

# O destino dos resíduos radio-activos de reatores de energia atômica\*

TRADUÇÃO DO TRABALHO ORIGINAL DO ENG. HAROLD A. THOMAS JR.  
PROFESSOR DE ENGENHARIA CIVIL E SANITÁRIA "GORDON Mc KAY".  
UNIVERSIDADE DE HARVARD

Como representante de uma das mais antigas e maiores escolas para engenheiros sanitários nos Estados Unidos, é um prazer para mim poder dirigir-me a esta activa assembléia de professores de engenharia sanitária no Brasil e ter o privilégio de comparecer às suas reuniões técnicas. Depois do contacto convosco, individualmente ou em grupos, estou certo de que existe em vossos círculos profissionais uma grande reserva de competência em engenharia sanitária, acreditando e confiando que com a repetição de seminários dêste tipo essa reserva de forças poderá ser orientada no sentido de proporcionar uma considerável elevação do bem estar do povo brasileiro.

O assunto sôbre o qual desejo discorrer brevemente nesta noite, a disposição ou destino de resíduos radio-activos, é um daquêles, que certamente merece o seu interêsse e preocupação.

Na realidade é urgente que pelo menos alguns engenheiros sanitários brasileiros se tornem conhecedores da técnica de afastamento dos resíduos radio-activos.

As vantagens da energia atômica barata parecem ser particularmente importantes para o Brasil, em vista do acentuado progresso já alcançado na sua industrialização. Em vossa nação pode-se seguramente esperar que dentro de um curto período de anos a energia atômica poderá vir compensar a relativa escassês e o alto custo de combustíveis. Ademais, a energia atômica não é necessariamente competidora da energia hidroelétrica, parecendo que os vossos grandes recursos de forças hidráulicas podem vir a ser utilizados em uma combinação eficiente com os reactores nucleares para assegurar a energia necessária capás de suportar a forte, independente e crescente economia brasileira.

Permitam-me abordar brevemente os fatores que na situação internacional, e particularmente nos Estados Unidos, justificam a minha crença de que é urgente para engenheiros sanitários brasileiros tornarem-se conhecedores da tecnologia da disposição de resíduos rádio activos e que não decorrerá muito tempo até que se defrontem perante vós dificuldades e grandes problemas relativos ao afastamento dos resíduos de reatores de energia atômica.

Como bem sabeis, três grandes países, a Grã Bretanha, a Rússia e os Estados Unidos estão empenhados naquilo que essencialmente constitue uma corrida pelo desenvolvimento das aplicações pacificas da energia atômica.

Projetos e instalações práticas de reatores já se encontram disponíveis para a exportação e muitos outros tipos estão se aproximando das fases de desenvolvimento geral.

Nos Estados Unidos a situação atual se resume no seguinte:

- 1 — Desde o início da administração Eisenhower a orientação adotada tem sido no sentido de desenvolver os possíveis usos pacificos da energia atômica como uma iniciativa para melhorar o cenário político internacional e através de auxílios sob várias formas, incentivar a indústria privada a colaborar nesse desenvolvimento.

(\*) — Conferência realizada no Segundo Seminário de Professores de matérias relacionadas com a Engenharia Sanitária, Salvador, Bahia, 1956.

Em consequência da iniciativa privada a aplicação de capitais da indústria o programa foi extraordinariamente acelerado. No momento cerca de 300 a 350 milhões de dólares estão investidos no desenvolvimento de 7 tipos diferentes de grandes reatores para energia atômica. Um dos passos dados também pela atual administração no sentido de encorajar as instituições privadas consistiu na decisão do Governo de se encarregar dos processos de tratamento e de disposição dos resíduos nas áreas de sua propriedade em Oak Ridge e Hanford.

- 2 — Uma grande parte dos recursos científicos e técnicos da comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos (U. S. Atomic Energy Commission) anteriormente empregados no desenvolvimento de armas, foram desviados há quasi 3 anos para o campo das utilizações pacíficas do átomo, e especialmente para o desenvolvimento de projetos de reatores atômicos.

Inicialmente os esforços foram naturalmente conduzidos tendo em vista a consideração detalhada de várias fases distintas: reatores, processos químicos, preparação do material ("combustível") fabricação de conjuntos com "combustível" e destino dos resíduos. O progresso têm sido rápido e alguns resultados podem ser considerados surpreendentes. Mais recentemente procurou-se fazer a síntese das diversas fases, existindo um certo número de alternativas interessantes para os projetos.

