

# Energia Nuclear: Ambiente e CO<sub>2</sub>

ANTÓNIO J.G.RAMALHO\*



Hiroxima, parque de paz. Ao fundo, vê-se a cúpula do Observatório. O edifício foi intencionalmente deixado tal como ficou após a explosão. A placa de cimento que se vê no centro da fotografia fica na projecção do ponto zero.

Neste trabalho mostra-se a posição da energia nuclear no panorama mundial de produção de energia eléctrica e do uso das reservas energéticas.

Assinala-se ser previsível que o crescimento do consumo de energia eléctrica nos países em desenvolvimento, embora menos acentuado do que nos últimos 20 anos, continue a ser mais acelerado do que no mundo industrializado e que essa procura virá a ter implicações muito profundas naquele.

Nota-se que a energia nuclear, mesmo quando gerada a partir dos reactores correntes, assenta em reservas que só são excedidas pelas de carvão. Com recurso à reciclagem do plutónio a energia nuclear devém uma fonte de energia que só é excedida pela fusão nuclear cuja implementação não

parece vir a atingir significado comercial nas próximas décadas. Mostra-se que a energia nuclear está entre as formas menos poluentes e que os problemas dos resíduos radioactivos e da não proliferação têm soluções adequadas, já ou a curto prazo. Refere-se que a experiência da Agência Internacional de Energia Atómica, no domínio das salvaguardas, é um elemento importante para um sistema Internacional de Controlo de Produtos para Armamento Químico e Biológico mas, nota-se, que este problema sendo muito mais insidioso e difuso é muito mais difícil de tratar do que aquele. As emissões de dióxido de carbono que a energia nuclear evita correspondem a cerca de 25% das geradas pela indústria elec-

tro-produtora a partir dos combustíveis fósseis.

## INTRODUÇÃO

A energia nuclear foi revelada ao público sob os efeitos da explosão em Hiroxima em 5 de Agosto de 1945 e é essa imagem que nele persiste depois que desapareceram, quase na sua totalidade, os vestígios da guerra que, afinal, provocou o seu desenvolvimento. Curiosamente esquece-se todo o sofrimento causado pelos horrores de uma guerra de anos cujos custos humanos e materiais são muitas centenas de vezes superiores aos causados por aquela explosão para ficar apenas a imagem da destruição momentânea, horrível aliás. Quem tiver oportunidade de visitar Hiroxima, terá dificuldade em imaginar o

que terá sido a angústia e o sofrimento que o evento provocou se, não vendo os testemunhos recolhidos no museu, se deixar absorver pela quietude do local, a que foi dado o nome de “parque da paz” e que, sem dúvida nenhuma, acima de tudo, convida à contemplação e ao relaxamento. Até parece que aquele esquecimento dimana de um bem estar que nos habituámos a auferir, particularmente na Europa e América do Norte, para nos fixarmos somente no espectacular, no grandioso, mesmo que ele seja tristemente espectacular ou grandioso e que os efeitos desse evento sejam apenas uma fracção mínima dos referentes ao conjunto em que ele se insere. Neste contexto é muito interessante o trabalho do Prof. Weart<sup>1</sup> [1] que, a certa altura, escreve “Uma vez que as bombas foram construídas, não surpreende que o aspecto assustador começasse a fortificar-se. As pessoas compreendem as notícias em termos dos conceitos que já têm. Assim que ouviram a palavra “bomba atômica”, se se analisar o que se ouvia ou se dizia na rádio, mesmo ainda antes de existir um relatório adequado do que tinha acontecido em Hiroxima, por todo o lado se falava de dia do juízo, fogo do inferno, segredos cósmicos e Frankenstein. Nessa altura os físicos já tinham compreendido que as forças nucleares não são nem mais nem menos cósmicas do que as familiares forças eléctricas e que a libertação da energia nuclear só é mágica no mesmo sentido em que queimar um fósforo o é. No entanto a maioria das pessoas acreditaram que havia qualquer coisa supremamente misteriosa, quase divina, em qualquer manifestação da energia nuclear.”

Os trabalhos que conduziram às primeiras bombas atômicas bem como toda a actividade anteriormente desenvolvida no domínio da radioactividade mostraram claramente a necessidade de protecção contra as radiações emitidas no declínio radioactivo, de impedir a “poluição do ambiente” por essas mesmas radiações e de utilizar materiais de alta pureza para que a reacção nuclear em cadeia pudesse atingir a criticidade. Vai-se assim enraizando a certeza e a prática de pureza e asseio que são apatrimónio das instalações nucleares e que são, sem sombra de dúvida, exemplos claros da preservação do ambiente. Presentemente referem-se casos vários de actuações inconsistentes com esta prática particularmente na área da rejei-



Monumento à paz em Hiroxima.

ção de resíduos. Julga-se que não é apropriado tomar essas excepções pela realidade e nota-se que os casos mais notórios dessas agressões ao ambiente, tendo de facto existido, não só não são específicos da energia nuclear como também ocorreram em regiões sujeitas a condições que impediram que um controlo adequado se estabelecesse. Essas situações são cada vez mais factos do passado que há que reter como lições e elementos de formação das novas gerações. É curioso notar que as coberturas nos sapatos que hoje se vão encontrar em certos museus, palácios e outros locais cuja degradação se pretende evitar, foram utilizadas desde sempre nos estabelecimentos nucleares para impedir que o ser humano fosse agredido por

esses materiais e que ele fosse veículo da sua transferência accidental. Por outro lado a demonstração da possibilidade de controlar a reacção nuclear em cadeia e o conhecimento da enorme quantidade de energia libertada na cisão nuclear impõem que se transfiram os resultados para elevar o bem estar da humanidade. A investigação orientada para a produção de energia eléctrica encontra-se, assim, no centro da actividade dos centros nucleares que, entretanto, foram sendo criados. Em todos os programas subsequentes nesta área está presente o binómio “produção de energia para o bem estar da espécie – preservação do ambiente onde essa mesma espécie deverá subsistir”. É por isso que entre os primeiros trabalhos sobre a preservação do

ambiente estão seguramente os que foram motivados pela investigação sobre a utilização pacífica da energia nuclear. Dentre estes contam-se os que têm a ver com a contaminação radioactiva, a definição de acidentes máximos concebíveis (frequentemente chamados "maximum credible accidents" e que na realidade eram totalmente incríveis correspondendo apenas a situações hipotéticas que poderiam conduzir à libertação para o ambiente de uma fracção do inventário dos materiais radioactivos existentes na instalação em apreço), a poluição térmica causada em rios, lagos ou mar pelo calor transferido dos fluidos dos sistemas de arrefecimento de reactores. São interessantes, anedóticos por vezes, os episódios de colmatção de redes de protecção, colocadas nos extremidade das condutas de descarga da água de arrefecimento dos primeiros reactores comerciais, causados pelo desenvolvimento de fauna aquática nesse ambiente que a água de descarga tornou mais quente.

#### A ENERGIA NUCLEAR E O PANORAMA ENERGÉTICO

H. Blix<sup>2</sup> chama à energia "o sangue das sociedades" e assinala que o nível de vida das populações está em relação directa com o consumo de energia[2]. Estas afirmações são bem evidenciadas pela utilização anual média por habitante, nos EUA, China e Índia, respectivamente 7200, 600 e 300 Kg de equivalente petróleo.

Tradicionalmente a humanidade recorreu a formas renováveis de energia até ao advento da era industrial. A incomodidade da utilização destas formas de energia e a necessidade da sua disponibilidade em grandes quantidades e concentrações para, em particular, satisfazer o crescimento dos agregados urbanos forçou a exploração de outras formas com ênfase para as fósseis. Nenhuma destas responde de forma conveniente ao requisito de comodidade que a sociedade industrial procura. Esta resposta aparece com a energia eléctrica que leva ao consumidor um produto que ele não precisa de procurar, que é limpo e de utilização extremamente simples. Ocorre, assim, que o acréscimo de procura de electricidade tem sido superior ao de outras formas de energia e, também, ao de outros indicadores de crescimento económico, como o PIB por habitante.

Tabela 1 - Acréscimo anual (%) do PIB e dos consumos de energia e de energia eléctrica

	PIB	Energia	Energia Eléctrica
OCDE	2,9	1,1	3,2
Desenvolvimento	4,0	4,6	8,1

A Tabela 1 (construída a partir de elementos das pg. 24 e 25 da ref. 5) mostra como tem sido a evolução do PIB e das procuras de energia e de energia eléctrica nos países da OCDE e em desenvolvimento nos últimos 20 anos.

