17/08/2000

ENERGIA NUCLEAR
DA ENERGIA INESGOTÁVEL À ENERGIA LIMPA

RESUMO

A indústria nuclear em seus primórdios lançou a expectativa de que a humanidade passaria a dispor de tecnologia barata e inesgotável para satisfazer as aspirações desenvolvimentistas que a indisponibilidade energética frustrava. O abandono da tecnologia breeder antes mesmo de sua exploração comercial, os custos de investimento e as exigências de cunho ambiental a incidir sobre a geração nucleoelétrica arrefeceram as possibilidades das expectativas serem honradas.

Mais recentemente, por conta do aquecimento global, nova expectativa é lançada pela indústria nuclear, agora atribuindo às fontes físseis a qualidade de energia limpa, inclusive mitigadora, pelo CO_2 evitado, das quantidades de carbono adicionadas anualmente na atmosfera. Esse novo apelo, contudo, está ainda por ser demonstrado face os acidentes ocorridos, as incertezas quanto ao destino do lixo atômico e, especialmente, do plutônio.

1. INTRODUÇÃO

De todas as fontes de energia utilizadas pelo homem até o presente nenhuma se ajusta tão bem ao contexto globalizado do mundo atual como a energia nuclear.

Intensiva em capital, requer vultosos investimentos até ser transformada em eletricidade. Da mesma forma, por requerer longo tempo para uma planta começar a produzir, os custos de sua construção acabam por envolver, não raro, mais juros do que

os investimentos inicialmente previstos.[1] Motivos esses pelos quais a propriedade do Estado ou de sólidos grupos financeiros de expressão mundial manifesta-se predominante na indústria nuclear.

Tecnologicamente complexa em sua concepção e especializada em sua operação, requer pessoal altamente qualificado, estrutura de poder centralizada, hierarquizada, à semelhança das mais rígidas organizações criadas para o controle da sociedade.

Ambiental e globalmente impactante, requer rígido acompanhamento e livre acesso por parte de instituições supranacionais encarregadas de fiscalizar as etapas constituintes de cada um dos elos da cadeia produtiva da indústria. Esse caráter globalizado tem levado ao reconhecimento e fortalecimento do organismo internacional especificamente criado para o acompanhamento de seu desenvolvimento e controle. Organismo esse instituído sob o amparo das Nações Unidas e na esteira do programa Átomos para a Paz de Einsenhower: A International Atomic Energy Agency.

Mas se por todas essas características a geração de energia nuclear foi alvo dos mais acalorados debates a partir dos anos 70, polarizando de tal forma a sociedade a ponto de ser apresentada como a questão que permitiu aglutinar ativistas e organizar o movimento ambiental em torno de uma causa comum, (Pepper, 1993) no limiar do novo milênio, devido a mesma problemática pela qual foi questionada pelos ambientalistas, seu impacto ambiental, é apresentada agora como solução. Solução para mitigar os níveis de CO_2 na atmosfera sem, contudo, impor paralelamente restrições ao aumento do consumo de eletricidade.

Assim, da promessa de energia barata e inesgotável, como foi apresentada ao mundo a energia proveniente da fissão do átomo nas décadas de 60 e 70, passa a ser apresentada no final do milênio como a promessa de sustentabilidade da demanda mundial de energia sem se desdobrar em impactos negativos sobre o clima do planeta.

O revés dessa promessa, por seu turno, não pode ser esquecido ou mesmo subvalorizado, uma vez que a continuada utilização da energia nuclear acumula, no

[1] A Revista ComCiência n°13, de agosto de 2000, debita 70% dos custos de AngraII ao pagamento de juros.

sentido literal da palavra, dois novos problemas de envergadura mundial ainda não devidamente equacionados: O acúmulo de material radioativo de meia-vida longa, mais precisamente o lixo atômico, ainda por ser acomodado em seus repositórios definitivos, e o acúmulo de plutônio nas pilhas de descarga do elemento combustível utilizado ou, a partir dessas, obtido nas plantas de reprocessamento.

O acesso a qualquer um desses estoques de plutônio, seja por indivíduos inescrupulosos ou seguidores de movimentos radicalizados da sociedade, pode instaurar o comércio clandestino ou mesmo espalhar o terror em escala global, não propriamente pela energia aproveitável que o elemento encerra mas pelo potencial destruidor que concentra.

