

IEA-PUB-34

IEA-IE-RUB-34



COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Publicação

CNEN - IEA - N.º 8

**NIVEIS DE RADIAÇÃO OBSERVADOS COM O IEAR-1
OPERANDO EM POTÊNCIA**

*RÔMULO R. PIERONI, SILVIO B. HERDADE, WILMA S. C. HEHL
e DIRCEU VIZEU*



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Publicação IEA - 34

SÃO PAULO



C. N. E. N.

Presidente — Almirante Octacilio Cunha

C. N. Pq.

Presidente — Prof. Dr. João Christovão Cardoso

U. S. P.

Reitor — Prof. Dr. Antonio Barres de Ulhôa Cintra

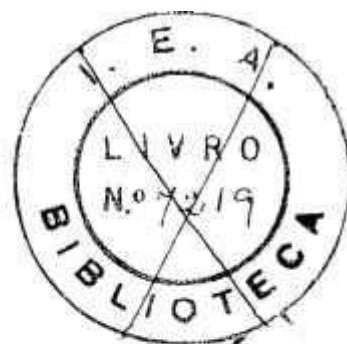
PG. 1

I. E. A.

Diretor — Prof. Dr. Marcello Damv de Souza Santos

NÍVEIS DE RADIAÇÃO OBSERVADOS COM O IEAR-1
OPERANDO EM POTÊNCIA

RÔMULO R. PIERONI, SILVIO B. HERDADE, WILMA S. C. HEHL
e DIRCEU VIZEU



1 9 6 0

Os conceitos emitidos na presente publicação representam opiniões de seus autores, e são de sua exclusiva responsabilidade.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear não se responsabiliza pela exatidão, originalidade ou utilidade das informações contidas no presente relatório, e tampouco garante que o uso de qualquer informação, método, processo ou aparelho divulgados ou descritos no presente trabalho não possam infringir direitos de outrem.

NÍVEIS DE RADIAÇÃO OBSERVADOS COM O IEAR-1 OPERANDO EM POTÊNCIA

Rômulo R. Pieroni*, Silvio B. Herdade**, Wilma S. C. Hehl**
e Dirceu Vizeu**

I — Introdução

1 — O reator do Instituto de Energia Atômica (IEAR-1) foi projetado para poder operar “contínuamente”, em potência de 5 Mw. Nestas circunstâncias a blindagem foi estudada de forma a existirem condições de trabalho, nas diferentes áreas do edifício do reator, sem necessidade de redução do tempo de serviço.

2 — A blindagem (na posição de operação “A” ¹) consiste em água (leve) e concreto. A base e a parede da piscina são de concreto e este é, parcialmente, de barita. Assim, para a base e lateralmente, a blindagem é representada por água e concreto. Para cima é constituída por água.

3 — A altura da camada de água acima do “caroço” do reator é de 22 pés: é ¹ suficiente para reduzir o nível de radiação a valor não su-

* Chefe da Divisão de Radiobiologia do Instituto de Energia Atômica.