Observe-se que as taxas de crescimento são, significativamente, mais elevadas nos países em desenvolvimento do que na OCDE, sendo particularmente elevada a da procura de energia eléctrica. Apesar destas taxas de crescimento o caminho a percorrer pelos países em desenvolvimento é ainda longo e irá ter reflexos profundos no grupo dos países industrializados.

Deve assinalar-se que dum ponto de vista global a humanidade continua a usar diferentes formas de energia e que, infelizmente, só uma pequena parte é consumida na produção de energia eléctrica. Na Tabela 2 mostra-se como se repartiu o consumo mundial de energia durante o ano de 1987[3]. É certo que a situação presente será um pouco diferente mas, não é crível que as diferenças que, eventualmente, existam alterem grandemente a perspectiva.

Como a tabela mostra, em 1987, 29,4% da energia primária foi, ao nível mundial, usada na produção de electricidade, sendo 63% desta energia produzidos a partir de combustíveis fósseis. Só cerca de 11% de toda a energia primária consumida, respeitante às vias hídrica e

nuclear, não contribuiu para a libertação de gases responsáveis por poluições diversas (chuvas ácidas, efeito de estufa). Repare-se que a energia nuclear representava, ao nível mundial, da ordem de 5% da energia primária e de 16% da energia eléctrica consumidas. A electricidade de origem nuclear compensou, em 1992, ao nível europeu 34% dos consumos e, ao nível da França 75%.

Para além da comodidade que a energia eléctrica proporciona ao consumidor esta forma de energia apresenta outras vantagens muito grandes ao nível global *inter alia* as que resultam, por exemplo, da facilidade com que é transportada e da maior eficiência que o processo da sua produção apresenta. Estes aspectos foram identificados desde longa data e são responsáveis pela elevada taxa de crescimento do consumo de energia eléctrica que, nalguns casos, atinge já perto de 40% da energia total utilizada.[4]

No que se refere à eficiência tem-se uma percepção do seu impacto notando que os motores eléctricos utilizam a energia primária com uma eficiência superior a 30% (a eficiência de uma central eléctrica ronda os 40% e a eficiência da conversão dos motores eléctricos é da ordem de 90%) enquanto que os motores de automóveis mais aperfeiçoados apenas utilizam cerca de 20% da energia primária que consomem [4]. É

Tabela 2 - Consumo anual de energia (1987)

	Energia Primária (EP)		EP Usada na Produção de Energia Eléctrica		
	Total (TWh)	Fracção (%)	Total (TWh)	% da EP	% da EP Total
Petróleo	3,96	33,0	0,44	11,1	3,7
Gás	2,09	17,4	0,41	19,6	3,4
Carvão	3,19	26,6	1,37	43,0	11,4
Hidro	0,71	5,9	0,73	100	6,1
Nuclear	0,55	4,6	0,57	100	4,8
Geoterm	<0,01	<0,01	<0,01	—	—
Não Cor	1,50	12,5	<0,01	—	—
Total	12,00	100,0	3,52	—	29,4

NOTA: As diferenças entre os valores das percentagens hídrica e nuclear das colunas 3 e 6 devem-se a fontes de informação diferentes.

claro que uma forma de reduzir o consumo de energia primária e, portanto, os efeitos sobre o ambiente passa pela utilização dessa energia sob a forma de energia eléctrica.

A resposta que as sociedades têm dado à utilização da energia eléctrica tem conduzido à sua introdução a um ritmo 2 a 3 vezes mais elevado (ver Tabela 1) do que o que ocorre com o consumo de energia.

A forma como se vem processando a utilização das reservas de energia tem criado preocupações importantes, quiçá muito sub-estimadas, do que poderá vir a ser o futuro da humanidade face às necessidades de energia para o seu bem estar ou, até, sobrevivência. Note-se que, há pouco mais de dois séculos toda a energia da combustão era essencialmente usada para um aquecimento rudimentar e confecção de alimentos. As utilizações da energia multiplicaram-se e generalizaram-se e a população do mundo aumentou enormemente e este aumento foi acompanhado de um prolongamento importante da vida média das populações.

Reúnem-se, na Tabela 3[5], elementos sobre as reservas mundiais de energia e do tempo que decorreria até à sua exaustão<sup>3</sup> admitindo que o consumo se mantinha ao nível de 1987 (ver tabela 2).

Não se incluem nesta tabela reservas hídricas nem energias renováveis embora a sua contribuição para o balanço energético tenha bastante significado tal como se indica na Tabela 2. O uso destas reservas ao ritmo de 1987 conduziria à sua exaustão dentro de 136 anos. Saliente-se que as reservas de materiais nucleares, mesmo usadas com recurso a sistemas pouco eficientes (os reactores não reprodutores), constituem a 2.<sup>a</sup> reserva mais importante. Observe-se,

Tabela 4 - Consumo de energia eléctrica per capita em várias regiões do mundo (1990)

	Consumo (TWh)	População (Milhões)	Consumo/capita (MWh)
OCDE	6852	831	8,24
USA	3016	249	12,11
Japão	816	123	6,63
CEE	1720	326	5,28
Rússia & Leste	2274	421	5,40
Desenvolvimento	2507	3900	0,64
Portugal	26,5	10,3	2,57
MUNDO	11633	5152	2,26

Na informação para a CEE não se inclui a antiga Alemanha de Leste.

ainda, que os combustíveis líquidos e gasosos constituem "espécies em vias de extinção" já que as reservas, consumidas ao ritmo de 1987, esgotar-se-iam dentro de meio século. Neste contexto cabe perguntar se as utilizações feitas são as mais nobres e se não haverá que rever todo este problema numa «óptica de maximização dos benefícios que a humanidade pode tirar do uso dessas reservas?»

Numa perspectiva de previsão de duração de reservas é importante ter presente quais são os consumos de energia eléctrica per capita em diferentes regiões do globo uma vez que sendo esta a forma de energia cuja utilização representa o mais elevado padrão de vida é de presumir que as populações a continuem a procurar a taxa superior à do consumo de energia.

Na Tabela 4 [6] reúnem-se elementos sobre o consumo de energia eléctrica em diferentes regiões do globo e, tendo em conta as populações dessas regiões, calculam-se os consumos per capita. Este indicador permitirá tirar ilações sobre o futuro da energia num planeta que cada vez se torna mais pequeno e uniforme e sobre as pressões que se

podem desenvolver para preservar as riquezas energéticas.

Da informação contida nesta tabela parece importante salientar que:

i) os países da OCDE, com aproximadamente 1/6 da população mundial, consomem 60% da energia eléctrica (esta conclusão é também essencialmente válida para o consumo total de energia primária, ver [2];

ii) o consumo de energia per capita nos países em desenvolvimento, com 76% da população mundial, é 1/8 do consumo na CEE.

A Tabela 1 mostra que, nos países em desenvolvimento, as taxas de crescimento da procura de energia, têm sido muito elevadas nos últimos 20 anos. Não parece possível que a procura continue ao mesmo ritmo no futuro por mais desejável que isso seja no sentido de eliminar as piores das poluições, isto é, a pobreza e a miséria global e, portanto, de aproximar as condições de vida das populações mais desfavorecidas das condições que o grupo mais favorecido aufere. Um cálculo simples permite mostrar que a elevação do consumo de energia eléctrica ao nível de Portugal significaria, aproximadamente, duplicar os consumos mundiais e que, por outro lado, mesmo com um ritmo de crescimento às taxas verificadas nos últimos anos, esses países levariam 30 anos a atingir o consumo que então Portugal teria. Nessa altura o consumo per capita no país seria ligeiramente superior à média comunitária de hoje se a sua evolução se tivesse processado ao ritmo actual dos países da OCDE. Um crescimento com as taxas da Tabela 1 levaria a que, ao fim desses 30 anos, o consumo anual de energia primária no mundo subisse para 28,5 Twa, sendo 20,4Twa o valor da componente eléctrica. Nestas condições as reservas mundiais (ver