2. O PERFIL ENERGÉTICO MUNDIAL

O consumo mundial de energia primária em 1999, excluído o consumo derivado diretamente da utilização da biomassa (madeira, turfa e dejetos animais), foi de 8,5 bilhões de toneladas equivalentes de óleo (toe),[2] dos quais 40,3% se devem ao consumo de óleo propriamente, 25% ao de carvão, 24,5% ao de gás natural, 7,4% ao consumo de fontes físseis e 2,6% ao consumo de fontes hídricas (BPAmaco, 1999). Os números indicam, portanto, que aproximadamente 90% da energia primária consumida em todo o mundo é derivada de fontes fósseis, exatamente aquelas cuja combustão é hoje responsabilizada pelo aquecimento global.

Não obstante os números apresentados demonstrarem um consumo mundial impressionante de energia, não menos impressionantes são as diferenças de consumo energético quando países desenvolvidos são comparados com os demais. Enquanto a América do Norte apresenta um consumo anual médio per capita da ordem de 6,3toe, a média mundial de consumo per capita situa-se na casa das 1,5toe. Essa média mundial mascara, ainda assim, uma realidade extremamente perversa, que é a de 7 em cada 10 domicílios nos países ditos em desenvolvimento não consumir eletricidade. Portanto, os moradores desses domicílios, algo em torno de 2,5

[2] Tonelada de Óleo Equivalente, unidade internacionalmente utilizada para reduzir volumes (massas) de diferentes energéticos ao respectivo poder energético e, assim, propiciar comparações entre eles.

bilhões de pessoas, não pressionam com o seu consumo energético as fontes primárias aqui consideradas e, consequentemente, não podem ser responsabilizados de maneira significativa pelo aquecimento do planeta.

Sob a ótica dessa responsabilidade, as relações entre desenvolvimento, energia e impacto ambiental podem facilmente ser exploradas ao se considerar que dos US$28 bilhões que constituem o produto total mundial (World's Total Gross National Product) 68% referem-se a apenas oito países industrializados, os quais consomem 50% da energia produzida mundialmente e produzem nada menos que 40% das emissões de CO_2 liberadas na atmosfera.

3. ENERGIA NUCLEAR: PANORAMA MUNDIAL

Embora toda sorte de material físsil venha sendo crescentemente empregada em áreas tão diversas como no diagnóstico e terapêutica médica, na investigação de nutrientes em solos, preservação de alimentos ou na confecção de traçadores isotópicos, excluindo-se a indústria bélica somente a geração de energia elétrica demanda quantidades apreciáveis desse tipo de material e configura uma indústria de porte internacional.

Por isso, pode-se afirmar, a contribuição dos materiais físseis na matriz energética mundial depende exclusivamente da expectativa de consumo de eletricidade. Consumo que, a se repetirem as taxas médias anuais entre 1991 e 1998 (2,8%aa), deverá crescer entre 75 e 100% nos próximos 25 anos (IAEA, 1999_a). Crescimento que ainda se dará ancorado nas tecnologias de geração de eletricidade tradicionais, com forte base na combustão de energéticos fósseis, muito mais se o crescimento da demanda nos países em desenvolvimento for positivamente diferenciado como tem sido apregoado.

Afora os 550 reatores voltados para a pesquisa distribuídos pelo mundo, existem atualmente 436 reatores nucleares em operação, totalizando uma capacidade de geração nucleoelétrica instalada de 351718 MWe espalhada por exatamente 32 países.

Após a desintegração do Bloco Soviético no início da década de 90, a Lituânia deslocou a França como o país que depende em mais alto grau da energia nuclear para seu abastecimento interno. Os 02 reatores de potência (2370Mwe) que dispõe suprem tanto quanto 81,5% do consumo energético total do país. Porém, os números que mais impressionam vêm da França, onde 59 reatores (62853Mwe) respondem por nada menos que 78,2% de toda a energia que o país produz. Alguma coisa próxima ao que o Brasil gera com a totalidade de suas hidrelétricas.

Mesmo países que há muito tempo se mostram desfavoráveis à opção nuclear como a Bélgica, hoje com 60% de sua energia proveniente de fonte físsil, e a Suécia com 46,2%, ou mesmo àqueles que adotaram essa posição mais recentemente, como a Alemanha, com 31,8%, continuam dela depender em altíssimo grau para atender suas demandas de energia como um todo e de eletricidade mais particularmente. Qualquer deles não dá sinal algum que possa prescindir dessa forma de geração energética. Inclusive na Alemanha, o Partido Verde vem revendo sua posição radical, francamente desfavorável à geração nucleoelétrica que o levou ao poder recentemente. A política que previa desconectar os reatores nucleares desse país em 2000 acabou não sendo implementada, adiando-se a desativação total para 2021.

