensa-se o maior número de neutrons capturados pelos núcleos de hidrogênio da água leve, de modo que a reação em cadeia pode se sustentar. Entretanto, sobram muito poucos neutrons para as capturas radioativas nos núcleos de urânio-238 (férteis), que os transformam em núcleos de plutônio-239 (físséis).

D. CM

Por isso, os reatores a água leve apresentam uma baixa "razão de conversão", o que significa que o número médio de átomos físséis produzidos, por átomo físsil consumido, é baixo (da ordem de 0,5). Diz-se, então, que os reatores a água leve não são eficientes quanto à "economia de neutrons".

O elemento seguinte, na lista dos possíveis moderadores, é o deutério - que nada mais é do que hidrogênio com um neutron, além do próton, no núcleo - o que lhe dá um peso atômico duas vezes maior que o do hidrogênio. Por isso, o deutério é também chamado de hidrogênio "pesado". Ainda assim, ele é muito leve e, sob esse aspecto, poderia ser usado como moderador, tanto mais por que sua probabilidade de captura de neutrons é muito reduzida. Entretanto, o deutério também é um gas, de modo que temos que usá-lo combinado com o oxigênio, na forma de óxido de deutério ou "água pesada". Do ponto de vista da economia de neutrons a água pesada é um moderador muito melhor que a água leve, pois as probabilidades de captura de neutrons do deutério e do oxigênio são, respectivamente, 600 vezes e 1 650 vezes menores que a do hidrogênio.

Dos elementos seguintes, apenas o berílio, o carbono e o já citado oxigênio preenchem as condições para serem empregados como moderadores. O berílio foi usado em reatores experimentais a sais fundidos e, no momento, apresenta pouco interesse. Sobre o carbono, que é sólido, e tem uma probabilidade de captura 200 vezes menor que a do hidrogênio.

Assim, para fins práticos, existem três moderadores para os reatores térmicos:

- A água leve, que é desfavorável quanto à economia de neutrons, exigindo o emprego de urânio enriquecido.
- A água pesada, que é excelente quanto à economia de neutrons, podendo ser usada em reatores a urânio natural.
- O carbono, que também pode ser usado em reatores a urânio natural (sob a forma de grafite).

Portanto, dependendo do moderador disponível, os

reatores térmicos utilizam o urânio natural ou o urânio levemente enriquecido, como combustível.

Os reatores térmicos a urânio levemente enriquecido - particularmente os PWR ou reatores a água leve pressurizada, semelhantes aos que são objeto do Acordo Nuclear - tiveram um grande êxito comercial, pois seu projeto é mais simples; uma vez que o uso do urânio enriquecido permite maiores perdas de neutrons e, conseqüentemente, a seleção dos materiais estruturais é feita muito mais em função de suas propriedades mecânicas do que em função da baixa probabilidade de captura de neutrons. Além disso, suas dimensões são consideravelmente menores, pois a geometria para uma reação em cadeia em urânio enriquecido é, evidentemente, mais "compacta" do que para o urânio natural. Aliás, esses reatores foram originalmente desenvolvidos nos Estados Unidos, com a finalidade específica de equipar os sistemas de propulsão dos submarinos nucleares, sendo de se assinalar que, naquele país, já havia uma grande capacidade instalada para enriquecimento de urânio com fins militares; capacidade essa que, posteriormente, passou a atender também à demanda civil. Isto certamente contribuiu para o êxito comercial dos PWR, pois os investimentos numa parte de seu ciclo de combustível - o enriquecimento - já estavam amortizados.

Entretanto, os reatores térmicos a água leve - pressurizados (PWR), ou ferventes (BWR) - apresentam vantagens que os tornam pouco recomendáveis para os países em desenvolvimento, tais como:

- dificuldades no acesso ao urânio enriquecido, que originam uma incômoda dependência do exterior, seja no tocante a fornecimentos, seja no tocante à obtenção de tecnologia para a implantação no país, de instalações de enriquecimento em escala compatível com o programa nuclear local.
- os reatores a água leve apresentam taxas de conversão da ordem de 0,5, o que significa que são desvantajosos no tocante à economia de neutrons. Assim,

eles contribuem muito pouco para a formação dos estoques de plutônio que serão necessários para alimentar os futuros ciclos regenerativos urânio/plutônio. Ademais, esses reatores apresentam a desvantagem adicional de operarem a temperaturas relativamente baixas no "caroço", de modo que sua eficiência térmica é muito reduzida - cerca de 30% - o que os caracteriza como "desperdiçadores de energia".