Tabela 3 - Reservas mundiais de energia e tempo para a sua exaustão

	Reservas Mundiais (Twa)	Tempo Exaustão (ano)
Petróleo	167	42
Gás	135	65
Carvão	964	302
Hídricas	—	—
Nuclear	68	122
Outras	—	—
TOTAL	1334	136

Factores de conversão: 1 tonelada de carvão equivale a 0,7 toneladas de petróleo, 0,8 milhões de metros cúbicos de gás, 50 gramas de urânio usado em reactores térmicos e 0,5 gramas de urânio usado em reactores rápidos. 1 GTep = 1,346Twa

Tabela 5 - Estimativas das taxas de crescimento médias dos consumos de energia (1991-2010)

Região	Energia Total	Energia Eléctrica	Energia Nuclear
América do Norte	0,6-1,1	2,0-2,6	0,4-1,0
América Latina	2,3-2,7	4,8-6,5	6,1-8,0
Europa Ocidental	0,6-1,1	1,8-2,5	0,2-0,9
Europa Oriental	1,1-1,5	2,4-3,3	2,7-4,7
África	2,2-2,7	4,7-6,4	1,1-6,4
M. Or. & Ásia Sul	2,6-3,1	5,0-6,2	11,9-13,7
SE Ásia & Pacífico	2,3-3,8	3,3-5,0	0,0-0,0
Extremo Oriente	1,8-2,4	3,2-4,8	3,7-4,8
Médias Mundiais	1,3-1,8	2,7-3,8	1,5-2,5

Tabela 3) esgotar-se-iam em menos de outros 30 anos considerando nula a taxa de crescimento dos consumos daí para diante. Estar-se-ia então cerca do ano 2050 quando, muito provavelmente, os reactores de fusão não serão ainda a realidade que os reactores térmicos hoje são.

A procura de estimativas fiáveis dos consumos de energia no futuro constitui um trabalho importante de Agências especializadas como sejam a Agência Internacional de Energia Atómica e as Agências Internacional de Energia e de Energia Nuclear, ambas da OCDE. Apresenta-se na Tabela 5 uma estimativa, feita pela primeira das organizações citadas, das taxas de crescimento anual dos consumos de energia, de energia eléctrica e de energia nuclear em várias regiões do globo[7].

Estas previsões apontam para taxas de crescimento menos aceleradas do que as verificadas nos últimos 20 anos sendo, no entanto, semelhantes as variações relativas, assim:

- as taxas de crescimento serão mais elevadas nas regiões menos desenvolvidas;
- o consumo de energia eléctrica terá um crescimento duas vezes mais rápido do que o consumo de energia;
- a procura da energia nuclear terá um andamento próximo do da energia em geral sendo no entanto substancialmente mais rápida em certas regiões do globo, designadamente a América Latina e o Médio Oriente e Ásia Sul.

Tendo em consideração as reservas mundiais indicadas na Tabela 3 e admitindo que nos próximos anos as taxas de crescimento dos consumos se situam a meio dos intervalos indicados na Tabela 5 pode concluir-se que as reservas de energia primária se esgotariam dentro de um século, admitindo que, para além do período abrangido pela últi-

ma tabela, os consumos se mantinham constantes. Estes intervalos de tempo são **ridiculamente** breves até mesmo à escala da presença do homem civilizado no globo. Esta faceta sobeja para justificar a procura de formas de energia (novas formas, renováveis, fusão, etc.) e a maximização da eficiência de utilização das formas hoje em uso. Dessa forma será possível dilatar o intervalo de tempo deixado ao homem para, auferindo das condições de que presentemente disfruta, encontrar novas soluções.

Referiu-se acima a importância da conversão da energia primária em energia eléctrica como forma de economizar aquela energia. Parece apropriado desenvolver um pouco o significado desta poupança. Considerando o exemplo referido, se todo o petróleo consumido em 1987 (ver Tabela 2) tivesse sido usado para produzir energia eléctrica a disponibilidade de energia para o utilizador teria aumentado em, aproximadamente, 60% (eficiência da central e da utilização da energia eléctrica respectivamente 35% e 90%, sendo de 20% a eficiência de utilização directa da energia primária) isto é, em cada ano poupar-se-ia a energia suficiente para 7 meses de consumo. A palavra de ordem, ao nível mundial, deve, pois, ser "economia" e, esta deve ter lugar a todos os níveis desde a produção à utilização final. Sobre esta matéria vejam-se, por exemplo, os trabalhos de Morthrost[8] e de Wilbanks[9] mas refira-se, ainda, um exemplo do dia a dia do cidadão comum [4], designadamente, que uma lâmpada eléctrica de alta tecnologia pode ter uma luminosidade 4 vezes superior à de uma lâmpada usual da mesma potência. Esforços no sentido da poupança e da diversificação das fontes de energia têm sido promovidos ao nível dos governos e na CEE através de programas comunitários tais como os THERMIE e VALOREN. Outro exemplo

muito significativo dos resultados de medidas de poupança é fornecido pelo programa lançado pelo presidente Carter, na sequência da crise petrolífera de 1973, em resultado do qual o consumo de petróleo nos EUA, em 1990, foi inferior ao daquele ano.

É claro que outra forma de atrasar a exaustão é aumentar as reservas e no caso da energia nuclear isso pode ser feito sem incorrer em problemas adicionais de poluição através do uso do plutónio que, frequentemente, é categorizado como resíduo. Fazendo a reciclagem do plutónio nos reactores térmicos ou enveredando por reactores rápidos cuja tecnologia, embora menos provada do que a daqueles, é uma realidade, aumenta-se enormemente o potencial desta forma de energia (0,5 gramas de urânio usado em reactores rápidos equivalem a 50 gramas usados em reactores térmicos).

A tabela não contempla a fusão nuclear; nota-se que o potencial energético desta forma de energia excede largamente a soma de todas as outras. É, no entanto, importante ter presente que esta forma de energia está muito longe da utilização comercial e que, se tudo correr bem, lá para meados do próximo século a humanidade poderá começar a colher frutos do que, por enquanto, é Investigação e Desenvolvimento. As previsões sobre a data de introdução da energia de fusão têm sido, infelizmente, estrondosamente incorrectas. É claro que este erro de optimismo não deve servir de argumento para não apoiar esforços correctos no sentido do aproveitamento comercial da energia da fusão nuclear mas também parece claro que os grupos humanos e os seus dirigentes deverão ter muita prudência ao tomar decisões baseadas em hipóteses sobre matérias ainda não dominadas. Neste caso como no da dinamite ou da energia de cisão foi bem mais fácil abrir a porta da destruição do que é abrir a do bem estar.<sup>4</sup>

Desta análise decorre um certo número de aspectos entre os quais devem reter-se:

- as reservas energéticas de que o homem dispõe são limitadas e a sua exaustão ocorrerá num futuro próximo, se não forem tomadas medidas de poupança adequadas, ou encontradas outras soluções;

- a gestão e utilização das reservas vão constituir um aspecto fulcral das relações internacionais no futuro;

- é essencial continuar a investir na

economia de energia desde a sua produção até à utilização final;

- todas as formas de energia são necessárias para a preservação da espécie em condições de vida aceitáveis;

- há que olhar decididamente para a produção de energia eléctrica pela via nuclear (sem receios infundados dos problemas que possa ter) e para a maximização do potencial das reservas de urânio [10] e de outras matérias cindíveis e férteis.

## A ENERGIA NUCLEAR E O AMBIENTE

O encontro do homem com a radioactividade ocorreu ainda no século passado com a sua descoberta (1896) por Becquerel. A esta descoberta seguiu-se a do rádio pelos Curie (1902) e, anos depois, esse elemento era aplicado em medicina para tratamento do cancro. Com o objectivo de produzir rádio fez-se, em Portugal, a exploração do urânio desde o princípio do século estimando-se que, até 1944, tenham sido produzidos 50 g de rádio a partir de minérios portugueses. Por esta época os conceitos de poluição ainda não eram claros mas já era certo que a radiação não podia ser usada desordenadamente, já existiam detectores para medição de radioactividade (o detector de Geiger-Muller já era uma realidade) e era conhecido que a radiação fazia aumentar a taxa de mutações. A era atómica vai iniciar-se marcada pela necessidade de utilizar a energia libertada na cisão nuclear e de controlar a radiação que, também, a acompanha.