Como entender mudança tão brusca de posição na rica Alemanha? Qual o motivo para a Suécia vir retardando descomissionamento de seus reatores mais antigos programado para o inicio dos anos 90? Por que a Bélgica gera, e ainda importa vasto bloco de eletricidade de origem nuclear da vizinha França se as notícias dão conta de ser desfavorável a opção nuclear? Será que esses países desenvolvidos titubeiam em implementar a erradicação da energia nuclear por não poderem, e ser absolutamente impossível num horizonte prognosticável, substituir as quantidades de energia atualmente geradas pelas fontes físseis ou será, simplesmente, porque ainda não existem elementos para uma escolha consciente entre as alternativas fóssil e físsil num contexto minimizador de impactos ambientais?

Sem dúvida, tanto um quanto outro motivo, impossibilidade de substituição nas proporções requeridas e incertezas científicas, vão empurrando novo milênio a dentro a continuidade da geração de eletricidade por fonte nuclear. Mas não somente isso, as incertezas são de tal ordem que ainda está por acontecer o descomissionamento

de qualquer uma das usinas nucleares em operação. Mesmo a inglesa Cardel Hall, a primeira usina nuclear a ser conectada à rede de distribuição de eletricidade, em 1956, ainda continua a operar.[3] Por tudo isso, não está sendo fácil encontrar quem passará para a história, convicto de suas certezas, desconectando a eletricidade de fonte nuclear do *grid* de distribuição em seu país.

No bojo dessas impossibilidades e incertezas, a energia nuclear vai se mantendo como uma alternativa de suprimento de eletricidade[4], ganhando tempo para aprimorar-se do ponto de vista tecnológico e adequar-se ambientalmente, inclusive para divulgar sua nova imagem agora sustentada na promessa da energia limpa.

De toda essa discussão uma coisa é certa. Com os conhecimentos científicos atuais qualquer estratégia que venha a ser adotada por um país, seja ela fóssil ou físsil, cada uma a seu modo e com suas consequências particulares, representa uma probabilidade de impacto ambiental de consequências ainda não totalmente previsíveis. Tanto Chernobyl, Exxon Valdez como o aquecimento em termos globais são as diferentes faces com as quais se apresenta o mesmo problema: O impacto ambiental do consumo mundial de energia.

4. A PROMESSA DE ENERGIA BARATA E INESGOTÁVEL

Quando em dezembro de 1942 o italiano Fermi, em um estádio de futebol de Chicago, acionou o funcionamento da primeira pilha atômica, na verdade um reator rápido a plutônio, duas expectativas foram imediatamente criadas: a de energia barata e inesgotável e a de dar um fim a Grande Guerra que se instalara mundialmente. A promessa de final da Guerra foi efetivamente concretizada tão logo o Projeto Manhattan, menos de três anos após o feito de Fermi, liberou os artefatos que explodiram sobre Hiroshima e Nagasaki e até hoje consternam a humanidade. A

[3] Apenas em julho de 2000 a Ucrânia noticiou o fechamento em definitivo da planta de Chernobyl.
[4] Enquanto a dúvida persiste, 38 reatores nucleares estão sendo construídos ao redor do mundo.

expectativa de energia barata e inesgotável, entretanto, ainda precisa ser demonstrada.

A promessa de energia inesgotável resultante do sucesso alcançado por Fermi fundamentava-se na capacidade dos reatores rápidos regeneradores, aqueles que não moderam a velocidade dos neutrons liberados pela fissão, em produzir plutônio em quantidade capaz de aumentar em cerca de 40% a energia gerada pela carga físsil colocada no próprio reator. Em condições ideais, a relação entre o plutônio produzido e a quantidade de elemento físsil contida no combustível introduzido nesse tipo de reator pode alcançar 1,8.

A promessa de renovabilidade do potencial energético, de autonomia energética nacional frente às limitações geológicas, econômicas e políticas que a imagem nuclear vendeu à época, que muito propriamente poderia ser identificada nos dias atuais como a sustentabilidade energética mundial, sensibilizou governantes, a indústria energética mundial e a sociedade em geral. Mas, pergunto eu, poderia nos anos 60, com o mundo, a Europa em particular, emergindo do colapso econômico e social provocado por duas grandes guerras, haver promessa mais alentadora?

