

## **ANEXO III**

# **ELEMENTOS PARA DISCUSSÃO DA CONCLUSÃO DE ANGRA III PRÓS E CONTRAS**

**Luiz Pinguelli Rosa**

**ELEMENTOS PARA DISCUSSÃO DA CONCLUSÃO DE ANGRA III  
PRÓS E CONTRAS**

**Luiz Pinguelli Rosa**

I – Introdução – A Percepção da Sociedade e o Passivo da Energia Nuclear .....	2
II – As Tecnologias de Geração Núcleo-Elétrica e o Programa Nuclear Brasileiro.....	3
III – O Controle da Tecnologia contra Proliferação das Bombas Nucleares .....	5
IV – O Risco de Acidentes Nucleares e os Problemas dos Rejeitos Radioativos.....	7
V – Os Problemas Técnicos da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto .....	11
VI – Os Prós e Contras à Retomada de Angra III .....	14
VII – Conclusões .....	18

**Elementos para Discussão da Conclusão de Angra III: Prós e Contras**

## **I - Introdução: A Percepção da Sociedade e o Passivo da Energia Nuclear**

A conclusão de Angra III deve ser vista não isoladamente, como mais um reator nuclear apenas, mas considerando os seus vários aspectos como uma das formas de se apropriar energia primária da natureza para geração de energia elétrica. O fim da guerra fria e a preocupação crescente com as emissões de gases do efeito estufa são vistos por alguns como uma possível reabilitação da energia nuclear para fins pacíficos. Ela ficou desgastada perante grande parte da opinião pública, em muitos países, pelos problemas de seu desvio para fins militares, de um lado, e pelo seus impactos ambientais, simbolizados pelos acidentes com os reatores nucleares de Three Mile Island (TMI) nos EUA e de Chernobil na Ucrânia, na ex-URSS.

Portanto, a geração nuclear de energia elétrica envolve fatalmente duas questões. Primeiro, os usos militares, subjacentes ao enriquecimento do urânio para produção de combustível nuclear e ao reprocessamento para obtenção do plutônio produzido nos reatores. Segundo, os riscos de disseminação de material radioativo por acidentes em reatores ou pelos problemas de disposição dos rejeitos nucleares.

Houve uma evolução de percepção da sociedade em geral sobre a energia nuclear no mundo. Em uma primeira fase, na segunda metade da década de 40, o choque da brutalidade antes inimaginável das explosões das bombas nucleares em Hiroshima e Nagasaki foi abafada pela euforia do fim da Guerra Mundial. Seguiu-se o seu uso em submarinos nucleares já na década de 50, enquanto se desenvolviam os reatores para geração elétrica, cuja importância cresceu na década de 60. Nesta fase predominava a expectativa da energia nuclear como uma forma de substituir no futuro os combustíveis fósseis. Enquanto uma reação química libera da ordem de 1 elétron volt (eV) de energia, em uma fissão do núcleo do isótopo 235 do urânio são liberados 200 milhões de eV. Em uma proporção linear, cada grama de U-235 equivale a mais de uma tonelada (1 milhão de gramas) de carvão ou de petróleo e não apresenta a poluição da fumaça, da poeira do carvão ou dos vazamentos de óleo.

A fase seguinte veio com os movimentos ecologistas e pacifistas anti nucleares na passagem dos anos 60 para os 70, levantando sérias preocupações com os riscos da tecnologia nuclear. Em consequência, a aceitabilidade social desta caiu. Apesar disso, com os choques do petróleo em 1973 e 1979, foram feitas projeções de um enorme crescimento da energia nuclear em substituição ao óleo combustível na geração elétrica. Mas restrições ambientalistas da opinião pública em alguns países e os custos comparativos do kW nuclear desfizeram essas projeções otimistas. Nos EUA o estudo da Fundação Ford/Mitre Corporation comparando a energia nuclear ao carvão favoreceu este último, que recebeu prioridade no governo Carter, o qual decidiu abandonar o desenvolvimento da tecnologia dos reatores rápidos regeneradores e o reprocessamento do combustível irradiado.

O auge da crítica à energia nuclear ocorreu com os acidentes de TMI no fim da década de 70 e de Chernobyl já em meados dos anos 80. Após o primeiro deles nenhuma nova encomenda de central nuclear foi feita nos EUA, embora outros países como a França e o Japão tenham continuado importantes programas nucleares de geração elétrica.

A discussão do efeito estufa, intensificado pelas emissões antropogênicas de gases para atmosfera, entre eles o dióxido de carbono oriundo da queima de combustíveis fósseis, recolocou nos anos 90 a energia nuclear por não emitir gases de combustão, ao lado da energia hidrelétrica. Estudos recentes da COPPE mostram que as hidrelétricas emitem gases do efeito estufa, embora em geral menos do que as termelétricas, de modo que neste aspecto as usinas nucleares têm maior vantagem.

Estas diferentes fases vão, portanto, da perplexidade frente ao poder de destruição das bombas nucleares lançadas contra o Japão no fim da Segunda Guerra, à esperança da energia nuclear abundante e limpa para fins pacíficos, à consciência de seus riscos ambientais e de extermínio da humanidade pelo uso militar, e, finalmente, à sua possível reabilitação por não emitir gases do efeito estufa.

Permanecem entretanto alguns problemas a serem discutidos, como veremos. A percepção da sociedade sobre a energia nuclear varia não só no tempo, como vimos acima, mas também no espaço, de um país para outro. Ela é bem aceita na França e não na Itália, no Japão e menos nos EUA, na Argentina e não tanto no Brasil.