No tocante ao acesso ao urânio enriquecido, o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, prevê o desenvolvimento conjunto de tecnologia que nos possibilite instalar uma unidade de demonstração, em nosso país, a partir da qual seria construída uma instalação industrial. Admitindo-se que o processo escolhido - que é o processo do "jet nozzle" do Professor Becker - possa ser desenvolvido com sucesso em escala industrial, ainda assim a estratégia adotada apresenta o grave defeito de não garantir uma compatibilidade de escala, da produção, com a demanda que será gerada pelos 8 reatores; de modo que, se estes forem construídos, ficaremos inteiramente dependentes da importação de urânio enriquecido. Ora, à vista do elevado grau de sofisticação do planejamento estratégico alemão, pode-se perfeitamente prever que esta dependência será um instrumento ideal para a indústria nuclear alemã decidir, direta ou indiretamente, sobre o futuro do programa nuclear brasileiro e sobre a utilização de nossas reservas de materiais físséis, materiais esses que poderão ser muito importantes para a economia alemã, nas próximas décadas.

Entretanto, ainda persistem, nos meios especializados, muitas dúvidas quanto à viabilidade industrial e econômica do processo Becker. No momento, pode-se, com otimismo, prever apenas que este processo teria condições de ser viável para a produção em pequena escala, embora apresente a desvantagem de consumir mais energia que os processos de centrifugação e de difusão gasosa [29]. Desse modo, a prudência e o rigor científico desautorizam o excessivo otimismo da administração da NUCLE-

J. M.

BRÁS, quanto ao futuro sucesso industrial e econômico do processo Becker e desaconselham às autoridades a assumirem mais compromissos comerciais no âmbito do Acordo Nuclear, pelo menos enquanto não estiver efetivamente demonstrada a viabilidade industrial e econômica do processo, para produções em escala compatível com a demanda gerada pelos reatores encomendados. Em nosso entender, antes de realizada essa demonstração, o estabelecimento de qualquer compromisso comercial voltado para a implantação de outros reatores, além dos já contratados (Angra II e III), constituiria uma decisão apressada e contrária aos legítimos interesses nacionais.

Decisões dessa natureza poderão determinar, a longo prazo, uma completa perda de autonomia, de nossa parte, no processo decisório de importantes setores da economia brasileira que ficarão ao sabor dos interesses e conveniências dos grupos industriais e financeiros ou, mesmo, dos governos de outros países.

A este propósito, abramos um parêntesis, para insistir na necessidade de se impedir que se repitam decisões mal fundamentadas como, por exemplo, a que nos levou a investir perto de 300 milhões de dólares na implantação da fábrica da NUCLEP, que agora está ociosa, e cujos custos financeiros impedirão que, algum dia, ela se torne competitiva, a não ser com pesados subsídios do tesouro nacional.

A construção da NUCLEP poderia, seguramente, ter sido adiada por 15 anos. Por enquanto, as necessidades brasileiras no tocante a componentes pesados podem, perfeitamente, ser atendidas por empresas como a VIBASA, a CONFAB, a COBRASMA, a USIMEC, a Mecânica Jaraguá, a Dedini e algumas outras, que no momento, estão com capacidade ociosa, à qual veio se somar a capacidade ociosa da NUCLEP.

Se observarmos esse quadro com olhos um pouco mais analíticos, chegamos à conclusão de que a construção da NUCLEP foi um hábil estratagema de vendas empregado pelas empresas estrangeiras associadas à NUCLEBRÁS, para nos obrigar a acelerar a

D. M.

execução do Acordo Nuclear. Com efeito, a viabilização da NUCLEP depende das encomendas geradas pela construção das centrais nucleares. Ocorre que as autoridades responsáveis deveriam, no momento oportuno, ter percebido que - com a revelação feita na época de que o potencial hidroelétrico era o dobro do que se imaginava - os prazos entre a construção de uma central e outra deveriam ser consideravelmente espaçados, o que inviabilizaria, pelo momento, uma fábrica de componentes pesados.

Por outro lado, se quisermos construir centrais nucleares para viabilizar a NUCLEP - satisfazendo os interesses das empresas estrangeiras associadas à NUCLEBRÁS, que são, também, fornecedoras diretas de componentes para as referidas centrais - estaremos sobrecarregando, desnecessariamente, a capacidade de investimento do setor elétrico; ou, então, obrigando o tesouro a arcar com pesados subsídios.