Ademais, a questão dos custos da energia nuclear era vista de uma maneira simplista à época em que os primeiros reatores foram construídos. À semelhança da geração de eletricidade pelas fontes fósseis, o parâmetro determinante do custo era o combustível e, nesse aspecto, a geração nucleoelétrica apresentava visíveis vantagens em relação as demais. Os volumes de material físsil, requeridos para gerar a mesma quantidade de energia por fontes fósseis, eram, como ainda são, extremamente menores. Recursos de urânio e tório, elementos naturais capazes de atingir a criticalidade num reator, vinham sendo prospectados com sucesso em vários locais do planeta e poderiam ser beneficiados a baixo custo. Ao que se sabia, a tecnologia do ciclo do combustível estava dominada, embora seu conhecimento não fosse nem disseminado nem acessível. Para a maioria era uma questão apenas de tempo e arranjos comerciais.

Enfim, a geração de eletricidade por fonte físsil tinha tudo para ser muito mais em conta do que as demais, além, é claro, de inesgotável.

5. A PROMESSA DE ENERGIA LIMPA

Muito embora o ocorrido com o reator soviético em 1986 tenha mostrado a amplitude que um acidente nuclear pode adquirir, outras preocupações referentes a saúde ambiental do planeta se disseminavam mundialmente à época.

O efeito estufa e a destruição da camada de ozônio vinham sendo responsabilizados pelas prognosticadas mudanças no clima da Terra, assim se apresentando também como riscos de amplitude globalizados, decorrentes da combustão dos energéticos fósseis. Evidenciava-se que os impactos ambientais proporcionados pelas fontes energéticas físseis, experimentados no passado recente, e os atribuídos às fósseis, projetados para o futuro, eram muito mais amplos do que foram imaginados e, em última análise, de repercussões nocivas às atuais e futuras gerações.

Em meio as incertezas científicas quanto a amplitude das mudanças climáticas impostas pelo aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, a energia nuclear mais uma vez se coloca como a alternativa para a geração de eletricidade, visto que seu processo produtivo não libera esse gás ou melhor, não libera nenhum Greenhouse Gas em quantidades apreciáveis. Também não libera gases de enxofre ou de nitrogênio. Assim, sob a ótica das mudanças ambientais globais, a energia nuclear se mostra a mais amigável tecnologia para gerar eletricidade no limiar do novo milênio, encontrando novo apelo comercial.

E sob a ótica do CO_2 evitado, àquele que não foi enviado para a atmosfera devido a geração de eletricidade ter sido físsil e não fóssil, os números não somente impressionam como efetivamente mostram ganhos ambientais importantes. Isso porque, se os 436 reatores em operação fossem substituídos por plantas térmicas a carvão de idêntica potência, seriam adicionados mais 8% aos 5,5 bilhões de toneladas de CO_2 adicionadas anualmente à atmosfera, isso sem falar nas quantidades de enxofre e de nitrogênio que seriam introduzidas (IAEA, 1999_b).

Mesmo quando toda a energia consumida no processo produtivo do combustível nuclear é considerada, particularizando-se em seus diferentes estágios os gastos com as fontes de energia neles utilizadas (carvão, óleo, hidro, nuclear, etc.),

ainda assim o balanço geral é extremamente favorável para a energia nuclear. Resultados de pesquisas realizadas na Alemanha e nos Estados Unidos informam que o conjunto das atividades envolvidas na geração de eletricidade por fonte nuclear emite apenas entre 0,5 a 4% do CO_2 liberado por central térmica a carvão de mesma potência, evidenciando sua favorabilidade quando se trata de introduzir elementos de precaução contra a possibilidade de uma *global clima change*.

6. AS PROMESSAS RELATIVIZADAS

Não eram somente os fast-breeder que não dispunham de moderador, as promessas da indústria nuclear também não eram em nada moderadas.

Tão logo as plantas nucleares atingiram uma capacidade instalada que propiciasse uma análise mais abrangente, verificou-se que, apesar dos custos do elemento combustível serem efetivamente baixos, outros custos, principalmente os de capital, suplantavam todas as expectativas anteriores. Os longos prazos que a construção das usinas demandavam, superiores a 10 anos, a necessidade de atender exigências de natureza ambiental cada vez mais rígidas, a incerteza quanto a novas exigências de segurança e nos prazos de licenciamento de cada um dos segmentos da cadeia produtiva, eram fatores que agregavam incertezas ao custo de uma usina e, como tais, pressionavam-no grandemente.