Em nosso país a construção dos reatores nucleares nasceu com a marca do regime militar. O reator de Angra I, comprado da Westinghouse, tem problemas técnicos, sofreu inúmeras interrupções por motivos de segurança contra acidentes, há menos de dois anos, e terá de sofrer um reparo de grande proporções para continuar funcionando. A construção de Angra II levou nada menos que 25 anos, teve problemas na obra, especialmente nas fundações que tiveram de ser reforçadas devido a um erro de cálculo da Siemens, apontado por engenheiros da Promon e da CNEN. O seu custo foi absurdamente alto, dentro do Acordo Nuclear com a Alemanha, pelo qual o país pagou cerca de 8 bilhões de dólares e foi um fracasso.

Para desenvolver a tecnologia que não foi transferida pelo Acordo, os militares implementaram o Programa Nuclear Paralelo. Sua parte mais importante foi a da Marinha, que fez o projeto e começou a construção, no centro de Aramar em São Paulo, de um protótipo de reator para um submarino nuclear de ataque, não portador de mísseis nucleares, e teve êxito no enriquecimento de urânio, que fora frustrado no Acordo. Mas a parte do Exército, um reator de urânio natural e grafite, e a da Aeronáutica, encarregada de desenvolvimento de várias tecnologias complementares, não foram positivas. Ademais houve a aventura até hoje mal explicada do teste de uma bomba nuclear, frustrado, na Base Aérea de Cachimbo.

O acidente radioativo com o céσιο 137 de um equipamento médico abandonado irregularmente em Goiânia causou mortes, inclusive de uma criança, e pode ter causado muitos casos de câncer na população. Entretanto, a Fundação Leide das Neves criada pelo governo estadual para cuidar das vítimas foi desativada, com a omissão do governo federal. E, apesar do debate nacional e da repercussão internacional, no final prevaleceu a impunidade dos responsáveis maiores, os proprietários do hospital que abandonou, em um prédio velho em ruínas, um equipamento usado com a cápsula de céσιο 137 dentro. Em decorrência foi construído um depósito de lixo radioativo em Abadia, junto a Goiânia, mas não há até hoje definição da localização do depósito final para os rejeitos dos reatores.

Angra III se destina à geração elétrica, que passa por um momento de crise, evidenciada pelo racionamento. Esta crise é fruto de um processo de privatização que ignorou os aspectos técnicos, relegados pela política econômica. Abandonou – se o planejamento da expansão do setor elétrico, deixado ao sabor do mercado e dos

investidores estrangeiros, direcionados para compraram empresas antes estatais ao invés da construção de novas usinas e linhas de transmissão. A própria criação da Eletronuclear foi relacionada à necessidade de desmembrar a parte nuclear de Furnas para permitir sua privatização, hoje bastante questionada. A solução de fundir a geração eletronuclear, antes a cargo de Furnas, com a produção de reatores, antes a cargo da Nuclen, é vulnerável. A legislação da Alemanha, país do nosso parceiro nesta área, aponta para a separação destas atividades por razões de segurança, pois o utilizador ajuda a fiscalizar o fabricante e vice versa.

.Há um passivo, portanto, a ser posto a limpo na área nuclear. Podem-se considerar como relevantes os problemas:

- As opções tecnológicas e as perspectivas da energia nuclear
- O controle contra proliferação de bombas nucleares
- O risco de acidentes com os reatores nucleares
- A disposição dos rejeitos radioativos
- O desenvolvimento de novas tecnologias de reatores, mais seguros
- O uso da energia nuclear para evitar emissões de carbono para atmosfera
- A integração da geração nuclear em uma política energética nacional.

## **II – As Tecnologias de Geração Núcleo- elétrica e o Programa Nuclear Brasileiro**

Para avançar nesta questão é necessário considerar os aspectos tecnológicos da energia nuclear. Existem diferentes linhas de reatores de fissão nuclear. A fusão nuclear é usada apenas nas atuais ogivas nucleares, pois ainda não foi controlada para geração elétrica.

Em resumo as linhas tecnológicas comerciais hoje são as de reatores térmicos

- a) Reatores a urânio enriquecido:
  - Com água leve pressurizada (PWR)
  - Com água leve fervente (BWR)
  
- b) Reatores a urânio natural:
  - Com água pesada

- Com grafite

Logo após a Segunda Guerra, os EUA desenvolveram os reatores compactos de urânio enriquecido e água leve (comum) pressurizada (PWR) para submarinos. Os reatores para geração elétrica foram desenvolvidos em duas grandes linhas tecnológicas. Uma delas usa o urânio enriquecido tendo a água como moderador. Nela se incluem os PWR desenvolvidos pela Westinghouse, inicialmente sob contrato com a Marinha norte americana, bem como os reatores de água fervente (BWR) desenvolvidos pela General Electric (GE).

A linha de urânio natural tinha a vantagem de evitar o enriquecimento para aumentar a proporção dos núcleos atômicos de U-235, físsil. O urânio natural contém 0,7% de U – 235 que exibe alta seção de choque (probabilidade) de fissão quando bombardeado por neutrons térmicos (de baixa energia). Os restantes 99,3% são núcleos de U –238, que nos reatores podem se transformar no plutônio 239 (Pu – 239), também físsil. Em compensação, com urânio natural não se pode usar a água comum como moderador. A função do moderador é desacelerar os neutrons, produzidos na fissão com alta energia, trazendo –os para a faixa de energia térmica, onde é mais alta a seção de choque de fissão do U-235. O problema é que a água absorve neutrons produzindo deutério e raio gama, impedindo a sustentação da reação em cadeia com apenas 0,7% de U-235. Por isso há duas alternativas para os reatores térmicos:

- a) o uso do urânio enriquecido com a água comum como moderador;
- b) o uso do urânio natural com outro moderador: a água pesada ou o grafite (carbono).

A água pesada exige o enriquecimento da água. Para fugir disso, a tecnologia dos reatores a urânio natural e grafite, com refrigeração a gás, foi a escolha inicial da França e da Inglaterra. A Inglaterra passou a usar reatores de urânio ligeiramente enriquecidos (cerca de 1% de U-235), gás e grafite do tipo AGR (Advanced Gas Reactor), aos quais se assemelha o reator de Chernobil acidentado na Ucrânia.