Compreende-se, pois, a rapidez com que foi feita a obra da NUCLEP; devidamente gerenciada por engenheiros da KWU e da Voest; e, em contraste, a lentidão com que se arrasta o projeto de desenvolvimento industrial do processo Becker, de enriquecimento de urânio.

Não há dúvidas de que a construção da NUCLEP colocou-nos diante de um difícil dilema: viabilizá-la, comprometendo a viabilidade do setor elétrico e, mesmo, da economia nacional; ou deixá-la ociosa, por alguns anos, para não prejudicar o setor elétrico. É claro que a opção deve recair sobre a alternativa que acarrete menores prejuízos para a nação e que é, certamente, a segunda. Ficamos, assim, na precária contingência de procurar o menor prejuízo, quando o normal seria buscar o máximo benefício para a nação.

Fechemos parentesis e voltemos aos combustíveis nucleares.

Vimos que os reatores térmicos a água leve - como os PWR do Acordo Nuclear - são desfavoráveis quanto à economia de neutrons. Sua taxa de conversão é da ordem de 0,5; ou seja, para cada 2 átomos de material físsil consumidos, é produzido ape

nas 1 átomo físsil, a partir do material fértil. Com isso, mesmo se for feita a reciclagem do plutônio convertido, esses reatores podem extrair apenas 1% da energia "contida" no urânio. Sem a reciclagem, obviamente, essa porcentagem cai para 0,7%, em condições de máximo rendimento.

Por esta razão, as reservas brasileiras de urânio estimadas pela NUCLEBRÁS, se confirmadas na sua totalidade, darão apenas para alimentar, durante 30 anos, um parque gerador nucleoeletrico, com reatores PWR, totalizando 40.000 MW; o que é irrisório face às perspectivas de evolução da demanda após 2.015 - 2.025, quando o potencial hidráulico, somado ao potencial termoeletrico a carvão, estará nos limites de seu aproveitamento.

Portanto, é indispensável que desde já comecemos a nos preparar - por enquanto no âmbito das instituições de pesquisa citadas na 2ª parte deste trabalho - para responder ao crescimento da demanda de energia após 2.015 - 2.025, concentrando a devida atenção na utilização eficiente de nossas reservas físseis.

Parece claro que essa utilização só será possível com os reatores superconversores (ou reatores com taxa de conversão superior à unidade).

Como vimos no início desta digressão sobre os princípios físicos do emprego da energia nuclear, cada núcleo fissionado por um neutron térmico emite, em média, 2,5 neutrons; dos quais apenas um é necessário para dar sequência à reação em cadeia. Vamos explicar melhor este ponto. A quantidade de neutrons emitidos na fissão de um núcleo depende do nível de energia do neutron que provocou a fissão, e da natureza do núcleo fissionado. Evidentemente, se do número de neutrons emitidos, subtrairmos um; que se destina a prosseguir a reação em cadeia, os que sobram dão a medida, por assim dizer, do "potencial de conversão". Assim temos diferentes "potenciais de conversão", em função do material físsil utilizado e do nível de energia dos neutrons, como está indicado no quadro IV.

QUADRO IV

POTENCIAL DE CONVERSÃO

Nucleo físsil	Neutrons Térmicos	Neutrons Intermediários	Neutrons rápidos
Plutônio-239	1,09	0,75 a 0,90	1,60 a 1,90
Urânio-235	1,07	0,75 a 0,80	1,20 a 1,30
Urânio-233	1,20	1,25 a 1,30	1,40 a 1,50

A análise desse quadro permite uma explicação compreensível e expedita sobre os reatores superconversores. Estamos vendo que nas faixas de neutrons térmicos e rápidos, todos os três materiais físséis utilizáveis apresentam potenciais de conversão superiores à unidade.

Ocorre que é impossível evitar capturas de neutrons em materiais estruturais ou em núcleos de produtos de fissão que vão se formando, de modo que, na prática, as taxas de conversão são sempre inferiores aos potenciais de conversão.

Na faixa de neutrons térmicos, por exemplo, os potenciais de conversão do urânio-235 e do plutônio-239 não chegam a 1,10. Se, no processo de "termalização" dos neutrons, o moderador empregado for a água leve, a única maneira de manter a reação em cadeia é - como já explicamos - enriquecer levemente o combustível em material físsil (cerca de 3%); mas, como a água leve captura muitos neutrons, sobram poucos para a conversão do urânio 238 em plutônio. Por isso, os reatores a água leve apresentam taxas de conversão muito reduzidas (da ordem de 0,5), o que os caracteriza como "desperdiçadores" de neutrons. Note-se que isto significa também que, nesses reatores, grandes quantidades de trabalho de separação isotópica (enriquecimento) são dissipadas com pequeno ganho de plutônio; que seria necessário

J. C. W.

para o futuro desenvolvimento dos ciclos regenerativos de combustível. Assim, com suas reduzidas taxas de conversão, os reatores a água leve permitem o aproveitamento de apenas uma pequena porcentagem da energia "contida" no urânio.