Assim, enquanto no início da década de 70 os custos do Kw nuclear instalado era estimado em US$1.200,00, vinte anos depois já não se falava em menos de US$2.000,00. Esses altos custos de investimento deixaram-na em nítida desvantagem quando comparados com os de termelétricas a gás natural, hoje em franca disseminação mundial, para as quais os custos sequer alcançam US$1.000 por KW instalado.[5] Mesmo quando comparada com tecnologias tradicionais, como as que queimam carvão em leito fluidizado, os custos de investimentos em plantas nucleares

[5] Uma comparação entre custos de investimento ao nível de planta entre diferentes opções de geração de eletricidade é apresentada no IAEA Bulletin vol.40, nº1, 1998. p.4.

se apresentam bem maiores, podendo-se mesmo afirmar que demandam o dobro do capital de investimento .

Não é prá menos que o setor energético, em países que experimentam a privatização da indústria de energia, venha se negando a assumir usinas nucleares em seus parques geradores, mesmo quando um razoável dote lhes é oferecido, a exemplo dos 2,5 bilhões de libras a título de descomissionamento na Inglaterra. Embora corretamente afirmado que a indústria nuclear é a fonte de energia cuja composição de custos incorpora o maior número de externalidades, não há como negar que os custos de desmantelamento de uma usina e os de disposição de rejeitos continuam incertos. Sequer se tem experiências efetivas de disposição final de rejeitos, situação que contribui decisivamente para sua não aceitação pelo investidor privado.

De modo que, mesmo superada a fase de investimento nas plantas, restam ainda outros investimentos a serem contabilizados para que a opção nuclear possa se viabilizar como alternativa de suprimento de eletricidade de baixo custo, como se apresentou ao público em seus primórdios.

Quanto a sustentabilidade energética, os fast-breeder não dispuseram de muito tempo para se fixar como alternativa tecnológica e assim prover o mundo com energia inesgotável que gerariam. A complexidade para produzi-los em escala comercial, o risco ambiental que encerram por serem resfriados a metal-líquido sódio, explosivo ao contato com o ar, os pequenos volumes de plutônio até então reprocessados, essenciais para o seu funcionamento e, finalmente, o seu banimento do território nos Estados Unidos decretado pelo presidente Carter em 1976, por extensão da proibição de construção de plantas de reprocessamento indispensáveis à obtenção de plutônio, fizeram com que fossem relegados, antes mesmos de serem mundialmente comercializados, em detrimento de alternativas menos incertas, especialmente a tecnologia dos reatores moderados e refrigerados à água.

Apesar de atualmente se observar um certo apelo à tecnologia breeder, inclusive como forma de ¨queimar¨ plutônio ou transmutar elementos de meia-vida longa liberados pelos reatores à água leve e assim livrar o meio ambiente desses produtos radioativos, eles se constituem mais em protótipos do que em unidades efetivamente

comerciais. Apenas a França e o Japão possuem unidades que superaram a fase de testes, (IAEA, 1998) tudo indicando que, sem uma crise energética sem precedentes na história, não se tornarão importantes no cenário energético mundial.

Junto com o precoce abandono da tecnologia breeder esvaneceram-se os sonhos de energia inesgotável, a sustentabilidade energética mundial que essa linha de reatores deveria proporcionar.

Por outro lado, aceitar a energia nuclear como energia limpa requer certo esforço de abstração, senão desconhecimento. Recolocar a fissão atômica como alternativa energética ambientalmente confiável e economicamente viável não parece tarefa fácil para a indústria nuclear. Muito mais porque a disseminação mundial dos reatores nucleares se fez acompanhar, em seus pouco mais de quarenta anos de exploração comercial, por uma ressurgência**,** também mundial**,** do ambientalismo em seus matizes mais radicais, inclusive fortalecendo-se, como anteriormente mencionado, ao apontar sua artilharia para a indústria nuclear.