A França, após o governo nacionalista De Gaulle, adquiriu a patente de Westinghouse e desenvolveu, na empresa Framatone, os reatores do tipo PWR, também adotados pela Siemens na Alemanha, à qual o Brasil se associou pelo Acordo Nuclear.

A tecnologia de reatores a urânio natural e água pesada foi usada principalmente no reator Candu canadense, e adotada também pela Índia e depois pela Argentina.

Os reatores PWR passaram a ter absoluta hegemonia em nível mundial, apesar de terem alguns problemas conceituais devidos à sua extrema compactação, com alta densidade de potência e alta pressão, de cerca de 150 atmosferas, dado que foram concebidos para uso em submarinos. Têm a vantagem de usarem dois circuitos de refrigeração. Um deles, o primário, conduz a água de refrigeração entre o gerador a vapor (GV) e o vaso de pressão, onde se dão as fissões nas barras contendo óxido de urânio com encamisamento de Zircaloy, um aço com zircônio desenvolvido para resistir às condições de temperatura, pressão sob bombardeio dos neutrons e outras partículas. O circuito secundário leva o vapor do GV à turbina e desta ao condensador, de onde é bombeada a água de volta ao GV. Esta é a tecnologia dos reatores de Angra I, II e III.

No caso do Brasil, onde há ainda um grande potencial hidrelétrico e outras fontes renováveis de geração elétrica, o uso da tecnologia nuclear pode ser voltada a adquirir conhecimento para possíveis desdobramentos futuros.

Entretanto, o potencial energético do urânio com a presente tecnologia dos reatores térmicos acima referida é muito limitada, pois efetivamente se utiliza uma fração das reservas de urânio natural, já que apenas 0,7% dele é físsil.

As linhas tecnológicas de reatores que poderiam suceder os atuais podem ser divididos em:

- a) Reatores térmicos:
  - Reatores a gás e de alta temperatura (HTGR)
  - Reatores avançados
- b) Reatores rápidos regeneradores
  - Refrigerados a metal líquido (tipo Fenix e Superfenix franceses)
  - Com outros refrigerantes (menos importantes).

A tecnologia dos reatores rápidos regeneradores permitiria o uso total do urânio pela conversão total do U – 238 em Pu – 239. Os reatores regeneradores utilizam neutrons rápidos e têm o problema de que, ao contrário dos reatores térmicos, não são intrinsecamente seguros contra uma explosão nuclear do material físsil neles existente.

Os reatores rápidos regeneradores foram abandonados pelos EUA, para evitar o reprocessamento do combustível usado em larga escala, e o projeto euro – francês dos regeneradores Fênix e Superfênix foi congelado devido aos problemas tecnológicos deste



último. Os reatores térmicos de alta temperatura (HTGR) tiveram também seu desenvolvimento congelado. Houve assim uma frustração do desenvolvimento da futura geração de reatores. Um grande esforço tem sido recentemente concentrado nos reatores térmicos avançados, que veremos depois.

Havia uma tradição histórica no Brasil de busca do desenvolvimento da tecnologia nuclear para fins pacíficos, desde a tentativa de fazer o enriquecimento do urânio, pelo Almirante Álvaro Alberto, na década de 50, muito depois concretizada pela Marinha em Aramar. Outro marco importante foi o projeto do tório, liderado pelo antigo Instituto de Pesquisas Radioativas (IPqR), fundado em Belo Horizonte tendo a frente Francisco Magalhães Gomes. Visava desenvolver primeiramente um reator a urânio natural, muito defendido pelo Sérgio Salvo Brito, a quem presto uma homenagem como símbolo, falecido prematuramente. Além do IPqR, hoje CDTN, foi fundado na década de 50 o IEA, hoje IPEN, em São Paulo, e na década de 60 o IEN, no Rio, cada um deles com um pequeno reator de pesquisa.

Em parte estimulado pela iniciativa da Argentina com a qual rivalizava não em termos bélicos mas sim econômicos e políticos na América Latina, o Brasil decidiu fazer sua primeira central nuclear ao fim da década de 60. Entretanto optou pela tecnologia do urânio enriquecido, ficando dependente dos EUA para fornecê-lo. Comprou seu primeiro reator PWR, Angra I, que está em operação, da Westinghouse, com cerca de 600 MW.

Com o primeiro choque do petróleo, em 1973, os EUA suspenderam a garantia de fornecimento de urânio enriquecido, deixando vulnerável a opção brasileira.

Em resposta o Brasil fez em 1975 um ambicioso acordo com a Alemanha, com uma previsão inicial de 8 grandes reatores até 1990 com 1300 MW cada um, dos quais apenas o primeiro, Angra II, foi concluído apenas em 2000, 25 anos depois, totalizando um custo de cerca de 7 bilhões de dólares, incluindo os juros durante a construção. Este custo astronômico terminou absorvido pelo Tesouro Nacional, caso contrário a tarifa da energia nuclear seria impagável. Angra III ficou congelado e sua retomada está agora em discussão. Os demais ficaram no papel.

A empresa alemã responsável pela tecnologia dos reatores em associação com a estatal Nuclebrás, agora extinta, foi a Siemens presente também na área nuclear argentina. No Brasil interveio sua subsidiária nuclear, a KWU, também extinta hoje.

A Nuclen, uma das subsidiárias da Nuclebrás, associada à Siemens, foi recentemente fundida com a parte nuclear de Furnas Centrais Elétricas, dando origem à Eletronuclear.. No lugar da Nuclebrás existem hoje a Eletronuclear, na construção e operação de reatores, e a Indústrias Nucleares do Brasil, no ciclo do combustível.