O aproveitamento pacífico da energia libertada na cisão atómica força a que:

- i) se criem práticas que obriguem os trabalhadores envolvidos a cumprir regras que minimizem a sua exposição à radiação com que trabalham;

- ii) se investiguem as condições que assegurem que esse aproveitamento não é prejudicial ao ser humano;

- iii) se estabeleçam normas e práticas que garantam que as instalações são seguras para os trabalhadores e o público e que a sua operação seja feita de forma a preservar a segurança das pessoas e as instalações.

A implementação destas práticas mostra e agudiza a necessidade da fiabilidade e da qualidade.

Dentro da área da protecção das pessoas as normas limitam a exposição que o trabalhador pode sofrer. Esses

limites tem sido baseados em recomendações da ICRP[5] e têm vindo a ser sucessivamente revistos e reduzidos. Para além da redução dos valores dos limites a experiência mostrou que era impossível basear as normas num só parâmetro (a dose acumulada durante um certo período) e que não só havia que atender ao tipo de radiação ionizante mas também que era muito importante, por exemplo, ter em consideração o débito de dose. Estas alterações são o resultado não só do melhor conhecimento e avaliação dos riscos que a exposição às radiações acarreta mas, acima de tudo, do caminho percorrido pela humanidade para a elevação do padrão e qualidade de vida.

Afigura-se importante recordar que a pessoa de hoje, vivendo nos países industrializados, mesmo em Portugal, afigura-se em condições de vida que no fim da década de 40 pertenciam ao domínio da ficção. É de assinalar, também, o contributo que a energia nuclear tem tido nesta área, não tanto directamente mas indirectamente. Por um lado como a 1ª grande experiência humana de investigação multidisciplinar coordenada e em larga escala, que estabeleceu o precedente para outras aventuras humanas, por outro como a demonstração da importância da saída da investigação das torres de marfim que o passado tinha legado e por outro, ainda, como instrumento da institucionalização de normas de controlo e qualidade<sup>6</sup>.

A informação, a experiência e a obediência a normas estão entre os factores que têm contribuído para a redução progressiva das doses de radiação a que os profissionais estão expostos. Em 1991 os trabalhadores do parque nuclear americano que incluía 108 reactores em operação distribuídos por 70 centrais nucleares receberam, no exercício da profissão, em média, uma dose anual de 290 mrem[11] enquanto que, no mesmo período, o público em geral recebeu 360 mrem e as tripulações que regularmente fizeram os vãos Nova York-Tóquio receberam, no exercício da sua actividade, 960 mrem. Os profissionais de outros países auferem de condições semelhantes às dos americanos, os de Koushung<sup>7</sup>, por exemplo, receberam a dose média de 240 mrem por pessoa e por ano nos primeiros 10 anos completos de operação da central [12].

Porque a percepção generalizada pode ser diferente, refere-se que é muito

pequena a contribuição da radioactividade artificial (excluída a componente resultante de aplicações médicas) para a dose anual recebida pelo público em geral. De facto [13] a contribuição das diferentes fontes da exposição à radiação reparte-se como segue: Radiação natural 49% (radão 40%, cósmica 9%), solo 12%, do próprio corpo 6% (potássio-40, carbono-14) e radiação artificial 33% (30% resultante de aplicações médicas, principalmente radiografias, e 3% da queda de produtos radioactivos criados pelos ensaios de explosivos nucleares e produzidos pela actividade industrial nuclear e não nuclear).

São muito grandes os progressos conseguidos desde que os pioneiros da energia nuclear se lançaram na exploração das potencialidades que a nova tecnologia abriu. A procura desse progresso que provavelmente abreviou a vida a cientistas ilustres como E.Fermi, F. Joliot, I. Curie (todos eles vitimados por leucemia) entre outros, esteve no início de desenvolvimentos importantíssimos em campos diferentes como sejam os da medicina, biologia, electrónica, cálculo científico, etc.

Todos estes progressos não impediram Three Mile Island nem Chernobil. Se é certo que no primeiro caso é praticamente nulo o efeito sobre a pessoa humana (à parte a ansiedade durante o desenrolar do acidente) e o ambiente já as agressões são enormes no segundo caso. Sabe-se que este último acidente, cuja causa assenta em falhas humanas<sup>8</sup> [14], aliás o mesmo ocorre na maioria dos acidentes nucleares ou não, teria tido consequências muito menores se o reactor fosse provido de um sistema de contenção como ocorre *inter alia* com todos os reactores do tipo LWR. Estes dois acidentes e as aplicações bélicas, estabeleceram a aceitação que a energia nuclear ainda hoje tem e, talvez tenham, até, impedido análises objectivas da posição desta face a outras formas de energia. Sem minimizar os efeitos de Chernobil ou de Hiroxima é importante comparar o número de acidentes graves na indústria electro-produtora. A Tabela 6 reúne elementos sobre esta matéria [15].

Sendo os acidentes ocorridos na área nuclear vistos, frequentemente, pelo público, e pelos média, à luz de Hiroxima não surpreenderia se o entendimento geral, levasse a considerar que todos os acidentes nesta área são explosões nucleares. Foi dentro desta perspectiva

Tabela 6 - Acidentes graves na indústria electro-produtora (1969-1986)

Opção	Número de acidentes	Energia Produzida (Gwa)	Número de fatalidades imediatas		
			Por Acidente	Total	Por Gwa
Carvão	62	10000	10-434	3600	0,34
Petróleo:		21000			
Tombos de plataformas	6		6-123	ND	—
Incêndio	15		5-145	450	0,02
Transporte	42		5-500	1620	0,08
Gás	24	8600	6-452	1440	0,17
Hídrica	8	2700	11-2500	3839	1,41
Nuclear	1	1100	31	31	0,03

## NOTAS:

- 1) O número total de fatalidade ocorrido em tombos de plataformas não está disponível
- 2) No caso do acidente de Chernobil espera-se que, dentro do grupo de pessoas expostas à radiação, venham a ocorrer vários casos de doenças atribuíveis à radiação. Houve uma evacuação de 130000 pessoas de uma área de exclusão com 30Km de raio à volta da central.
- 3) Os acidentes com o gás natural são, em geral, incêndio ou explosão.

que o acidente Tomsk [16] nos foi recentemente apresentado mas, acrescente-se que, nessa mesma perspectiva, seria apropriado pensar que todos os automóveis que circulam eram bombas<sup>10</sup>. Em termos gerais, não é fácil ter uma percepção correcta do risco que um empreendimento arrasta, por exemplo Morgan [17] indica que as pessoas subestimam, por ordens de grandeza, os riscos dos acidentes comuns (inclua-se neste caso o acidente de automóvel que, só em Portugal, ceifa anualmente milhares de vítimas e causa milhões de contos em prejuízos) e sobrestimam, também por ordens de grandeza, os riscos de causas pouco comuns. O público adquire a percepção de certos riscos através de informação que lhes é fornecida pelos média e, *ipso facto*, por aquilo que constitui notícia. Não estará neste domínio o número de pessoas que diariamente morre vitimado por doenças cardíacas mas um só caso de botulismo constituirá, muito provavelmente, tema de noticiário.

Outro aspecto importante da energia nuclear, talvez o mais controverso, relaciona-se com os produtos radioactivos gerados pelo funcionamento dos reactores. Pensa-se que uma boa parte da questão tem que ver com a percepção que, por alguns dos isótopos radioactivos terem períodos de semi-desintegração que excedem, em muito, a vida provável do cidadão, se está perante um

problema insolúvel.

Desde o alvor da era atómica que os resíduos gerados são guardados e armazenados; a filosofia que tem sido seguida pode transcrever-se pela sigla C&C (em inglês, concentrate and confine) e é oposta à que vigora na indústria convencional, onde a da sigla D&D (dilute and disperse) prevalece.

Até ao presente a maioria dos resíduos têm sido armazenados, temporariamente, *in loco* ou em repositórios próprios. Parece que surgem, ainda, mais receios em relação a estes lugares do que em relação às fontes; talvez o nome pelo qual a «notícia» os tem divulgado, cemitérios, leve a que as pessoas os não queiram na sua proximidade gerando-se reacções que, por vezes, não primam pela ausência de emocionalidade<sup>11</sup>. As metodologias seguidas baseiam-se em reduzir, por concentração, o volume de resíduos e depositá-los, depois definitivamente, em sítios geologicamente estáveis. A combinação de técnicas para incorporar os resíduos em matrizes altamente estáveis, hoje essencialmente desenvolvidas e comprovadas, com locais de armazenamento com as características referidas garante que não serão deixados problemas às gerações vindouras.