Apesar de tudo isso, os reatores a água leve tiveram sucesso comercial nos países industrializados, devido à relativa simplicidade de seu projeto e, principalmente, por que esses países já dispunham de acesso independente às capacidades marginais de enriquecimento de urânio para fins militares, capacidades essas utilizadas nos projetos civis. Entretanto, é um fato tácitamente aceito, que os PWR constituem uma solução provisória - talvez por 20 anos - para os países que não podem mais ampliar seu parque hidroelétrico; enquanto aguardam o desenvolvimento industrial dos reatores superconversores. É natural, por outro lado, que esses países exerçam grandes pressões comerciais para exportar os PWR, a fim de amortizar os pesados investimentos que fizeram em seu desenvolvimento, visando liberar recursos para o desenvolvimento de novas gerações de reatores [30].

Ainda na faixa dos neutrons térmicos, a situação fica um pouco melhor com o emprego da água pesada - que absorve poucos neutrons - no processo de "termalização" ou moderação. Neste caso, não é necessário enriquecer o combustível e aproveita-se melhor o potencial de conversão do material físsil, podendo-se, com um projeto adequado, atingir taxas de conversão em torno de 0,85, no ciclo urânio/plutônio; com o que esses reatores permitem a utilização de cerca de 3% da energia contida no urânio. Mais adiante, falaremos outra vez sobre os reatores a água pesada.

Voltando ao quadro IV, vemos que, quando se trata de neutrons de alta energia, ou rápidos, o potencial de conversão aumenta muito, podendo chegar a 1,90 para o plutônio-239. Por outro lado, nessa faixa de energia, é possível compensar a probabilidade de captura de neutrons pelos núcleos de urânio-238, competindo com o urânio-235, mediante o enriquecimento do combustível até 15 a 20%, de modo que se pode dispensar o moderador - que é o grande responsável pelo "desperdício" de neutrons - e

D.OM

manter a reação de fissão em cadeia apenas com os neutrons rápidos.

É claro que nunca será possível eliminar completamente as capturas de neutrons em materiais estruturais e em produtos de fissão que vão se acumulando. Mesmo assim, os reatores a neutrons rápidos aproveitam muito bem o potencial de conversão, podendo atingir taxas de conversão superiores à unidade, o que caracteriza os superconversores. Em outras palavras, os superconversores produzem mais material físsil, a partir de material fértil convenientemente colocado, do que o material físsil consumido no combustível. O quadro IV nos mostra que os superconversores mais eficientes são os que trabalham com o ciclo urânio-plutônio.

Com efeito, os protótipos a urânio-plutônio existentes - dos quais o mais conhecido é o Phénix, na França; que é quase um modelo industrial, com seus 250 MW elétricos - têm apresentado taxas de conversão em torno de 1,2.

Com essas taxas, será possível que um superconversor produza, em 20 anos, uma quantidade de combustível suficiente para alimentar, por outros 20 anos, dois reatores iguais a ele.

Por conseguinte, se tudo correr bem no processo de industrialização dos superconversores, os ciclos regenerativos permitirão que se duplique a capacidade instalada de geração a cada 20 anos. Isto, mais uma vez, demonstra como são mal fundamentadas as previsões de que a capacidade instalada, no Brasil, deverá duplicar a cada 10 anos, a partir do ano 2000.

Voltemos ao quadro IV. Estamos vendo que em todas as faixas de energia dos neutrons, o urânio-233 apresenta um potencial de conversão razoavelmente uniforme, variando entre 1,20 e 1,50. Esta característica é particularmente interessante na região térmica, na qual o potencial de conversão do urânio-233 é igual a 1,20, superior, portanto aos potenciais do plutônio-239 e do urânio-235, que não chegam a 1,10. Graças a isso, parece ser possível projetar um superconversor térmico utilizando o ciclo urânio-233/tório, moderado a água pesada. Evidentemente, também se pode projetar um super conversor rápido no ciclo urânio/tó

2.01

rio, porém, nessa faixa, os superconversores no ciclo urânio/plutônio serão mais eficientes, como se depreende no quadro IV.