Além dos reatores, o acordo com a Alemanha envolvia o ciclo do combustível nuclear, sofrendo por isto enorme pressão contrária dos EUA. Não funcionou o enriquecimento, pelo processo adquirido, de jato centrífugo, assemelhado ao usado na África do Sul, também de origem Alemã. O reprocessamento não foi levado adiante, sendo mais visado pelas pressões norte americanas por ser um ponto crucial para obtenção do plutônio, que pode ser usado para as bombas nucleares.

### **III – O Controle da Tecnologia contra a Proliferação de Bombas Nucleares**

O fracasso do Acordo com a Alemanha motivou um programa nuclear paralelo no âmbito das forças armadas, inicialmente secreto. Com o fim dos governos militares e o advento da democracia, veio à público este programa, que teve êxito no enriquecimento de urânio por ultracentrifugação, no âmbito da Marinha. Foi anunciado pouco depois de a Argentina divulgar seu projeto de enriquecimento ao fim de seus governos militares. A tecnologia argentina era entretanto outra, a da difusão gasosa. O projeto brasileiro incluía além do enriquecimento o desenvolvimento de um reator para submarino. Foi levado adiante do Centro da Marinha em Aramar, em São Paulo, onde se construiu o protótipo da usina de enriquecimento.

Foi denunciada, já no primeiro governo civil após o período da ditadura militar, a realização de uma perfuração de cerca de 300 m de profundidade e pouco mais de 1 m de diâmetro na Base Aérea de Cachimbo, no interior do Pará, Um estudo da Sociedade Brasileira de Física concluiu que se destinava a um teste nuclear, determinando a potência da explosão programada em função das dimensões do poço. No governo do presidente Fernando Collor de Melo foi oficialmente reconhecido o projeto do teste nuclear e cancelado publicamente, com grande repercussão internacional. Não há nenhum indício de que tenha continuidade este projeto no Brasil.

No caso latino americano há o Tratado de Tlatelolco proibindo o uso de armas nucleares, já ratificado. Deve-se acrescentar o Acordo Bilateral de Inspeções Mútuas entre a Argentina e Brasil, bem como a conseqüente criação da Agência Brasileira Argentina de Contabilidade e Controle de Material Nuclear, ABACC, com participação da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). No Brasil a Constituição de 1988 proibiu o emprego da tecnologia nuclear para armas nucleares. Em adição a Argentina e o Brasil assinaram o TNP. A razão para o Brasil não assiná-lo anteriormente, juntamente, com Índia, Israel e Paquistão, é sua assimetria entre países nucleares, que não assumem obrigações efetivas de eliminá-las, e os demais, que não as possuem. Este assunto foi tratado em encontro do físico Joseph Rotblat, Nobel da Paz, e o presidente do Pugwash, com o presidente Fernando Henrique Cardoso por ocasião de um seminário na COPPE, sobre desarmamento nuclear e não proliferação, pouco antes de o Brasil resolver assinar o TNP.

Um argumento em geral apresentado para a reabilitação da energia nuclear foi o fim da guerra fria, afastando o medo da troca maciça de ogivas nucleares entre os EUA e ex URSS, com risco do chamado inverno nuclear, apesar de permanecerem os arsenais nucleares dos estados nucleares – Inglaterra, França e China além de EUA e Rússia. A estes, reconhecidos como tais pelo Tratado de Não Proliferação (TNP), renovado em 1995 sem qualquer compromisso para eliminação dos arsenais nucleares, são acrescidos por presumidamente possuírem um certo número de bombas nucleares, Israel, Índia e Paquistão. A África do Sul no processo que levou ao poder o presidente Mandela eliminou as que possuía, e não se pode levar a sério a existência delas na Coreia do Norte e no Iraque. Ademais há o perigo ter havido disseminação das bombas nucleares menores desviadas da ex URSS, que passou por uma fase de extrema desorganização política. Este ponto ganha atualidade em 2001 por dois fatores:

- a) A vulnerabilidade do sistema de defesa dos EUA revelada pelos ataques sincronizados ao World Trade Center e ao Pentágono por um grupo terrorista suicida, podendo desencadear uma escalada de retaliações militares: dos norte americanos, contra países pobres suspeitos de abrigarem militantes anti – americanos, e de novos atos terroristas, podendo em linha de máxima explodir um artefato nuclear em uma grande cidade.

- b) A disposição anunciada pelo Presidente Bush de mudar a doutrina de emprego das armas nucleares, até então declaradas como armas de dissuasão, destinadas à defesa contra potenciais ataques nucleares, propondo admitir a partir de agora o emprego de armas táticas, de potência menor, em teatros de operações delimitados, combinadas com escudos anti mísseis móveis localizados.

#### **IV - O Risco de Acidentes Nucleares e os Problemas dos Rejeitos Radioativos**

O reator de TMI que se acidentou na Pensilvânia era do tipo PWR, mas tinha um sistema um pouco diferente do modelo Westinghouse. O acidente, iniciado com a falha de uma bomba do secundário, de menor importância, tornou-se grave pois a manutenção esquecera fechado os ramais de “bypass”, interrompendo a circulação e a retirada do calor gerado no primário, aumentando acima do permitido a temperatura do GV, a qual disparou o sistema de refrigeração de emergência do primário (ECCS = emergency core cooling system). Houve a abertura de uma válvula no pressurizador que ficou emperrada, mas o operador não leu esta informação no painel do controle, desligando então o ECCS com temor de romper as tubulações do primário. Com isso houve perda de refrigerante (LOCA = loss of coolant accident) arriscando derreter as barras de combustível, o que ocorreu parcialmente espalhando parte do material radioativo produzido nas fissões, que ficou retido felizmente no prédio da contenção.