É importante não perder de vista qual é a dimensão do problema. Vendryes [10], considerando que os resíduos altamente radioactivos são

armazenados vitrificados, resume-o em que "a quantidade de produtos de cisão correspondente à electricidade consumida por uma família francesa média entre 1956 e o ano 2000 pode ser armazenada em 100 cm<sup>3</sup> de vidro" (o que, para toda a França, corresponde ao volume de um pequeno prédio de 3 pisos).

Do ponto de vista do reprocessamento do combustível dos reactores nucleares, ou do armazenamento dos resíduos altamente radioactivos é sempre tecnicamente conveniente passar por períodos de armazenamento provisório afim de reduzir as quantidades de produtos radioactivos e de calor residual com que haverá que lidar posteriormente.

Blix, referindo-se ao problema dos resíduos radioactivos, faz a seguinte citação que se considera ser bastante reveladora: "*o problema insolúvel dos resíduos radioactivos é mais político que técnico e necessita mais de coragem do que de cérebro para a sua resolução*".

A interacção de um sistema de produção de electricidade com o ambiente depende do tipo de centrais que constituem o seu "mix" e, dentro desta perspectiva, parece interessante comparar diferentes tipos de centrais. Tomando como referência uma central de 1000 MWe que, operando com um factor de carga de 75%, produzirá num ano 6,6x10<sup>9</sup> kWh, apresentam-se na Tabela 7 [18] valores de alguns parâmetros de operação com implicações ambientais para centrais a carvão, fuelóleo, gás e nuclear (a central nuclear é do tipo PWR).

Os elementos reunidos acima mostram que, à parte o aspecto da radioactividade, as centrais nucleares são nitidamente menos agressivas para o ambiente do que as convencionais. É certo que aquelas centrais geram produtos radioactivos em quantidade importante mas, também é certo, que a manipulação desses materiais está completamente dominada. É interessante notar que se a energia eléctrica consumida na CEE fosse produzida a partir do carvão e se, dentro do princípio do "poluidor-pagador" que se defende nas relações internacionais, as cinzas e poeiras que correspondem à captação do cidadão europeu, em 1990, lhe fossem entregues este receberia, anualmente da ordem de 0,7t; ao fim da sua vida.... o ambiente estaria limpo e o cidadão... enterrado nas cinzas. Dentro desta perspectiva talvez o cidadão em causa, em defesa de si próprio e do seu agregado familiar, preferis-

Tabela 7 - Consumos, resíduos e espaço ocupado por centrais

	Tipo de central			
	Carvão	Fuelóleo	Gás	Nuclear
Consumo diário	6300 t	4400 t	4,4 Mm <sup>3</sup>	0,075 t
Consumo anual	2,52 Mt	1,52 Mt	1,7 Bm <sup>3</sup>	27,2 t
Transporte do combustível	25000 vagões	3 petroleiros de 500000 t	15 navios de 125000 t	uns camiões
O <sub>2</sub> consumido (Mt/ano)	6,5	4,8	4,6	0
CO <sub>2</sub> produzido (Mt/ano)	7,8	4,7	3,2	0
Área ocupada (ha)	300	250	200	200
SO <sub>2</sub> rejeitado (t/ano)	39800	91000	2640	0
NO <sub>2</sub> rejeitado (t/a)	9450	6400	21000	0
Poeiras (t/a)	6000	1650	-	0
Resíduo sólido (t/a)				3000
Cinzas	69000			10000
Cinzas volantes	377000			Ci/ano

Notas à tabela:

1 centrais equipadas com despojeadores no caso contrário a quantidade total de poeiras montaria a 383000 toneladas

2 Efluentes gasosos das centrais nucleares 6000 a 24000 Ci/ano em isótopos de vida curta

3 Transporte do combustível: vagões de 100 t, petroleiros gigantes de 500000 t e navios de 125000 t.

se que uma parte significativa da energia que utiliza fosse gerada pela via nuclear até porque disporia de uma solução, não autorizada aliás, para "guardar" os resíduos radioactivos que o agregado tivesse recebido.

A queima dos combustíveis fósseis produz emissões gasosas que, genericamente, conduzem a dois tipos de problemas, um de toxicidade (SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>) e outro de efeito de estufa (CO<sub>2</sub>). O primeiro problema gerou situações que, tendo sido identificadas mais cedo de forma concludente, conduziram à introdução de medidas de controlo diversas na utilização dessas fontes de energia tanto no sector eléctrico como noutros.

O efeito de estufa está genericamente comprovado mas a ausência de manifestações imediatas parece fazer com que a sua gravidade não seja percebida da mesma forma por todos os grupos humanos. Aliás, mesmo face à mesma percepção técnica, os grupos defenderiam e, a curto prazo, adoptariam soluções correspondentes a posições que reflectiriam problemas mais ingentes ou mais aceitáveis para o grupo<sup>12</sup>. A percepção política da gravidade do efeito de estufa é modelada pelas pressões dos grupos. Isso e as margens de incerteza das previsões técnicas vão arrastando o problema. O IPCC<sup>13</sup> [19] estima que até ao fim do próximo século, dentro de um cenário de "business as usual", o efeito de estufa fará subir a temperatura média do globo de 5º C o que conduzirá a uma elevação do nível médio das águas do

mar da ordem de 60 cm.

Neste contexto é importante lembrar que o fenómeno não só tem efeitos globais mas também que a contribuição para as emissões não é específica de nenhum grupo humano. Note-se, por outro lado, que são os grupos auferindo de maiores padrões de vida que não só são os maiores contribuidores mas também os que reúnem mais condições para implementar medidas e criar opções que, a longo prazo, sirvam os interesses da humanidade toda.

Existem vários gases que contribuem para o efeito de estufa, uns naturais, outros produto da actividade humana, a importância de cada um deles depende das quantidades emitidas, isto é, da variação induzida na sua concentração natu-

ral, da sua eficiência radiativa e da sua vida na atmosfera. Na Tabela 8 [19] compilam-se elementos sobre os gases gerados pela actividade humana, com maior influência no efeito de estufa.

Estima-se [19] que os gases referidos na tabela acima tenham contribuições para o efeito de estufa que, integradas por um período de 100 anos, apresentam a seguinte distribuição: CO<sub>2</sub> 61% (sendo as fracções relativas à queima de carvão, de fuelóleo, de gás e à deflorestação respectivamente com 18, 18, 7 e 18%), CH<sub>4</sub> 15%, N<sub>2</sub>O 4%, CFCs 11% e diversos 9%.

Desta análise parece importante realçar que:

- o problema dos resíduos radioactivos tem sido exacerbado, podendo dizer-se que as tecnologias para a sua contenção e armazenamento já existem;
- a produção de electricidade pela via nuclear evita emissões muito gravosas para o ambiente a curto e a longo prazo;
- o número de casos fatais resultantes de acidentes nucleares não é superior ao ocorrido noutras opções energéticas;
- as exposições dos profissionais da energia nuclear às radiações são pequenas e as técnicas de controlo usadas garantem que as actividades são executadas com o mínimo de risco para o pessoal e para o público em geral.

## A ENERGIA NUCLEAR E O CO<sub>2</sub>

A importância do dióxido de carbono no contexto do efeito de estufa assenta em que, apesar de ter um baixo potencial de aquecimento, é produzido em grandes quantidades e não existem

Tabela 8 - Gases importantes para o efeito de estufa cuja presença na atmosfera é afectada pela actividade humana

Parâmetro	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CFC-11	1CFC-2	N <sub>2</sub> O
Concentração (1750-1850)	280 ppmv	0,8 ppmv	0	0	288 ppbv
Concentração (1990)	353 ppmv	1,72 ppmv	280 pptv	484 pptv	310 ppbv
Taxa anual de acumulação	1,8 ppmv (0,5%)	0,015 ppmv (0,9%)	9,5 pptv (4%)	17 pptv (4%)	0,8 ppbv 0,25%
Vida atmosférica (a)	50-200	10	65	130	150
Potencial de Aquecimento	1	21	—	16000	290

Nota à tabela:

1 Potencial de aquecimento relativo por molécula

métodos capazes de impedir a sua acumulação na atmosfera, uma vez produzido. Assim a primeira prioridade para a redução do ritmo de acumulação de CO<sub>2</sub> tem sido actuar sobre a emissão através do aumento de eficiência da conversão e utilização da energia contida nas fontes que lhe dão origem.