** Do Serviço de Proteção Radiológica do IEA.

perior a 4 mrem/h (incluindo nesse total a contribuição da radiação gama e dos neutrons), na superfície da piscina e acima do núcleo. Contudo êsse nível pode ser ultrapassado, em decorrência do aparecimento de elementos ativos na água da piscina, quando o reator opera. Entre êstes elementos, aqueles para os quais se dá maior importância nos reatores do tipo do IEAR-1 são os seguintes: Na-24, proveniente de reação neutron-alfa no Al-27 dos elementos combustíveis; Na-24 resultante da ativação do Na-23 dissolvido; N-16, originário de reação neutron-proton no oxigênio da água; Cr-51, resultante da ativação do cromo existente no cromato de sódio usado no tratamento anti-corrosão dos elementos combustíveis. O Na-24 proveniente do Al-27 é que, numa operação contínua (8 horas por dia, cinco dias por semana) a 5 Mw daria lugar a maior contribuição para o nível de radiação junto à superfície da piscina, ou seja, de 25 mr/h. Para Garay², num reator de piscina com elementos combustíveis do tipo do MTR (caso do IEAR-1), operando 8 horas por dia, cinco dias por semana a 1 Mw, ter-se-ia uma concentração de Na-24 (vindo do Al-27) de 2×10^{-9} ppm, em média, na água da piscina, o que daria lugar a um nível de radiação gama de 60 mr/h na superfície. A remoção desse radioisótopo pelo sistema de recirculação e repurificação (resinas e carvão ativo) somente baixaria a taxa de radiação a níveis aceitáveis, se 50 gal/s da água da piscina passassem continuamente por um eficiente sistema de deionização. O Na-24 originário do Na-23, daria contribuição pequena desde que a concentração de sódio na água seja mantida abaixo de 9,2 ppm..

3.1 — No IEAR-1, pode-se injetar na superfície da piscina, água quente a cerca de 60°C, pura e não previamente submetida à irradiação, por meio de uma canalização de uma polegada de diâmetro provida de 68 crifícios de 1/8 de polegada, instalada na porção curva da piscina e a 6 polegadas abaixo do nível normal da água. Essa água provém diretamente do sistema de deionização "não radioativo" (5 gpm) e constituiria uma blindagem adicional, para a radiação proveniente dos produtos ativos dissolvidos na água, desde que formasse uma camada de água aquecida na parte superior da piscina.

4 — A espessura do concreto (6 pés e 6 polegadas) de barita, na altura do núcleo, é tal que a 5 Mw o nível de radiação no andar térreo e junto à parede da piscina, deve ser inferior a 4 mrem/h.

5 — Não se deve esperar a formação de aerossóis ativos, em concentração significativa, se a camada não ativa e quente fôr estabelecida. Nestas circunstâncias, mesmo gases ativos, como o N-16 e o A-41 (êste resultante da ativação do argon dissolvido na água), não devem passar para o ar em quantidades apreciáveis.

6 — Várias causas podem dar lugar a níveis de radiação maiores do que os esperados. De fato, as blindagens foram calculadas supondo que:

- a) a água da piscina é desmineralizada;
- b) os elementos combustíveis não receberam tratamento químico com cromato de sódio;
- c) a circulação forçada da água (para resfriamento) se faz em condições que é possível estabelecer, na superfície da piscina uma camada de água aquecida, pura e não previamente irradiada;
- d) há quantidade muito pequena ou nula de produtos de fissão na água;
- e) não há fendas ou falhas no concreto e/ou nos obturadores dos tubos de irradiação.

7 — O não preenchimento de qualquer das quatro primeiras condições pode determinar um aumento do nível “geral” de radiação, particularmente no salão da piscina e no porão, enquanto a existência de fendas ou falhas no concreto e/ou nos obturadores, determinaria um aumento “local”.

7.a) Sabe-se que o uso de água desmineralizada reduz grandemente a quantidade de atividade induzida na água da piscina. Não há alteração da quantidade de N-16 produzido, mas há redução muito grande na formação de outros elementos. Assim, no BSR — Bulk Shielding Reactor — (TID-10102) a substituição da água tratada com cromato de sódio, por água desmineralizada, reduziu por um fator maior do que 100 a atividade induzida nas impurezas da água. Por outro lado, nesse reator, o nível de radiação na superfície da água e na direção do “caroço” (a 1 Mw), atingia 1200 mr/h, enquanto a radiação direta (vinda do caroço) era de apenas 100 mr/h, quando se usava cromato de sódio na água, para prevenir a corrosão.