A existência desta contenção, uma característica dos reatores com vaso de pressão que podem romper-se, foi uma diferença essencial entre o reator de TMI e o de Chernobil. Este era considerado como uma aproximação do conceito de reatores intrinsecamente seguros desenvolvido após o acidente de TMI. A razão era o uso do grafite, sólido, com refrigeração à água por tubulações inseridas junto às barras de urânio em orifícios na pilha de grafite, sem vaso de pressão e portanto dispensando prédio de contenção. O ponto forte, moderador sólido sem vaso de pressão, se tornou o ponto fraco, ausência de contenção, quando o grafite se incendiou devido a uma excursão de reatividade, que cresceu de modo descontrolado localmente em uma célula por erro do operador. Aqui surge o ponto comum com o acidente de TMI: em ambos predominou a falha humana. A diferença crucial foi que em Chernobil o material radioativo se espalhou no ambiente, causando mortes e

obrigação a evacuação da população em uma raio de algumas dezenas de quilômetros. Uma consequência da constatação do risco devido a falhas humanas foi a mudança de vários sistemas de controle e interface entre o reator e os operadores. No Brasil a COPPE – realizou o projeto de mudança do sistema de Angra I de acordo com os novos padrões estabelecidos após o acidente de TMI. Um dado relevante é ter sido o custo para a empresa Furnas, estatal elétrica então proprietária do reator, uma fração do que havia sido cobrado pela Westinghouse.

Para alguns analistas, a gravidade maior de Chernobil deveu-se, em parte, ao menor controle social da tecnologia. Nos EUA, a pressão dos movimentos sociais influenciou em novas exigências do órgão regulador e licenciador, lá a Comissão Reguladora Nuclear (NRC) que se desmembrou da antiga Comissão de Energia Atômica, separando a fiscalização do fomento e desenvolvimento tecnológico. Entretanto, em outros países como a França ocorre o oposto: a fusão destas funções, tendo apesar disto uma boa performance quanto à sua segurança. No Brasil estas funções estiveram reunidas na Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e separaram-se relativamente após o Acordo com a Alemanha com a criação da Nuclebrás. A proposta discutida na SBPC era subordinar o órgão regulador nuclear ao Congresso.

O armazenamento dos rejeitos radioativos dos reatores abrange tantos os rejeitos de baixa e média atividades, retirados continuamente do reator, quanto os rejeitos de alta atividade oriundos do combustível queimado ou, se houver, do reprocessamento. Deste se obtêm:

- O resto de urânio, que pode ser reutilizado no enriquecimento ou em reatores a urânio natural pois contém 1% de U-235, percentual maior do que o urânio natural.
- O plutônio que é matéria prima para bombas nucleares, constituindo um item sensível da proliferação nuclear, ou pode ser usado em reatores, como se verá adiante.
- Sobram os rejeitos radioativos, em menor volume mas com o mesmo nível de radioatividade podendo ser vitrificados e colocados em cavernas.

Não há solução consensual para o depósito destes rejeitos, que apresentam risco por muitos milhares de anos. Uma opção adotada nos EUA oficialmente é não fazer reprocessamento (“once through”). Ao sair do reator o combustível usado fica numa piscina por seis meses pelo menos. No Brasil não há solução definitiva para estes rejeitos, que estão sob vanguarda da AIEA. Não é fácil convencer a população de aceitar na sua vizinhança o depósito definitivo de tal material, tendo algumas possibilidades analisadas em áreas remotas encontrado oposição dos governos locais. Na Argentina, cogitou-se de depositá-los no sul do país em áreas ermas.

Os depósitos dos demais rejeitos são mais simples pois sua atividade decai em poucas dezenas de anos. Em Goiás foi construído um depósito de Abadia para o material contaminado pelo cézio 137, de um equipamento médico abandonado, que causou a morte de algumas pessoas da população pobre desavisada. Mas não existe ainda um depósito definitivo para os rejeitos de reatores.

A abordagem acima da questão dos acidentes de reatores justifica-se por ser um dos problemas relevantes para o futuro da tecnologia nuclear.

Resta abordar as novas tecnologias de reatores que visam minimizar os riscos de acidentes.

Os conceitos novos ou antigos ainda não realizados comercialmente incluem os reatores térmicos:

- . Intrinsecamente seguros contra LOCA (PIUS)
- . Avançados (APWR e ABWR)

Os reatores intrinsecamente seguros foram uma resposta ao problema dos acidentes de perda de refrigerante (LOCA) do tipo de TMI, sendo o PIUS um conceito, jamais realizado, em que o reator ficaria submerso em um imenso tanque. Ocorrendo um LOCA, a água inundaria o vaso do reator evitando o derretimento das barras de combustível. Todo reator térmico, inclusive o PWR, é intrinsecamente seguro contra a possibilidade de uma explosão nuclear, pois se iniciar uma microexploração local o moderador é repellido e se desfaz a massa crítica. Mas havendo a perda de refrigerante, mesmo interrompendo a reação em cadeia, o calor continua a ser produzido pela desintegração radioativa e se não for removido pode derreter todo o combustível ou causar uma explosão térmica do vapor, disseminando material radioativo no ambiente. No PIUS isso não acontece.

Os obstáculos reais para a concretização do PIUS levaram ao desenvolvimento de conceitos que se aproximam do critério de intrinsecamente seguros contra LOCA, aplicáveis às linhas de reatores existentes. Assim já está em operação um reator BWR avançado (ABWR) desenvolvido no Japão em parcerias com a GE, enquanto está sendo finalizado o projeto de um PWR avançado(APWR). Ambos tratam o LOCA como um evento enquadrado dentro dos critérios de projeto e não como um acidente excepcional. Dimensiona-se assim um super ECCS para injetar água no reator em caso de LOCA.