Ao fim de cada mês a energia atômica apresenta condições econômicas mais favoráveis, tornando-se aparente que nenhum problema irremovível virá prejudicar o seu desenvolvimento final. Isto não significa que não existam problemas sérios e difíceis na evolução prática de fases tais como a "disposição" dos resíduos, mas agora é evidente que o programa de desenvolvimento, considerado em seu conjunto, é praticável e desejável.

No momento atual tudo faz crêr que o nascer da energia atômica barata se dará por volta de 1960-1962. Com a experiência acumulada espera-se que os custos da energia atômica possibilitarão a sua competição em todos os Estados Unidos nessa ocasião. Isto representa uma considerável redução nos prazos previstos em reuniões relativamente recentes tais como a Conferência de Genebra.

Antes mesmo que a energia atômica chegue a atingir o estágio da competição econômica, muitos reatores estarão produzindo energia elétrica em larga escala, para fins experimentais e em localidades onde os processos clássicos de produção de energia forem dispendiosos. Baseando-se no desenvolvimento atual da técnica, os reatores de tamanho moderado provavelmente podem ser operados com segurança e eficiência por um pequeno grupo de técnicos, em regiões afastadas. É razoável acreditar-se que estas fontes de eletricidade se tornarão fatores de importância vital para o progresso econômico em áreas ainda não desenvolvidas.

Não me considero competente para discutir em detalhes o desenvolvimento ativo e seguro que se processa paralelamente na Grã Bretanha no campo da energia atômica, porém minha forte impressão, de visitas feitas às instalações britânicas no mês passado, é de que o seu programa está bem concebido e está sendo bem conduzido sob o ponto de vista da engenharia. Seguramente ele contribuirá bastante para tornar a energia atômica barata, uma realidade para as demais nações do mundo.

Passando agora aquêles aspectos do desenvolvimento da energia atômica que interessam mais particularmente aos engenheiros sanitários, permitam-me fazer as seguintes considerações:

- 1 — Empresas atuais de energia elétrica passarão a produzir (também) energia atômica. Este é um facto de grande significação sob o ponto de vista de saúde pública. As empresas elétricas ao contrário de muitas outras indústrias, têm tido uma experiência insignificante com os problemas de poluição das águas. É de se esperar que se as organizações sanitárias e de saúde pública não agirem pronta e firmemente, prevale-

cerá a "filosofia" tradicional da indústria, de nada fazer, e que consiste em deixar que se crie uma situação de poluição e posteriormente, talvez, considerar o que poderá ser feito para corrigi-la, desde que os meios de correção não sejam demasiadamente dispendiosos.

- 2 — Muito embora existam tipos variados de reatores que diferem uns dos outros em questões relativas ao resfriamento, "combustível" utilizado, conjunto de combustível e intensidade do fluxo de neutrons, é certo que as características rádio-ativas dos resíduos de todos êsses reatores são essencialmente as mesmas.

Cêrca de 5 a 10% da energia nuclear liberada do Urânio e Tório ainda permanecem nos produtos da fissão atômica, e podem ser considerados como as "cinzas" de um "combustível" nuclear. Estes produtos da fissão prejudicariam a reação de cadeia e por isso precisam ser retirados periódicamente. Isso é feito em instalações de tratamento químico. Na fissão do Urânio os produtos finais são muito mais perigosos do ponto de vista da radiação do que o "combustível" original.

- 3 — Muito embora os emprêgos diversos como sub-produtos, de muitos dos rádio-isótopos dos produtos da fissão, na medicina, biologia, agricultura e indústria tenham se generalizado, tornando-se importantes em pesquisas, parece até o momento, que nenhuma dessas aplicações exigirá mais do que uma ínfima porção da produção total dos resíduos da fissão nuclear. Na realidade, as utilizações de sub produtos aumentarão ainda mais as responsabilidades do engenheiro sanitário, uma vez que haverá maior distribuição de elementos rádio-isótopos tornando-se bem mais difícil estabelecer meios seguros e econômicos para o seu destino final após expirada a sua vida útil.

#### UNIDADES PARA MEDIDA DA RADIOATIVIDADE

As velocidades de desintegração nuclear de isótopos rádio-ativos são determinadas em termos da unidade *curie*, isto é  $3,7 \times 10^{10}$  desintegrações por segundo (dps).

Nos Estados Unidos o limite máximo de rádio-atividade legalmente permitido para a compra, venda ou remessa (pelos correios) por particulares, de qualquer substância rádio ativa é de um *microcurie* (1 microcurie = 37 000 dps); no caso de quantidades superiores de radioatividade, é indispensável que seja obtida uma licença ou permissão especial, do Govêrno.