A produção de energia eléctrica, a partir de combustíveis fósseis conduz a emissões concentradas de grandes quantidades de dióxido de carbono. Os centros de produção são, por isso, alvos bem identificados onde, se for possível actuar, se conseguem efeitos significativos e, também, facilmente observáveis e quantificáveis. Ela não é, no entanto, a principal fonte de emissões gasosas contribuindo para o efeito de estufa; a Tabela 2 mostra que apenas 21% do consumo da energia primária, de origem fóssil e não comercial, resulta da produção de electricidade. No espectro da utilização das fontes de energia primária, presentemente existente, a contribuição da energia nuclear intervém com uma fracção modesta e, consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> que evita são só uma fracção das emissões globais. Os dados, referentes a 1987 (ver Tabela 2), mostram que a emissão mundial de CO<sub>2</sub> resultante da queima de combustíveis fósseis foi de ~22000 Mt das quais cerca de 6000 Mt<sup>14</sup> resultaram da produção de electricidade. Nesse ano, a electricidade de origem nuclear representou 25,7% da de origem fóssil tendo, por isso, evitado uma emissão da ordem de 1500 Mt de CO<sub>2</sub> ou seja uma quantidade correspondente a 25,7% das emissões geradas a partir de combustíveis fósseis. A quantidade de emissões evitadas corresponde 6,8% do total verificado o que é considerado insignificante por certos opositores à energia nuclear.

Parece ser importante reter: não os 6,8% mas sim os 25,7% em relação com a energia eléctrica de origem fóssil tanto mais quanto a tendência, que aqui caminha em paralelo com a necessidade e o interesse da espécie, é para um acréscimo do ritmo de procura de energia eléctrica.

Não se deve perder de vista que a redução das emissões de CO<sub>2</sub> resultante de aumentos de eficiência, conseguidos e previsíveis, é muito grande e daí que um grupo de peritos, reunido sob os auspícios da OCDE para estudar o tema "desafios ambientais e oportunidades para as tecnologias electro-produtoras" coloque, num relatório recente, a eficiên-

Tabela 9 - Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pela energia nuclear (Mt)

Ano	CEE	OCDE	Contribuição relativa (%)	
			França	USA
1991	720	1911	19,4	37,8
1992	750	1921	19,8	37,5

cia na produção e uso da electricidade à cabeça das suas recomendações, muito embora reconhecendo que só medidas desse tipo serão insuficientes para cobrir a necessidade de mais energia no futuro.

Esse mesmo grupo também conclui serem o carvão e a energia nuclear as únicas alternativas discerníveis para responder, nas próximas décadas, ao grosso da procura de electricidade.

Tomando como base informações da OCDE [20] reúnem-se na Tabela 9 os valores das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pela energia nuclear. Os valores são calculados relativamente ao carvão usando os factores de conversão indicados<sup>14</sup>.

Nota-se que mais de 80% da produção de electricidade pela via nuclear está, ainda, concentrada nos países da OCDE e que a França tem uma posição de liderança nesta área: este país, cuja produção eléctrica total é da ordem de 6% da produção da OCDE tem um programa que lhe permite evitar emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes a cerca de 20% das verificadas na OCDE. Portugal figura entre os países, deste grupo, onde a produção de CO<sub>2</sub> per capita é menor, mas isso parece não se dever a nenhuma poupança especial mas sim a que a capacidades energéticas (em geral eléctricas) são baixas. Reunem-se, na Tabela 10, elementos relativos à contribuição do sistema electro-produtor português para as emissões de dióxido de carbono. As quantidades de CO<sub>2</sub> são calculadas usando os factores de conversão indicados anteriormente.

Em relação a estes valores parece ser de assinalar, os aumentos bruscos verificados em 1989 e 1992 e a redução ocorrida em 1988 cujas origens estão, principalmente, nas variações da contribuição hídrica. Repare-se, também, que no período de 1986 a 1992 enquanto que a energia produzida aumentou de 40% as emissões de CO<sub>2</sub> subiram de 132%. Deve referir-se que o valor do acréscimo das emissões de CO<sub>2</sub> calculado a partir dos valores de 1986 e 1992 dramatiza um pouco o problema. É, no entanto, necessário assinalar que situações fora do controlo humano, tais como a baixa pluviosidade dos últimos anos, obrigam a planeamentos de contingência que cubram casos como aquele.

Desta apresentação parece ser de realçar que:

- as fontes de energia primária capazes de responder ao grosso da procura de electricidade nas próximas décadas são o carvão e a energia nuclear;
- das formas de energia primária em uso o carvão é a mais poluente tanto dum ponto de vista geral como do da produção de CO<sub>2</sub>;
- os aumentos de eficiência na produção e utilização da energia, contribuição de forma muito significativa para a redução de emissões poluidoras do ambiente mas serão insuficientes para cobrir as necessidades de energia;
- a energia nuclear já evita emissões de CO<sub>2</sub> que correspondem a mais de 25% das emissões resultantes da produ-

Tabela 10 - Emissões de CO<sub>2</sub> pelo sistema electro-produtor português

Ano	Energia produzida (TWh)	Contribuição hídrica (%)	CO <sub>2</sub> Produzido (Mt)
1986	20,6	41	8,96
1987	21,5	42	9,06
1988	23,0	53	8,74
1989	25,1	24	16,4
1990	26,5	35	16,5
1991	27,7	33	17,6
1992	28,9	18	20,9

ção de energia eléctrica a partir de combustíveis fósseis.

### OUTRAS FACETAS DA ENERGIA NUCLEAR

A faceta da energia nuclear com maior impacto económico é a produção de energia eléctrica; deve, no entanto, salientar-se que ela está longe de ser única e que a ciência e as metodologias nucleares se implantaram em grande número de sectores da actividade humana tais como a indústria, a medicina, a agronomia, a biologia, primeiro como ferramenta de investigação e depois através de aplicações específicas.

Vale a pena referir aplicações que, tendo sido propostas ou iniciadas há anos, assumem presentemente uma importância acrescida; referimo-nos à utilização das radiações para esterilizações e conservação de alimentos, à possibilidade da utilização do calor rejeitado para aquecimento urbano [21] e à produção de água doce por dessalinização da água do mar [22]. Cabe aqui um comentário à importância das duas últimas aplicações referidas já que os portugueses, não vivendo condições extremas, como as que existem nas latitudes elevadas ou nas zonas que bordam os desertos, podem ter dificuldade em apreciar (já o alentejano às voltas com uma falta de água endémica, agravada nos dois últimos anos, estará receptivo para a segunda!). O aquecimento representa, a latitudes elevadas, a condição que, não só torna a vida possível mas também a torna confortável e que, ainda, faz com que a actividade dos grupos humanos exista ao mesmo ritmo durante todo o ano. Ele libertou o homem da "tutela do ambiente" o que lhe permitiu lançar-se, sem interrupção, na actividade industrial (não são poucos os defensores da teoria de que foi luta para vencer o clima que, efectivamente, esteve na base do maior desenvolvimento que os grupos humanos do Norte adquiriram em relação aos do Sul). A falta de água que, mesmo entre nós, constitui um problema muito importante sê-lo-á cada vez mais e é, já, nalgumas regiões do globo, dramática. Só na orla mediterrânica, que está muito longe de ser a região mais crítica, estima-se que no ano 2000 o défice de água seja da ordem de 10 milhões de m<sup>3</sup> por dia. Existe experiência neste tipo de utilização, particularmente na Rússia onde o rector rápido BN-350 entrou em funcionamento em 1973<sup>15</sup>.

A produção de energia eléctrica

pela via nuclear é, frequentemente, desaiada com base num argumento de proliferação nuclear. Afigura-se importante acentuar que é mais fácil construir reactores simples que sejam geradores de plutónio do que construir reactores industriais como os que equipam os sistemas produtores de energia eléctrica que existem no Ocidente. A construção de reactores plutonigénicos como os que se fizeram nas décadas de 40 e 50 está ao alcance de muitos países, porém isso não ocorre para os reactores comerciais como os que hoje existem. É certo que todos os reactores industriais geram plutónio, todavia, este plutónio é rico em isótopos não cindíveis, o que o torna pouco adequado para fins militares. A separação do plutónio do combustível irradiado requer uma tecnologia complexa que é mais complicada no caso dos reactores comerciais do que seria no caso de um reactor simples construído especificamente para produzir plutónio.