## **V - Os Problemas Técnicos da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**

Houve um período recente em que eventos significantes ocorreram no reator Angra. Por exemplo, entre janeiro e março de 1999 ocorreram 6 (seis) desarmes não planejados de Angra I. Este número desarmes foi elevado segundo os indicadores de desempenho definidos pela "World Association of Nuclear Operators". Em segundo lugar este número elevado de desligamentos indicou um desempenho abaixo das metas propostas pela empresa. Em consequência a Eletronuclear elaborou um Plano de Ação para Melhoria do Desempenho da Angra I. Foi louvável o esforço dos engenheiros e técnicos da Eletronuclear e da CNEN para recuperar o bom desempenho que o reator havia alcançado, como atestam documentos técnicos da empresa: O risco foi considerado dentro dos limites tolerados, mas a situação mostrou que houve uma conjunção de problemas que tem de ser evitada e não pode se repetir.

Dos 6 eventos, 2 foram resultantes de perda de energia elétrica do sistema. Esta perda de energia elétrica externa relaciona-se a outro problema: a deterioração do sistema elétrico nacional, devido à falta de investimentos necessários, interferiu com os problemas de segurança do reator. As hidrelétricas foram construídas com reservatório para armazenamento pluri anual da água. Infelizmente a gestão cooperativa e a operação integrada do sistema elétrico foram prejudicadas com a transição das empresas estatais para empresas privatizadas. O setor elétrico estava operando no limite técnico e com risco crescente de falta de energia, o que levou ao racionamento em 2001; isto teve influência na operação de Angra I.

O desarme freqüente indicou situações de ameaça às condições de operação segura com demasiada freqüência, sendo, portanto, um sintoma de deterioração da situação geral de segurança do reator. segundo documento da empresa, analisado no âmbito da Procuradoria da República no Rio de Janeiro. Outros fatores apontados no documento foram a perda sistemática e em grande número de pessoal experiente e a intranqüilidade dos empregados.

Espera-se que estes problemas agudos tenham sido resolvidos e não se repitam, como condição para qualquer decisão séria sobre a retomada de Angra III.

Ademais há um problema crônico não resolvido: a corrosão nas tubulações do gerador de vapor de Angra I, havendo a possibilidade de se ter de trocar os geradores de vapor (GV). Ao fim de 1999 estavam comprometidos pela corrosão e fechados 9,6% dos tubos de Inconel em um gerador de vapor e 5,3% no outro. O limite tolerável segundo a Eletronuclear é de 20% dos tubos inutilizados em cada GV devido à corrosão. Há possibilidade de fazer reparos nos tubos, mas nem sempre bem sucedidos.

Este problema tem forte componente não linear, não sendo possível prever se a corrosão progredirá no ritmo em que vem aumentando ou se poderá se acelerar exponencialmente. Essas tubulações são feitas da liga Inconel 600 que apresentou, uma corrosão muito elevada em reatores similares. Os problemas do gerador de vapor foram conhecidos na época de Angra I entrar em operação. Participei naquela ocasião de discussão com a CNEN sobre um outro defeito de projeto de Angra I: a entrada da água do circuito secundário no gerador de vapor fazia trepidar esses tubos causando fissuras. Esse problema específico foi resolvido mas permaneceu o problema da corrosão acelerada. A responsabilidade a meu ver foi da Westinghouse.

Essa troca é um problema de grande monta. O gerador de vapor é uma peça enorme, maior que o próprio vaso reator na dimensão vertical e de grande peso. Sua troca obriga a um rompimento do vaso de contenção do reator que é estanque, no qual está contido o circuito primário com o sistema nuclear de geração de vapor (SNVG). Houve necessidade da substituição dos geradores de vapor em um vários reatores similares ao de Angra -I no mundo.

Outro ponto a ser melhor esclarecido é sobre o combustível nuclear em uso em Angra I. Foi necessária a substituição integral do combustível há poucos anos.



Normalmente a substituição é apenas de um terço, mas esta substituição foi devida a um outro problema crônico, no combustível da Angra I: um vazamento de material radioativo no combustível, contaminando o circuito primário, o que levou Furnas, então proprietária de Angra I, a interromper o funcionamento do reator. Essa interrupção demorou muito tempo, houve uma perda de receita enorme. O urânio é enriquecido na Europa pelo consórcio Urenco, do qual participam Alemanha, Holanda e Inglaterra, e a montagem do elemento combustível é feita na Fábrica de Resende da INB. A causa das falhas era inadequação dos elementos combustíveis projetados pela Siemens, em substituição aos elementos combustíveis da Westinghouse, fabricante do reator. Houve um problema no projeto da Siemens para o combustível do reator Westinghouse.

O combustível Siemens utilizado em Angra-I apresentou falhas severas no ciclo IV de operação (64 varetas com perda de integridade do revestimento foram detectadas na inspeção após o desligamento da usina). Estas falhas tiveram as seguintes conseqüências: necessidade de redução de potência ao longo do ciclo IV; desligamento da usina 6 meses antes da data programada. Angra I permaneceu 21 meses desligada (de 05/03/93 a 12/12/94); o ciclo seguinte (ciclo V) foi reduzido em 47 dias; necessidade de compra de 81 elementos combustíveis para o ciclo VI, ou seja, 41 a mais do que em recargas normais de Angra-I, utilizados durante um ciclo (um elemento combustível é, geralmente, utilizado durante 3 ciclos). Para tentar sanar o problema das falhas, a Siemens fez uma modificação no projeto dos elementos combustíveis, mas nunca admitiu que tenha cometido um erro de projeto. Furnas teve de arcar com todos os prejuízos: operacionais, de inspeção das falhas, e, tempo fora da linha. A empresa terminou por resolver voltar a usar o combustível da Westinghouse na recarga de Angra I, rejeitando o da Siemens, e esta decisão foi mantida pela Eletronuclear.