Espera-se que, com a reutilização do plutônio; descontando-se as capturas e as perdas no reprocessamento e na fabricação dos elementos combustíveis; os reatores rápidos permitirão o aproveitamento de 60% a 70% da energia contida no urânio, ou seja, esses reatores multiplicarão por 60 a 70 a energia que os PWR poderiam extrair da mesma quantidade de urânio.

Vamos voltar ao quadro IV, para falar um pouco sobre os reatores a água pesada. Já tínhamos mencionado que, nesses reatores, não é necessário enriquecer o combustível e que, com um projeto adequado, pode-se chegar a uma taxa de conversão de 0,85, no ciclo urânio/plutônio. No ciclo urânio-233/tório, os reatores a água pesada deverão apresentar taxas de conversão bem maiores, graças ao potencial de conversão do urânio-233 na faixa térmica, que é maior do que os potenciais do plutônio-239 e do urânio-235. Existe, mesmo, a possibilidade de se projetar um reator a água pesada - e um sistema de reciclagem do urânio-233 formado a partir do tório-232 - de modo a se obter uma taxa de conversão um pouco superior à unidade.^(*) Teríamos, então, um superconversor a neutrons lentos que, evidentemente, teria sobre os superconversores a neutrons rápidos a vantagem de ser mais simples, particularmente no tocante aos sistemas de controle e regulação, e também, evidentemente, no sistema de refrigeração primária.

Mas o que é mais interessante é que o "coração" de um tal reator poderia ser projetado para operar no ciclo urânio/plutônio e, posteriormente, no ciclo urânio-233/tório, mediante uma geometria adequada, com previsão para colocação de uma "cobertura" entre o "caroço" e o refletor.

Embora já haja projetos conceituais, um reator desse tipo ainda não foi projetado em detalhe, uma vez que os países industrializados, que criaram e detêm a tecnologia dos PWR e do ciclo do urânio, ainda não se interessaram pelo ciclo do tório, a não ser marginalmente.

É natural, entretanto, que, sob os pontos de vista estratégico e econômico, esses reatores seriam excepcionalmen

(*) De resto, poder-se-ia obter altas taxas de conversão com o ciclo urânio/tório até mesmo em reatores a água leve, desde que se dimensione convenientemente a relação moderador/combustível.

J. CN

te talhados para as condições brasileiras pois:

- dispensam o enriquecimento do combustível, o que elimina um grave ponto de insegurança em nosso futuro abastecimento. Por outro lado, exigem água pesada. Mas a produção desta é um problema tecnológica e industrialmente mais simples que o enriquecimento do urânio.
- mesmo que não se consiga obter uma taxa de conversão superior à unidade, certamente serão obtidas taxas superiores a 0,9, o que permitirá, além da produção de eletricidade, a estocagem de grandes quantidades, seja de plutônio, seja de urânio-233, para alimentar os futuros reatores a neutrons rápidos.
- as perspectivas do abastecimento hidroelétrico para as próximas décadas, nos dariam, pelo menos, 10 anos de prazo para desenvolver um protótipo desse reator, protótipo esse que seria transposto para a escala industrial já na década de 1990, de modo que poderíamos tê-lo ligado na rede comercial nos primeiros anos do próximo século, fornecendo energia elétrica e produzindo materiais físséis para os reatores a neutrons rápidos, que viriam a seguir.

É esta, portanto, a estratégia que deveria orientar um legítimo Programa Nuclear Brasileiro, completamente independente do Acordo Brasil-Alemanha que, na verdade, é um apêndice do Programa Nuclear Alemão.

A propósito, cabe assinalar que as empresas alemãs KWU e sua subsidiária INTERATOM estão desenvolvendo um reator que poderá, eventualmente, operar no ciclo do tório. Trata-se de um reator a alta temperatura, refrigerado a hélio, conhecido como "Kugelhaufenreaktor", ou reator de leito de esferas. Entretanto, todo o esforço de desenvolvimento desse reator - principalmente no tocante aos elementos combustíveis, que são pequenas esferas recobertas com camadas de grafite - está voltado para a produção de altas temperaturas de saída no hélio refrigerante (cerca de 950°C); e não para a obtenção de elevadas taxas de

D.OM

conversão. De fato, o reator se destina a gerar, principalmente, calor de processo para a gaseificação de carvão. Como sabemos, a Alemanha dispõe de reservas das maiores do mundo de carvão de excelente qualidade, carvão esse que pode ser gaseificado; ou processado, através de reação química com hidrogênio, na produção de metano. Com o desenvolvimento desses reatores, a Alemanha espera dar um importante passo para a solução de seu problema dos combustíveis.