Um microcurie de um radioisótopo comum, como por exemplo o radiiodo 131, custa cêrca de US\$ 0,001, sendo, de utilidade em muitas experiências de laboratório como indicadores radioativos. Colocando-se sob um dispositivo Geiger — Müller 1 microcurie da matéria dos isótopos de produtos da fissão essa quantidade será suficiente para causar uma grande reação do contador. O manuseio de quantidades como esta de indicadores radioativos, apresenta um perigo insignificante para a saúde pública. Vários isótopos poderiam até mesmo ser ingeridos nessa quantidade, sem qualquer perigo; por outro lado, a ingestão de certos isótopos tais como o Estrôncio 90 em teores de 1 microcurie, seria extremamente perigosa, de tal modo que com estes materiais deverão ser tomadas precauções completas para garantir o seu manuseio seguro.

*Concentração máxima permissível de radioisótopos na água de abastecimento.*

Os gráus de toxidês dos diversos rádio-isótopos dos produtos misturados da fissão nuclear realizada nos reatores de energia atômica variam dentro de um grande intervalo (gama). Assim, por exemplo, a concentração máxima permissível (M. P. C.) nas águas de abastecimento que são ingeridas durante períodos

longos, para o rádio-molibidênio ( $\text{Mo } 99$ ) é 14 microcuries/ml; e para o rádio-estrôncio ( $\text{Sr } 90$ ) é  $8 \times 10^{-7}$  microcurie/ml. Este último isótopo é particularmente perigoso, pelas seguintes razões: (1) Ele apresenta um período de 25 anos para a meia vida de radioatividade física; (2) ele apresenta um longo período de meia vida biológica, concentrando-se nos ossos do esqueleto e deslocando o seu "irmão" cálcio por bastante tempo enquanto a radiação se verifica; (3) juntamente com o seu filho radioativo ( $\text{Ytrio } 90$ ) e rádio estrôncio 90 emite poderosas radiações beta (eletrons); (4) Ele é produzido em quantidades relativamente grandes nos processos de fissão atômica (Rendimento de 5,3%).

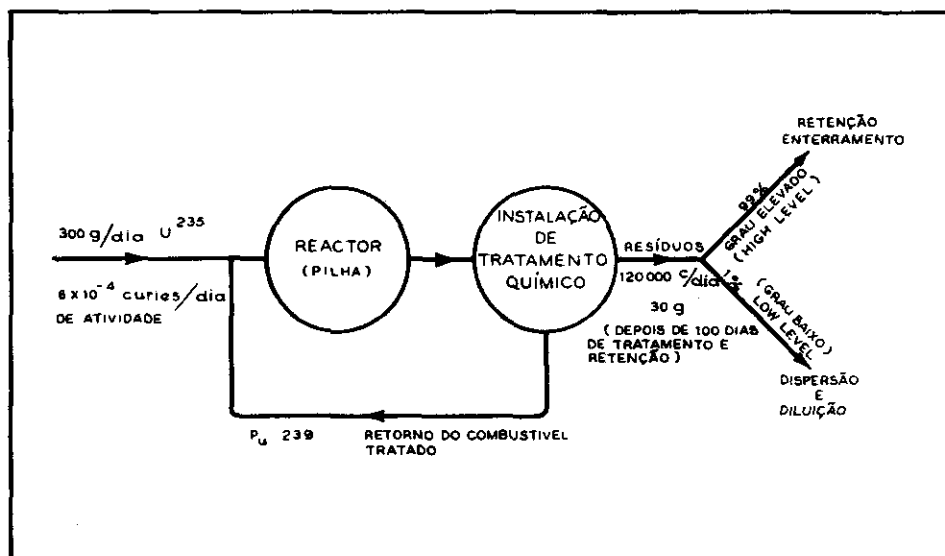
Um grande número de isótopos rádio-ativos é produzido nos processos de fissão ocupando o terço médio da classificação periódica dos elementos, desde o Gadolínium até o Zinco. Contudo, somente alguns destes isótopos são importantes sob o ponto de vista da engenharia sanitária. Alguns isótopos tais como o Iodo 131 apresentam um período de meia vida (física) relativamente curto e muito embora eles possam apresentar uma toxidês alta (M. P. C. baixa) eles não são importantes porque são facilmente removidos pela simples retenção (storage) antes da sua disposição.