Ao longo dessa vigiada trajetória da indústria nuclear, os acidentes com a usina de Three Miles Island, em 1976 nos Estados Unidos, e com a de Chernobyl, dez anos após na ex-União Soviética, não fizeram mais do que reforçar a tese ambientalista de que as usinas nucleares constituem risco eminente para a humanidade. O primeiro rescaldou a euforia nuclear que se sucedeu ao choque do petróleo em 1974. O segundo evidenciou a fragilidade dos sistemas de segurança nessa indústria e das instituições internacionais para lidar com eventos da natureza e proporções adquiridas.

Não se pode, portanto, reduzir o movimento ambientalista ao seu viés ideológico quando questionava a opção energética físsil. Os riscos que atribuía a geração de eletricidade por fonte nuclear foram largamente confirmados pelos acidentes mencionados. Seu discurso também passou a gozar de reconhecida credibilidade e competência técno-científica em matéria nuclear. E assim, ao sensibilizar a opinião pública quanto aos riscos proporcionados por uma usina nuclear, mais e mais medidas de segurança e controles passavam a ser exigidos da indústria, agigantando seus custos.

As questões relativas à segurança e aos custos que perpassam o ciclo do combustível nuclear, entendendo-se por tal o conjunto de atividades que vão da exploração do urânio à sua disposição final após utilização num reator, portanto que perpassam toda a cadeia produtiva da indústria nuclear, são hoje razoavelmente estabelecidas, podendo-se afirmar que os desafios a serem enfrentados pela indústria no novo milênio residem mais em duas vertentes de um mesmo problema: Qual o destino a ser dado aos produtos radioativos originados nas atividades que constituem o ciclo do combustível nuclear?

Posto dessa forma, fica mais do que claro que a energia nuclear está longe de ser limpa, como largamente apregoado pela indústria. Produz, isso sim, rejeitos de natureza outra, radioativos que, é bem verdade, se não contribuem para o efeito estufa, contribuem para o aumento do risco tecnológico a que a humanidade vem sendo exposta. De todo o modo, antes da indústria nuclear atribuir ao seu produto a qualidade de ambientalmente limpo, precisa resolver pelo menos dois problemas decorrentes dos resíduos que libera: O lixo atômico e os estoques de plutônio.

6.1 O Lixo Nuclear

De uma maneira geral, todo o material descartável, naturalmente radioativo ou submetido à radiação ionizante ao longo dos processos envolvidos no ciclo do combustível nuclear pode ser caracterizado como lixo ou rejeito. Assim são denominados desde a carga de combustível irradiada retirada de um reator, a indumentária de proteção dos técnicos que trabalham em áreas de acesso controlado, os equipamentos e instrumentos expostos à radiação, até amostras e resíduos líquidos, sólidos e gasosos de operações de tratamento de minério radioativo e produtos do desmantelamento de reatores. Registre-se que a primeira geração de reatores alcança seus 40 anos e, consequentemente, está em vias de atingir sua vida útil, necessitando ser descomissionada. O que fazer com o material assim originado é parte importante da problemática dos rejeitos, inclusive denominada pelo Financial Times de *The Science of Nuclear Gerontology*.

As radiações ionizantes estão presentes, em maior ou menor grau, em todas as atividades que constituem a cadeia industrial do combustível nuclear, sendo

particularmente expressivas no combustível já utilizado, no qual atingem intensidades superiores a milhões de vezes a do combustível ainda não levado ao reator. Essa radioatividade toda, em sua grande parte restrita às barras de elemento combustível, deve ser deixada “esfriar” em piscinas situadas próximas ao reator até que decaia a níveis que permitam ser transportado, acondicionado e, em última análise, reprocessado se houver interesse na obtenção do urânio-235 remanescente ou dos isótopos de plutônio criados.

A intensidade de radiação, natural ou induzida, que um material continua a emitir para o ambiente após sua utilização permite classificá-lo como rejeito de alto, médio ou baixo grau. Os rejeitos de alto grau são àqueles que emitem grandes quantidades de radiações ionizantes na unidade de tempo, radiações essas originadas por nuclídeos de meia-vida curta, a exemplo do iodo-128 (25 minutos), do estrôncio-90 (28 anos) e do césio-137 (30 anos). Já os rejeitos de baixo grau são originados por nuclídeos de meia-vida longa, àqueles que continuam a emitir radiações por muito tempo, até milhões de anos como o urânio-238 (4,5 milhões de anos), e os transurânicos em geral, embora a baixas intensidades.