A questão da não proliferação nuclear está patente no lançamento do programa "Átomos para a paz" pelo presidente dos Estados Unidos da América D. Eisenhower, em Dezembro de 1953. É por isso que a implementação desse programa é acompanhada com a criação, dentro do sistema das Nações Unidas, da Agência Internacional de Energia Atómica, cujas funções de base são a promoção da utilização da energia nuclear para fins pacíficos e o controlo dos materiais nucleares envolvidos nessas aplicações. O sistema inicial de salvaguardas só cobria os materiais nucleares e o equipamento com eles transferido ou usado, o que significava que um país, mesmo tendo matérias e equipamentos sujeitos ao sistema internacional de salvaguardas, podia, sem infringir nenhum acordo, desenvolver um ciclo paralelo não submetido a controlo. O tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares alterou esta situação colocando todos os materiais existentes nos Estados signatários, não possuidores de armas nucleares à data da adesão, a coberto do controlo da Agência (Foi por esta razão que a África do Sul não violou nenhum acordo e antes de aderir àquele tratado destruiu as seis bombas nucleares que tinha produzido até então; este gesto constitui, sem dúvida, um exemplo notável da atitude de um grupo humano desejoso de um clima de paz que tanta falta lhe faz). Deve referir-se que as salvaguardas da Agência começam quando os materiais atingem certas característi-

cas de pureza ou forma e não cobrem certas utilizações (por exemplo, os estabilizadores usados em aviões) nem minérios. Vale a pena referir que a AIEA tem, com o apoio dos países membros, reunido os elementos materiais e humanos que lhe permitem desempenhar de forma muito correcta a sua missão. Tecnicamente todos os problemas de salvaguardas são solúveis e se, por vezes, se pode ter a impressão de que a organização não deu resposta a um problema que surgiu isso deve-se sobretudo a que os grupos humanos e, portanto, os países que os congregam ainda não atingiram o estágio de dar a uma organização supranacional a competência para actuar com a autoridade que as organizações nacionais têm. Julga-se ser de referir que os investimentos que os países tem feito nesta área são bastante modestos e que se todas as despesas que o empreendimento representa fossem incluídas no preço do kWh o acréscimo que daí resultaria seria insignificante. De facto, em 1992, por exemplo, o orçamento da AIEA no campo das salvaguardas foi da ordem de 60 milhões de US dollar e a energia eléctrica fornecida pelas centrais nucleares montou a 2027 TWh o que, mesmo que aquelas despesas subissem de um factor 10, para dar conta de uma cobertura universal, significaria uma incidência de  $3 \times 10^{-2}$  cêntimos (US)/kWh, isto é, ~0,05 Esc, por kWh.

Cabe aqui assinalar a importância da implementação das salvaguardas como a primeira experiência, com dimensão mundial, do controlo de actividade nacional por uma organização supranacional. E deve lembrar-se a importância que pode ter o aproveitamento da experiência da AIEA para estabelecer mecanismos idênticos na área do controlo dos produtos usados em guerra química ou biológica. Note-se, no entanto, que um projecto deste tipo cujas componentes políticas são imensas apresenta muito maiores dificuldades de execução do que o dos materiais nucleares. Essas dificuldades são causadas *inter alia* pelas características, características, dos materiais e instalações utilizáveis no seu fabrico.

Parece importante reter que:

- a energia nuclear não é só produção de electricidade,
- o reforço das actividades em áreas como sejam a conservação de alimentos, a dessalinização e o aquecimento urbano poderão ter repercussões econó-

micas muito importantes;

- o controlo dos materiais nucleares pela AIEA é feito correctamente e os custos actuais, ou os resultantes de uma globalização, quando introduzidos no preço do kWh, induzem um acréscimo quase insignificante.

- o princípio do controlo dos materiais nucleares poderá e deverá ser aplicado, no futuro, na área dos materiais empregados em guerra química e biológica.

## CONCLUSÃO

A produção de energia eléctrica pela via nuclear que é economicamente justificável em muitas regiões do globo, inclusive na generalidade da CEE, assenta numa tecnologia demonstrada constitui uma forma de aumentar a diversificação das fontes de energia, reduzindo a dependência de regiões críticas do globo. À parte possíveis situações acidentais, cuja probabilidade não é maior do que a das outras formas de energia, e do armazenamento dos resíduos radioactivos, para o qual existem tecnologias desenvolvidas, é muito pouco agressiva para o ambiente.

As reservas de urânio permitem uma utilização durante um período que, ao ritmo de consumo actual só é excedido pelo carvão. Recorrendo à reciclagem do plutónio esse período pode ser enormemente dilatado excedendo, em muito, o previsível para o carvão.

As emissões de CO<sub>2</sub> que a energia nuclear evita são, presentemente, equivalentes a mais de 25% das que resultam da produção de electricidade a partir de combustíveis fósseis.

Parece portanto que se torna essencial ultrapassar sensibilidades diversas para que no interesse de todos, presentes e vindouros, se possa atacar, eficazmente, a maior das poluições, a da pobreza e da miséria, e cumprir a previsão, contida na declaração que um grupo de pioneiros<sup>16</sup> da energia nuclear apresentou durante a reunião de Novembro de 1992 da American Nuclear Society. Nessa reunião comemoraram-se os 50 anos sobre a experiência de Fermi, realizada na Universidade de Chicago, em 2 de Dezembro de 1942. Dessa declaração destaca-se a parte final **“se bem que o crescimento da indústria nuclear ao nível mundial seja lento no presente em virtude do estado da economia e da opinião pública o combustível nuclear acabará por ser visto como uma esco-**

**lha menos poluente e mais desejável do que os combustíveis fósseis. Nós temos grande confiança em prever um papel global principal para a energia nuclear no futuro”**[23].

## REFERÊNCIAS

1. S. R. Weart, Images of nuclear energy: Why people feel the way they do *IAEA Bulletin* **33** (3) (1991) 30.

2. H. Blix, The world's energy needs and the nuclear power option, *IAEA Bulletin* **32** (1) (1990) 38.

3. Donaldson, H.G. Tolland, *Nuclear power and the greenhouse effect* UK Atomic Energy Authority, May 1989

4. M.P. Mills, “Ecowatts” Energy and environmental impacts of electrification *IAEA Bulletin* **33** (3) (1991) 25.

5. OECD/NEA, *Broad economic impact of nuclear energy* Nuclear Energy Agency, Paris 1992

6. T. Mueller, Energy and electricity supply and demand: Implications for the global environment, *IAEA Bulletin* **33** (3) (1991) 9.

7. IAEA Newsbriefs **7** (4) (1992).

8. P.E. Morthrost, Potentials for electricity savings in Western Europe Electricity and the environment, IAEA-TEC DOC-624, pg. 43, Sep 1991

9. T. Wilbanks, The outlook for electricity improvements in developing countries *Electricity and the environment* IAEA TEC-DOC-624, pg. 121, Sep 1991

10. G. Vendryes, World order and nuclear energy in the future, International conference on fifty years of controlled nuclear chain reaction: past, present and future *Transactions ANS* **67** (1992) 66.

11. Worker exposures plunge in US nuclear plants, *Nu. Eng. Inter.* **33** (1993) 34.

12. Kuo-Chen Chan, Gan-Chang Lee, Improving ALARA practice at Taiwan's Kuosheng boiling water reactors *Nu. Eng. Inter.* **33** (1993) 42.

13. Informations Utiles CEA 1992 CEA Direction de la Communication 31-33 Rue de la Fédération

75752 Paris Cedex 15

14. J. Varey, Who was to blame for Chernobyl INSAG's second thoughts *Nu.Eng. Inter.* **38** (May 1993) 51.

15. *Senior expert symposium on electricity and the environment*, Key Issues Papers, 133 IAEA July 1991.