Evidentemente, seria ocioso assinalar que esses reatores não apresentam interesse para o Brasil. Com efeito, nossas reservas carboníferas são muito menores que as alemãs, e o carvão é diferente. Em nosso entender, essas reservas devem ser beneficiadas localmente, destinando-se a parcela coqueificável para a indústria siderúrgica. Do restante, uma parte poderia ser gaseificada (a UNICAMP e outras instituições estão estudando soluções especiais para os tipos de carvões brasileiros); e a parte de "carvão vapor" destinar-se-ia à geração termoelétrica, podendo contribuir com 25.000 MW para o sistema elétrico de região centro-sul.

Portanto, não deverá haver lugar, no Brasil, para os "Kugelhaufenreaktoren". Contudo, como dissemos anteriormente, a KWU adota rotineiramente a política de procurar dividir com eventuais importadores, os investimentos que estão sendo feitos no desenvolvimento das novas gerações de reatores [30]. Essa política é justa e compreensível, quando analisada sob o ângulo dos interesses daquela empresa, cabendo aos eventuais clientes avaliar se, para eles, será positiva a importação dos "pacotes tecnológico-industriais" da KWU.

No caso dos "Kugelhaufenreaktoren", é natural que a KWU, através da NUCLEBRÁS, esteja procurando colocar suas vendas no Brasil. Cabe-nos alertar as autoridades competentes para a inconveniência de qualquer programa voltado para o desenvolvimento industrial desses reatores em nosso país.

Implicações militares: Não poderíamos terminar este trabalho sem analisar certas implicações militares que um programa nuclear como o Acordo Brasil-Alemanha poderia, eventualmente, enfeixar. De fato, se nas duas primeiras partes desta análise, não en

J. M.

contramos razões suficientes para justificar um programa tão oneroso, quer no contexto do desenvolvimento econômico e social do Brasil, quer no tocante à economicidade intrínseca do programa; cabe-nos, agora, em nome do espírito de pesquisa, procurar uma justificativa no campo militar.

Vamos colocar a questão separando as eventuais cor relações diretas que poderiam existir entre o Acordo Nuclear e o Poder Militar, no campo dos armamentos nucleares; das correlações que seriam induzidas indiretamente, pela perspectiva de transferência de tecnologia no campo dos armamentos convencionais, acompanhada ou não de exportações de equipamentos.

No que diz respeito às primeiras, seu fulcro seria um hipotético plano destinado a dotar o país de artefatos nucleares de fins bélicos, utilizando para isso, em escala marginal, o plutônio produzido na instalação de reprocessamento prevista no Acordo.

Nesse caso, abstraídos os aspectos éticos, também não encontramos justificativa nem explicação plausível para o Acordo, pois se o objetivo fossem as armas nucleares, "seria muito mais rápido e barato construir instalações destinadas, especificamente, à fabricação de armas nucleares, do que criar um programa completo de geração eletrônica que possa, então, ser usado como base para um programa bélico" [31].

Tais instalações compreenderiam, basicamente, um reator a água pesada, com fluxo de neutrons convenientemente projetado para produzir - com máxima eficiência - plutônio a partir de urânio natural; e uma instalação de reprocessamento, para recuperar o plutônio produzido, através de processos químicos absolutamente convencionais. O reator e a instalação de reprocessamento custariam, juntos, cerca de 60 milhões de dólares, ou seja, cerca de 50 vezes menos do que custará apenas a usina de Angra II.

Por outro lado, o plutônio produzido nos elementos combustíveis dos reatores PWR não apresenta uma boa composição isotópica para a fabricação de artefatos bélicos, pois além do plutônio-239, que é o apropriado para os mesmos, formam-se por

J. W.

centagens consideráveis dos isótopos mais pesados, particularmente do plutônio-240, que não é físsil e cujo teor chega a 25% nos elementos combustíveis submetidos às altas taxas de irradiação que caracterizam os PWR. De modo que, embora essa mistura pudesse ser empregada em armamentos, as quantidades necessárias seriam muito maiores e os mecanismos de detonação consideravelmente mais complexos [32] .

Nesse particular, os reatores a água pesada seriam mais adequados, pois produzem mais plutônio, com maior teor do isótopo-239; além de facilitarem o acesso à água pesada que, então, poderia ser usada em reatores especialmente projetados para produzir plutônio de qualidade militar.