Dessa sumária apresentação do problema depreende-se que os rejeitos cuja disposição definitiva merece maior atenção são os de meia-vida longa, uma vez que os demais podem ser deixados descansar até perder sua capacidade de ionização em áreas controladas, nas proximidades das próprias plantas nucleares onde são originados. De qualquer modo, a Agência Internacional de Energia Atômica estima que em 2000 existirão tantas quanto 180000 t de combustível irradiado – *spent fuel* , a espera de uma solução para o seu armazenamento definitivo, o que coloca a questão entre as mais prioritárias a serem equacionadas pela indústria (IAEA, 1997).

Alternativas, algumas extremamente criativas, para a disposição definitiva de rejeitos não faltam, entretanto, apenas duas delas vêm sendo efetivamente consideradas na literatura. A primeira trata de enterrá-los em verdadeiros edifícios subterrâneos compartimentados em níveis de radiação e acesso, escavados em granitos de áreas tectonicamente estáveis. A outra, aproveita notória estabilidade tectônica e química dos domos salinos para dentro deles, em escavações profundas,

depositá-los. Ficariam ai a mercê da própria sorte e da criatividade tecnológica das gerações futuras.

Tecnicamente, qualquer das alternativas se apresenta factível e de custos, pelo menos iniciais, previsíveis e assimiláveis pela indústria. Porém, ainda não levadas a cabo. Em outras palavras, não há experiência nas questões atinentes a disposição definitiva de rejeitos, experiência que deverá ser adquirida pela indústria e, principalmente, aceita pela opinião pública no novo milênio.

6.2 Os Estoques de Plutônio

Os estoques de plutônio têm crescido sistematicamente devido ao aumento da capacidade de reprocessamento de combustível irradiado sem a correspondente ampliação do número de reatores regeneradores para consumi-los. Às 1500t de plutônio inventariadas pela IAEA no final do século, outras 100t vieram se somar recentemente devido a desativação de artefatos bélicos (ogivas) com o fim da Guerra Fria, exigindo um rigoroso controle do mercado de plutônio então vislumbrado.

Contudo, por mais rigoroso que venha sendo exercido o controle dos estoques pela IAEA, cerca de 150 eventos, notificados e confirmados, entre 1993 e 1997, a maioria envolvendo o desvio de urânio em seu estado natural, fracamente enriquecido ou ainda sob a forma de fontes radioativas, e alguns casos envolvendo urânio altamente enriquecido e plutônio, indicam um mercado paralelo potencial para produtos físseis. Mercado esse que, fomentando a movimentação de cargas nucleares, representa um grande risco à segurança do público em geral e um problema a mais para as ações relativas a não proliferação de armas atômicas.

A corrida nuclear entre a Índia e o Paquistão, as dificuldades impostas pelo Iraque à inspeção de suas fábricas de armamentos, os inusitados acontecimentos na República Democrática Popular da Coréia (IAEA, 1997) são todos eventos particulares da mesma questão: Disponibilidade de material físsil altamente concentrado para ser comercializado, situação que muito propriamente poderá se transformar num intransponível obstáculo para a expansão da indústria nuclear no

novo milênio, uma vez que, juntamente com o problema do lixo, questiona o slogan de energia limpa com o qual se apresenta nos dias de hoje.

* * *

BIBLIOGRAFIA

BPAmaco World Energy 1999. Statistical Review of World Energy

ComCiência n°13, agosto de 2000.

IAEA Bulletin vol.39, n°2, 1997. p.

IAEA – Energy & Environment: the drive for safer, cleaner development. IAEA Bulletin vol.39, n°3, September 1997. p.26-40.

IAEA – Arms Control & Verification: safeguards in a changing World. IAEA Bulletin vol.39, n°3, September 1997. p.4-11.

IAEA$_{a}$ - Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2000. IAEA: Vienna, 1999. 53p.

IAEA$_{b}$ – International Newsbriefs. Energy and Sustanable Development. IAEA Bulletin vol.41, n°4, December, 1999. p.43.

OI, N.; WEDEKIND, L. – Changing Global Perspectives: Nuclear Fuel Cycle Trends into the Next Century. IAEA Bulletin vol.40, n°1, 1998. p.7-11.

PEPPER, D.- The Roots of Modern Environmentalism. Routledge:Paris, 1993. 243p.

ROGNER, H.-H.; KHAN A. – Comparing Energy Options. The Inter-Agency Decades Project. IAEA Bulletin vol.40, n°1, 1998. p.2-6.