Na última recarga de Angra I se reaproveitou uma parte deste combustível projetado pela Siemens, usado e rejeitado devido às falhas apontadas acima, e estocado na piscina de rejeitos de alta radioatividade onde se guarda o combustível usado. Assumiu-se por economia um risco e o acompanhamento do comportamento deste combustível deve ser avaliado.

Quanto a Angra II não há problemas deste tipo. Houve problemas na obra, já resolvidos. O funcionamento de ambos os reatores I e II deveria exigir um maior cuidado

com o Plano de Emergência Externo da central nuclear, julgado precário. No último acidente simulado morreu acidentado um guarda envolvido no exercício e uma grande sirene de alarme não funcionou.

## **VI - Os Prós e Contras à Retomada de Angra III**

Vamos tomar por base o documento técnico da Eletronuclear “Informações Complementares sobre a UTN Angra III”, de 2001, que faz uma análise do estado atual do empreendimento, considerando informações prestadas pela Secretária Nacional de Energia ao Conselho Nacional de Política Energética.

Foram tratados no documento de referência os pontos:

- Importância de Angra III para a Eletronuclear;
- Estado da Arte do Projeto e dos Equipamentos de Angra III;
- Confiabilidade do cronograma de Angra III;
- Confiabilidade do orçamento de Angra III;
- Competitividade econômica de Angra III;
- Recursos financeiros para a conclusão de Angra III;
- Passivo contratual existente;
- Solução para o armazenamento de rejeitos gerados na Central Nuclear (Angra I, Angra II e Angra III);
- Novas Tecnologias em Desenvolvimento; e
- Futuro da Geração Nucleoelétrica, após Angra III.

Sobre a importância de Angra III para a Eletronuclear, é relevante o fato de que Angra III representará um acréscimo de 40% à receita da empresa, permitindo uma racionalização dos custos da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, de modo a ter custos operacionais mais baixos e consolidar a empresa. Quanto a este ponto específico pode-se observar que deve ser considerado, além do custo operacional, os custos de investimento de Angra III, de modo a ser ter o custo da energia, que será considerado adiante.

Outro argumento é a fixação do “know-how” de projeto de engenharia de usinas PWR. Este aspecto é talvez o mais relevante, desde que o conhecimento tecnológico na construção de reatores nucleares para geração elétrica venha a ser importante no futuro, mais do que no presente. Este é uma hipótese que pode ser plausível, especialmente levando em conta possíveis avanços tecnológicos que resolvam alguns problemas atuais.

Sobre o ciclo de combustível, a carga em boa parte das Indústrias Nucleares do Brasil, a conclusão de Angra III permitirá melhor o uso da capacidade instalada que é hoje de 120t de urânio por ano na reconversão e na fabricação de pastilhas, sendo o dobro no encapsulamento e montagem das barras nos elementos combustíveis, enquanto as necessidades de Angra I e II são respectivamente de 16 t/ano e 36 t/ano, totalizando 52 t/ano apenas, muito a baixo da capacidade. Caso não seja concluído Angra III a INB será dependente de aporte do tesouro. A hipótese de exportar para o mercado externo considerado não parece interessante. Por outro lado aporte do tesouro citado, de ordem de 35 milhões de reais ao ano para a INB deve ser comparado com os recursos de União para a conclusão de Angra III.

No aspecto da atualização do projeto e da tecnologia de Angra III, não há o que acrescentar à apresentação da Eletronuclear, com exceção de que a atualização do sistema de instrumentação e controle de Angra II, já operando, deve ser ultimada.

Quanto ao cronograma da construção, entre 5 e 6 anos, ele parece razoável, desde que não se repitam os problemas da obra de Angra II, que durou 25 anos, incluindo o projeto.

É mais relevante discutir o custo previsto:

US\$ bilhão	Consultora
1,6	EDF
1,8	Iberdrola
1,7	EPRI

Estes valores foram referendados por estudo do GPEA – USP.

Cabem as observações:

- a) Estes valores não incluem o custo já incorrido na compra de equipamentos de Angra III.
- b) Eles podem escalar se houver problemas que ocorreram no passado.

- c) Tomando o maior valor de 1,8 US\$ bilhões, com ele se pode construir uma termelétrica a gás: de 2 GW em lugar de 1.3 GW em 3 anos em lugar de 6 anos, ou uma hidrelétrica de 2,2 GW em prazo análogo ao da nuclear.

O último ponto remete ao custo das alternativas para a expansão da geração, segundo o documento. Acrescentamos a possibilidade de reduzir a taxa de retorno nas hidrelétricas:

<b>Alternativa</b>	<b>Investimento</b>	<b>Tempo</b>	<b>Taxa de retorno</b>	<b>Custo da energia</b>	
	<b>R\$ / kW</b>	<b>de construção</b>	<b>de vida</b>		
Hidrelétrica (1)	1513	4 anos	35 anos	14% aa	69 R\$ / MWh
(2)	1513	4	35	10	60
Gás Natural	1600	2	20	18	89
Angra III (1)	2559	6	30	10	66
(2)	3485	6	30	10	82

No caso (1) da alternativa nuclear (Angra III) não está incluído o investimento incorrido anteriormente e no (2) está. Estas duas opções constam do documento da Eletronuclear, no qual está apenas o caso (1) da geração hidrelétrica, com taxa de retorno de 14% ao ano. É acrescentado aqui na alternativa hidrelétrica o caso (2) com taxa de retorno de 10% ao ano, igual ao usado para a nuclear, mais plausível para um programa sério de hidreletricidade. Assim o custo da energia hidrelétrica cai e fica abaixo daquele de Angra III apresentado.

O custo da energia nuclear é menor do que o da termelétrica, devido ao gás natural importado da Bolívia, pago em dólares em regime de “take or pay”, mas não do que a da hidrelétrica, se tomarmos a mesma taxa de retorno da nuclear. Ademais o tempo de vida da hidrelétrica é de 50 anos, acima do tempo estimado para o cálculo do retorno do capital e o regime de “take or pay”.