Outros isótopos podem apresentar uma toxidês elevada, porém também não apresentam importância, uma vez que somente no processo de fissão eles são produzidos em quantidades ínfimas.

Por outro lado, há alguns isótopos tais como o Rutênio ( $\text{Ru } 103, 106$ ) que podem se caracterizar por uma baixa toxidês (M. P. C. elevada), mas que apresentam propriedades químicas que dificultam a sua remoção por processos de tratamento naturais ou artificiais. Algumas das substâncias radioactivas de importância para o Engenheiro Sanitário incluem certos isótopos de Estrôncio, Cesium, Cerium, Rutênio, Niobium, Zircônio, além de algumas das terras raras.

#### CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE UMA INSTALAÇÃO PILOTO DE REATOR ATÔMICO EM GRANDE ESCALA

As características importantes sob o ponto de vista da "disposição final" dos resíduos de um reator experimental para produção de energia, com 60 000 Kw, atualmente em fase final de execução na parte leste dos Estados Unidos, estão indicadas no seguinte esquema:



O diagrama indica a situação da instalação de tratamento químico que é operada junto ao local do reator ou nas suas proximidades. Na realidade para as instalações existentes e aquelas que serão executadas em futuro próximo os

restos da utilização dos elementos "combustíveis" serão tratados nas áreas pertencentes ao Governo em Oak Ridge e Hanford, onde também serão recebidos os resíduos do processo.

O esquema com os respectivos valores apresentados indicam o enorme aumento de atividade dos produtos residuários, em relação à rádio-atividade inicial do "combustível" (material empregado).

A subdivisão dos resíduos em duas partes, alto grau (high level, concentrada, 99%) e baixo grau (low level, diluída, 1%) é de certa forma arbitrária e está baseada no trabalho e eficiência atual das instalações existentes. E' de se esperar uma considerável variação na proporção daquelas duas parcelas em consequência de aperfeiçoamento e economias que serão conseguidas na tecnologia do tratamento químico.

Com o valor admitido para os resíduos de baixo grau, de 1200 curies/dia, uma idéia do volume de água necessária para se reduzir a concentração a limites seguros pela simples diluição, tendo em vista fins potáveis, pode ser apresentada com os seguintes cálculos:

Admite-se que o tratamento químico é eficiente na remoção de praticamente todos os isótopos perigosos tais como os de Estrôncio e Césium dos resíduos de baixo grau: que a MPC efetiva do líquido resultante seja  $10^{-3}$  microcuries/ml. A vazão necessária para o curso d'água receptor, tendo em vista a diluição, será:

$$\frac{1200 \times 10^6}{10^{-3} \times 10^3 \times 10^3 \times 86400} = 14 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

E' evidente que o volume de água necessário para a diluição dos resíduos de um reator pequeno, tal como o descrito já é relativamente grande, exigindo um rio de boa descarga.

A capacidade prevista das instalações de energia nuclear instaladas nos Estados Unidos por volta de 1980 é de  $1,35 \times 10^8$  Kw, ou seja mais de 2000 vezes aquela da instalação tomada como exemplo.

A atividade total dos produtos residuários (depois de 100 dias de retenção), durante o ano de 1980, somente nos Estados Unidos e de acordo com as estimativas relativas à instalação de reatores para energia atômica, será de cerca de  $10^{11}$  curies.

Uma idéia da magnitude e importância dos problemas relativos à "disposição" desses resíduos poderá ser concebida lembrando-se que toda a radioatividade natural de todos os mares e oceanos do mundo é também cerca de  $10^{11}$  curies. Isto é, se em 1980 os produtos residuários dos Estados Unidos apenas, forem uniformemente distribuídos e misturados nos oceanos, a rádio-atividade natural (11 dps/kg de água oceânica) seria duplicada. Mantendo-se este desenvolvimento as águas marítimas eventualmente passariam a apresentar uma rádio-atividade muitas vezes superior à atual, apresentando um perigo para a saúde pública.

**CONCLUSÃO:** Baseando-se nas considerações feitas a respeito de alguns dos aspectos sanitários relativos à indústria da energia atômica, torna-se evidente que o engenheiro sanitário têm um importante papel a desempenhar na solução de problemas sérios e de grande envergadura, referentes ao saneamento do meio, tendo-se em vista os resíduos rádio-ativos.

À vista das ponderáveis vantagens econômicas da energia atômica para o Brasil pode-se considerar um assunto de urgência para os engenheiros sanitários brasileiros a aquisição de conhecimentos e competência no campo do afastamento dos resíduos radioativos.