16. Explosion at Tomsk 7, *Nuc. Eng. Inter.* **38** (June 1993) 17.

17. M.G. Morgan, Risk Analysis and Management, *Scientific American*, July 1993.

18. Quelques informations utiles CEA 1988 CEA Département des Relations Publiques et de la Communication

19. N. Sundaraman, Energy and global climate changes issues, Proc. Symp. “*Electricity and the environment*”, 203, Helsinki, May 1991.

20. AEN Information, June 7<sup>th</sup> 1993 (Extraído de: «*Nuclear energy data*» OECD Paris 1993).

21. T.S. Dideikin, V.D. Islyamov, E. L. Petrov, V. P. Struev, V.A. Zubov, Ecologically pure and safe power supply of the region of St. Petersburg Proc. 3<sup>rd</sup> annual Sci. Conf. of the Nuclear Society *International Transactions* sup. **1** **67** (1992) (77).

22. A. Barak, L.A. Kotchetkov, M. J. Crijns, M. Khalid, Nuclear desalination: Experience, needs, and prospects *IAEA Bulletin* **32** (1990) 43.

23. *Nuclear News* **36** (1) (1993) 36.

## NOTAS

<sup>1</sup> Director do Centro para a História da Física do Instituto Americano de Física.

<sup>2</sup> Director Geral da Agência Internacional de Energia Atómica. A AIEA é uma Agência especializada das Nações Unidas cujas actividades principais são a promoção da utilização pacífica da energia atómica e o controlo da utilização pacífica dos materiais nucleares. Dispõe de um efectivo de pessoal da ordem de 2000 e administra um orçamento anual da ordem de USD 300 milhões contribuídos por 118 países membros.

<sup>3</sup> As reservas são calculadas na base de custos de produção e, portanto, aumentam com o acréscimo de custos que for compatível com

as utilizações. Deve referir-se, no entanto, que este aumento está associado com factores como sejam, a redução da concentração do material de interesse no minério, maiores dificuldades de extracção ou de tecnologias mais caras para separar esse material de um minério mais difícil de tratar; daí decorre que este aumento de reservas tem um impacto ambiental acrescido que não poderá ser esquecido.

<sup>4</sup> Recorde-se que as primeiras bombas de cisão e de fusão foram explodidas respectivamente em 1945 e 1951, que os reactores de cisão produziram energia eléctrica em 1954 e entraram em exploração comercial em 1956. Por essa época anunciavam-se os reactores de fusão para meados da década de 80 e, hoje, estima-se que eles serão realidade lá para o meio do século XXI.

<sup>5</sup> "International Commission on Radiological Protection" cuja fundação remonta a 1928. As últimas recomendações, nesta área, estão reunidas na "ICRP Publication 60" designada "1990 recommendations of the ICRP" e ou já foram adoptadas ou estão em vias de adopção nos vários países interessados entre os quais se conta Portugal.

<sup>6</sup> No princípio da década de 70 tive ocasião de ver, num laboratório de análise química pertencente a um dos grandes laboratórios nacionais americanos, uma cadeira móvel usada pelo responsável pelo laboratório (um deficiente motor por poliomielite) e que, segundo ele, foi feita pelos seus colaboradores, nos anos 40, e onde, por brincadeira, eles puseram como indicação de origem "made in Japan". Creio que, na altura, a informação sobre a qualidade era apropriada... e, hoje, vale a pena observar as diferenças.

<sup>7</sup> Koushung é uma central nuclear situada em Taiwan que está equipada com dois reactores BWR de 985 MWe e que entrou em operação em 1981.

<sup>8</sup> As informações fornecidas, quando o acidente foi formalmente anunciado, em 1986, colocavam no pessoal de operação a maioria das responsabilidades. Hoje elas são em grande parte atribuídas à falta de normas e de informação sobre problemas de comando que já eram conhecidos; neste caso a falha humana não parece competir aos actores que estavam no palco, o que é compatível com as condições então existentes na ex-URSS.

<sup>9</sup> O acidente ocorreu em 6 de Abril de 1993 numa instalação militar de reprocessamento de combustível e deveu-se a uma reacção química

num reservatório, contendo uma solução nítrica de U-Pu, localizado no início do segundo ciclo de extracção. A reacção originou a libertação de gases muito corrosivos que teriam sido inflamados em virtude de um curto-circuito que eles próprios teriam provocado ao corroer isolamentos de condutores eléctricos.

<sup>10</sup> Vale a pena lembrar que são sobretudo a velocidade de propagação e o volume onde a reacção se dá que determinam o carácter explosivo de uma libertação de energia. Assim a bomba de Hiroxima consumiu, numa pequena fracção do segundo, uma quantidade de urânio-235 da ordem de 1kg (o volume total do urânio necessário para o engenho ronda o litro) o que corresponde a uma libertação de energia de cerca de 1000MWd. Um reactor comercial de 1000MWe, cuja potência térmica é da ordem de 3000MW, consome diariamente cerca de 3 vezes mais urânio, porém o volume envolvido é da ordem de 30 m<sup>3</sup>. Nestes condições ter-se-á que a relação dos produtos- volume x tempo- é superior a 1:10<sup>9</sup>

<sup>11</sup> Não parece muito apropriada a objecção à utilização do mar para depósito de resíduos confinados. Haverá, certamente, locais estáveis susceptíveis de utilização se essa for a solução mais apropriada. Mesmo o leigo, perante fotografias de barcos naufragados, tais como as publicadas, há uns anos, do Titanic, será levado a pensar que a "agitação" não é grande nesses locais embora eles não tenham sido escolhidos.

<sup>12</sup> Experiências várias mostram que a aceitação de um problema está intimamente ligada ao conhecimento que se tem dele e, nesse contexto os «nuclearistas» são responsáveis pela pouca informação que têm dado ou, até, por posições de «distanciamento» que têm assumido.

<sup>13</sup> International Panel on Climate Change

<sup>14</sup> Factores de conversão usados: a produção de um KWh de energia eléctrica a partir de carvão, fuelóleo e gás produz, respectivamente, 1,18, 0,71 e 0,48 kg de CO<sub>2</sub>. Eficiência de conversão da energia primária 33%.

<sup>15</sup> Vale a pena lembrar que o grande promotor da ideia da dessalinização pela via nuclear, que teve o seu auge no princípio da década de 60, foi A. Weinberg. Os projectos de dessalinização mostraram que a produção de água só seria competitiva em grandes quantidades e isso esteve na base de questões de economia de escala e dos projectos de reactores com potências excedendo os 1000 MWe que,

então, representavam saltos quantitativos em relação aos sistemas que se construíam ou projectavam.

<sup>16</sup> Assinam a declaração:

Glenn T. SEABORG (Codescobridor do plutónio (1940) e vários outros elementos transurânicos, Prémio Nobel da Química de 1951, Chairman da USAEC)

John L. KURANZ (Equipamento nuclear, Fundador da Nuclear Chicago Corporation)

Bertrand GOLDSCHMIDT (Governador da AIEA por parte da França desde 1957, colaborador de M.Curie)

Sigvard EKLUND (Programa sueco, Director-Geral Emeritus AIEA)

André GIRAUDB (Ex-Ministro da Indústria de França)

Rosalyn S. YALOW (Pioneiro na aplicação de isótopos em medicina)

Alfred O.C. NIER (Produziu a 1.<sup>a</sup> amostra de U-235 puro)

Edward CREUTZ (Produção do combustível para os primeiros reactores de Oak Ridge)

Harold M.AGNEW (Metalurgista da equipa de Fermi, Director do Laboratório Nacional de Los Alamos, esteve presente em Dezembro de 1942 na experiência de Fermi)

Chuncey STARR (Desenvolveu o enriquecimento electromagnético)

Eduard TELLER (Do Advisory Committee do presidente Roosevelt que recomendou o programa nuclear)

John A. WHEELER (Trabalhou com N.Bohr, previu que o Pu era cindível)

Manson BENEDICT (Pioneiro do enriquecimento por difusão gasosa)

Alvin M.WEINBERG (Trabalhou com Fermi e Wigner, Director do Laboratório Nacional de Oak Ridge)

Sir John HILL (Líder do Programa Nuclear Britânico, Director do UKAEA de Harwell)

John S. FOSTER (Líder Programa Nuclear Canadiano)

Walker L. CISLER (Programa Americano)

Sir Rudolf PEIERLS (com Otto Frish previu a possibilidade da bomba atómica)

\* Físico. ICEN, Departamento de Energia e Engenharia Nucleares.