As soluções para os rejeitos radioativos constantes do documento da Eletronuclear são insuficientes evidenciando:

- a) Não existe solução apresentada pelo governo, pois não se trata da competência exclusiva da Eletronuclear, para os rejeitos radioativos de baixa e média

atividade, pois o depósito de Abadia não se destina a este fim, mas ao material contaminado pelo acidente do cézio 137 em Goiânia.

- b) Embora seja correta a afirmação de que há solução técnica acessível para este problema, permanece a provisoriedade do armazenamento transitório no terreno da Central Nuclear em Angra dos Reis, não havendo solução formalizada para seu destino final.
- c) No caso dos rejeitos de alta atividade, a solução de mantê-las nas piscinas ao lado dos reatores é também provisória, sendo o problema muito maior a longo prazo dada sua alta periculosidade para a vida humana

Finalmente, os aspectos ligados à perspectivas de desenvolvimento futuro de tecnologia nuclear são corretas. O argumento mais relevante para retomar Angra III é a preservação do conhecimento tecnológico adquirido para acompanhar o desenvolvimento da tecnologia. É entretanto impossível a definição de um papel futuro para a energia nuclear sem um planejamento da expansão elétrica no país, tal que estabeleça critérios e prioridades para as diversas fontes primárias de energia aptas a geração elétrica, incluindo:

- a) Hidrelétricas cujo potencial aproveitável está longe de ter sido esgotado;
- b) Termelétricas a gás natural cujo papel está mal equacionado, pois seu uso otimizado não deve ser em usinas de base que operam o tempo todo, levando a verter água de reservatórios quando eles voltarem a se encher;
- c) Termelétricas a óleo e a carvão que estão entrando de modo desordenado e cujo custo não foi comparado no documento;
- d) Cogeração e geração distribuída a gás natural nas indústrias, shopping Centers, supermercados, grandes hotéis e hospitais;
- e) Biomassa em particular o uso do bagaço de cana desperdiçado, bem como o lixo urbano;
- f) Energia solar e eólica que predominam ter um crescimento muito maior como demonstram projetos recentes que estão surgindo no caso da eólica;
- g) Conservação de energia que não pode ser confundida com o racionamento.

## VII - Conclusões

A comparação entre as fontes para geração elétrica em larga escala é a seguinte:

	<b>Hidro</b>	<b>Termelétricos</b>	<b>Nuclear</b>
Custo de Investimento	Maior	Menor	Intermediário
Custo de Energia	Menor	Maior	Intermediário
Tempo de Construção	Maior	Menor	Intermediário
Tempo de Vida	Maior	Menor	Intermediário
Impacto Ambiental	(1)	(2)	(3)

- (1) Inundação das áreas de reservatórios, construções de barragens atingindo famílias e áreas produtivas agrícolas ou florestas.
- (2) Poluição atmosférica causando doenças pulmonares e cardíacas na população incluindo casos fatais, chuva ácida que atinge a natureza, efeito estufa que aquece o planeta incluindo mudanças climáticas.
- (3) a - Risco de acidentes nucleares, em que, caso a pluma liberada para atmosfera contenha grande quantidade de material e atinja uma população de alguns milhões de habitantes, pode haver milhares de mortes por câncer ao longo dos anos.  
b - Armazenamento com segurança de rejeitos radioativos de alta atividade por milhares de anos.

Em resumo, as vantagens da construção de Angra III são:

- a) não emite gases do efeito estufa no seu funcionamento, neste aspecto melhor que as hidrelétricas que os emitem, embora menos que as termelétricas em geral, segundo estudo da COPPE/UFRJ;
- b) caso não haja acidentes, cuja probabilidade é pequena, não polui a atmosfera, restringindo a poluição à localização dos rejeitos radioativos;
- c) preservação de equipes técnicas e do conhecimento tecnológico;
- d) custo de energia menor que o das termelétricas.

Os pontos negativos são:

- a) risco de acidentes nucleares muito alto, com conseqüências enormes, apesar da probabilidade baixa;
- b) os problemas dos rejeitos radioativos não resolvidos;
- c) custo de investimento maior que o das termelétricas;
- d) tempo de construção maior que o das termoelétricas;
- e) custo de energia maior que o das hidrelétricas;
- f) ausência de um programa de expansão da geração elétrica que incluía racionalmente a energia nuclear entre diferentes fontes.

Uma proposta concreta é, além de ponderar todos estes fatores ouvindo os argumentos e analisando criteriosamente os prós e contras, exigir, do ponto de vista ambiental, como pré requisito, uma solução prévia dos problemas alinhados neste texto, destacando:

- 1) solução dos problemas técnicos relativos à segurança de Angra I, cujo funcionamento terá de ser interrompido para troca dos geradores de vapor devido à corrosão avançada;
- 2) plano de emergência externo operacional para Angra I e II, que já estão operando sem um plano de evacuação efetivo, reduzido do raio de 15 km para 5 km, o que excluiu a cidade de Angra dos Reis;
- 3) solução imediata da destinação final dos rejeitos de baixa e média atividade de Angra I e II, que estão se acumulando em depósito transitório na Central em Angra;
- 4) definição da destinação final dos rejeitos radioativos de alta atividade de Angra I, II e III;
- 5) rediscussão do projeto do prédio de contenção de Angra III, em face da possibilidade de colisão de um avião, já que a espessura da parede no caso de Angra II foi reduzida de 1,20 m para 0,60 m, em relação ao projeto do reator alemão de referência que incluía esta proteção;
- 6) planejamento da expansão da geração elétrica a médio e longo prazos, integrando a nuclear com as diversas fontes de energia e a dimensão econômica com a ambiental, para poder justificar Angra III devidamente.