Por conseguinte, seria mais plausível que houvesse uma correlação direta entre o Acordo Nuclear e o Poder Militar, se tivéssemos escolhido a linha dos reatores a água pesada; como fez a Argentina. Acreditamos, entretanto, que esse país também não visa a produção de artefatos bélicos, através de seu programa nuclear.

No tocante às correlações entre o Acordo Nuclear e o Poder Militar, que poderiam ser induzidas indiretamente, pela perspectiva de intercâmbio no campo dos armamentos convencionais, não acreditamos que uma cooperação dessa natureza, por mais importante que fosse, possa justificar um programa das proporções e do custo do Acordo Nuclear.

* * *

Ao longo do presente trabalho, analisamos o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, a diferentes níveis de detalhamento, quanto a seus aspectos econômicos, políticos, sociais, estratégicos e militares. Não conseguimos, objetivamente, encontrar razões suficientes para justificar, ou sequer esclarecer, sua realização sob a cronologia inicialmente proposta por seus idealizadores.

Ficamos, pois, convencidos de que o grau de prio-

J. A. W.

ridade, atribuído à execução do restante do Acordo, deve ser revisto, em favor de projetos inadiáveis, como os mencionados na 2ª parte deste estudo. Na revisão, o prosseguimento do Acordo deve ser harmonizado com as reais necessidades de nosso país, nas próximas décadas, tendo em vista a providencial dotação de recursos naturais de que dispomos, que oferecem aos técnicos, cientistas, engenheiros e industriais brasileiros, a possibilidade de desenvolver e industrializar alternativas energéticas que não são disponíveis na maioria dos países industrializados.

* * *

O objetivo deste trabalho não foi fazer críticas gratuitas ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, mas sim analisá-lo, de maneira objetiva e construtiva.

É bem verdade que a análise franca de determinados aspectos comerciais, que inspiram a concepção do Acordo, pode ser tomada como um agravo, pelos funcionários brasileiros que participaram das negociações iniciais e que, atualmente, administram sua implantação.

Compreende-se que assim seja - pois é inerente à condição humana, o apego a idéias e princípios adquiridos com convicção de certeza, sobretudo quando estes são alvo de uma campanha de críticas tão intensa, como a que é movida contra os princípios e idéias que regem a execução do Acordo Nuclear.

Mas desejaríamos que assim não fosse, a fim de que - com a colaboração das instituições de pesquisa industrial reconhecidamente competentes que existem em nosso país, e de alguns tradicionais e notôriamente qualificados estabelecimentos industriais brasileiros - os administradores públicos pudessem, com os espíritos desarmados, reavaliar minuciosamente cada projeto do Acordo, para separar seus inúmeros aspectos positivos dos aspectos negativos - muitos dos quais foram assinalados neste documento - e replanejar sua execução de modo ajustado aos interesses nacionais mais legítimos, e sem ferir nenhum compromisso assumido com o Governo da República Federal da Alemanha.

J. F. de Carvalho
maio de 1981

REFERÊNCIAS

- [1] "Energy and Economic Tables Related to IAEA Member States 1950 - 1978", Publicação da Secção de Estudos Econômicos da Divisão de Energia Nuclear e Reatores, da Agência Internacional de Energia Atômica, Viena (V. págs. 5, 10, 15, 20, 30, 45 e 65).
- [2] "World Energy Supplies: 1973 - 1978", Statistical Papers, Series J nº 22 - United Nations, NY, 1979 (V. tabelas 2 e 25).
- [3] Valadão, S. C. e Montandon, E. - "A Respeito dos 'Prós e Contras", Revista da ADIME, nº 7 - Dezembro de 1980 (V. págs. 21 a 32)
- [4] Fornallaz, P. - "Voraussetzungen und Möglichkeiten der Sonnenergienutzung", Trabalho apresentado pelo Professor Fornallaz, da Politécnica de Zurique, no seminário sobre energia nuclear e alternativas, promovido em maio de 1978 pela Sociedade Suíça de Energia Atômica (V. págs. 5 a 10: "Energiebedarf und Bruttosozialprodukt").
- [5] Carvalho J. F. - "Considerações sobre as Tendências do Consumo de Energia no Brasil", Segurança e Desenvolvimento, nº 176, Setembro de 1979 (V. págs. 39 a 49).
- [6] Lovins, A. - "Soft Energy Paths", Pelican Books, 1977.
- [7] Amarante, J. A. A. - "Correlação Energia-Desenvolvimento e a Estratégia Nuclear no Brasil", Anais do II Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, abril de 1981 (V. págs. 841 a 851).

J. A. A.

- [8] "Substitution von Erdöl durch Sonnenergie", EIR-Bulletin, Würenlingen, April, 1977.
- [9] Blamoutier, F. et alii - "Alternatives au Nucleaire", Presses Universitaires de Grenoble, 1975 (V. págs. 59 a 67).
- [10] Hayes, D. - "Energy: The Solar Prospect", Worldwatch Paper nº 11, March, 1977 (V. págs. 13 a 28).
- [11] Ross, M. et alii - "Efficient Use of Energy: A Physics Perspective", Rep. Summer Study on Technical Aspects of Efficient Energy Utilization, N. York - American Phys. Society.
- [12] "Solar News and Views", International Solar Energy Society, Califórnia, Janeiro e Abril, 1976.
- [13] Hourcade, J. C. et Sachs, I. - "Energies Nouvelles et Strategies des Pays en Developpement", Centre International de Recherches sur Environnement et Développement, (V. págs. 11 a 15).
- [14] "Energy from Biological Processes" - U.S. Congress, Office of Technology Assésment, 1980.
- [15] Tourian, K. J. - "Energy: An Overview of Near - Mid- an Long-Term Technologies", Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, 1980.
- [16] "Solar Energy Program Summary Document, FY 1981" - U. S. Department of Energy

J. O. M.

- [17] Rostow, W. W. - "Etapas do Desenvolvimento Econômico", Zahar Editores, 5ª edição (V. págs. 31 a 78).
- [18] Château, B. et Lapillone, B. - "La Prévision à Long Terme de la Demande d'Énergie-Propositions Méthodologiques", Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1977.
- [19] Finon, D. - "Prévision de la Consommation d'Énergie et d'Électricité: les Méthodes Utilisées en France", Trabalho apresentado no seminário franco-americano da Universidade de Wisconsin sobre a previsão energética, Madison, 1974.
- [20] Carvalho, J. F. - "Previsão da Demanda de Energia: Métodos Normativos", Trabalho apresentado no II Simpósio de Energia do Hemisfério Ocidental, Rio de Janeiro, Setembro de 1980.
- [21] Percebois, J. - "Énergie, Croissance et Calcul Économique", Revue Économique, Mai, 1978.
- [22] Carta da NUCLEBRÁS ao Jornal do Brasil, publicada na Seção "Cartas", da edição de 28 de dezembro de 1980.
- [23] "Depoimento do Engenheiro John R. Cotrim ante a CPI do Senado Federal sobre o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha", Brasília, 27 de março de 1979.
- [24] Gonçalves, D. e Menegassi, J. - "Custos comparativos da Energia Elétrica no Brasil", Anais do II Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, abril de 1981. (V. págs. 617 a 632).

J. C. M.

- [25] "Zur Friedlichen Nutzung der Kernenergie" Edição do Ministério da Pesquisa e Tecnologia da RFA, Bonn, 1975. (V. pág. 428).
- [26] Brandon, W. W. - "The Economics of Nuclear Power", Trabalho apresentado na conferência sobre aspectos financeiros da energia nuclear, promovida pelo "Atomic Industrial Forum" em Bal Harbour, Flórida, em 8 de dezembro de 1975. (V. pág. 6).
- [27] Henry, A. F. - "Nuclear-Reactor Analysis", The MIT Press - Cambridge, Massachusetts, 1975. (V. págs. 66 a 112 e 286 a 288).
- [28] Glasstone, S. and Sesonske, A. - "Nuclear Reactor Engineering", Van Nostrand Reinhold Co. 3rd Edition, 1980. (V. págs. 535 a 550).
- [29] Depoimentos do Professor Erwin Becker e do General Dirceu Coutinho, ante a CPI do Senado Federal, sobre o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha - Brasília, 17 e 23 de outubro de 1979.
- [30] Frewer, H. - "Encargos e Problemas na Transferência de Tecnologia Nuclear", conferência pronunciada no Congresso sobre reatores nucleares, realizado em Mannheim em 30 de março de 1977. Pode ser obtida na KWU, sob o código KWU 7560-104.
- [31] Rathjens, G. W. e Carnesale, A. - "O Ciclo de Combustível Nuclear e a Proliferação Nuclear", in O Ciclo do Combustível Nuclear. Ed. Atlântida (V. págs. 23 a 38).

J.W.

- [32] Dr. Hildenbrand, G. - "Kernenergie, Nuklearexporte und Nichtverbreitung von Kernwaffen", Atomwirtschaft, Juli/August, 1977 (V. págs. 375 a 378).

J. Carrillo