7.b) Quando os elementos combustíveis recebem tratamento químico com a finalidade de protegê-los contra a corrosão, pode ocorrer que, no decurso da operação do reator, parte dos elementos da camada protetora e que são ativados, passe para a água, do que decorrerá um aumento do conteúdo ativo da mesma. É o que se passa, por exemplo, quando os elementos são tratados com cromato de sódio (“alodizados”):

a formação do Cr-51 pode elevar não só o nível de radiação na superfície de piscina, mas ainda no carvão e nas resinas no sistema de recirculação e repurificação da água. A contribuição do Cr-51, deve, porém, cair com o tempo, à medida que a camada protetora é eliminada.

7.c) O estabelecimento de uma camada de água pura não ativa na superfície da piscina, impede a rápida difusão, para a superfície, dos produtos ativos dissolvidos. Disto deve resultar uma diminuição apreciável da concentração de aerossóis ativos no ar, assim como do nível de radiação na superfície da piscina, pois, essa camada livre de produtos radioativos, constitui uma blindagem para a radiação emitida pelas substâncias ativas dissolvidas na água subjacente. A efetividade dessa camada de água foi bem evidenciada no BSR³, onde se conseguiu reduzir de 1200 mr/h para 100 mr/h o nível de radiação na superfície da piscina e o acréscimo de mais 18 polegadas de água baixou-o a valores "permissíveis". Quando não há circulação forçada de água para refrigeração do caroço, não constitui maior problema o estabelecimento de uma camada adequada. Desde que exista circulação forçada, é necessário que o retorno da água que vai ao trocador de calor se faça em condições tais que a mesma não seja destruída pela turbulência. Este fato tem levado alguns a sugerirem a colocação de difusores (de plástico, por exemplo), logo acima do caroço² de forma a reduzir significativamente a velocidade de mistura da água na piscina, ou então, a colocação, sobre a água, de um líquido transparente, quimicamente estável, não corrosivo, menos denso e não miscível com a água (certos óleos minerais, ácido oleico, etc., satisfazem as condições exigidas). Segundo Garay² uma camada de 3 a 4 pés, de um líquido conveniente, seria adequada para obter a redução desejada no nível de radiação. No IEAR-1 está prevista a colocação de difusor de plástico, 80cm abaixo da superfície livre da água.

7.d) Pode ocorrer o aparecimento de produtos de fissão, na água da piscina, como resultado de defeitos na camisa de alumínio, da difusão através dêste e ainda da existência de pequenas quantidades de combustíveis na face externa dos elementos, como resultado do próprio processo de fabricação. Em geral, a presença de produtos de fissão na água, determina uma alteração sensível da atividade na água e no ar, particularmente quando há defeitos na camisa, como rupturas e/ou orifícios. Em qualquer caso, deve-se esperar um aumento da atividade na água da piscina, no ar do salão desta e junto às canalizações de resfriamento (quando existem).

7.e) Fendas ou falhas no concreto representam caminhos de menor proteção contra radiações e nas suas proximidades pode-se ter aumento do nível de radiação. O mesmo é verdade, em relação a defeitos

nos obturadores dos tubos de irradiação: podem representar pontos de menor proteção.

8 — No caso do IEAR-1 a água da piscina é desmineralizada e suas características têm sido mantidas dentro das especificações⁴. Os elementos combustíveis deveriam operar sem nenhum tratamento químico protetor contra corrosão. Contudo, o aparecimento de pontos de corrosão ao nível das soldas, fez com que fossem submetidos a um processo de "alodização"⁴. Essa alodização recobre o alumínio com uma camada de cromato que aos poucos passa para a água. Por outro lado, por um defeito no projeto da saída do retôrno da água do trocador de calor, não se conseguiu uma conveniente camada de água quente. Essa saída foi substituída, no início de 1959, ao mesmo tempo que outras modificações foram introduzidas no sistema de aquecimento da água: contudo, não se chegou ainda a resultado satisfatório. Espera-se que com a instalação do difusor de plástico acima referido, obtenha-se o resultado desejado.

8.1 — Diante dos fatos indicados acima e da possibilidade de existência de defeitos na camisa dos elementos combustíveis e ainda nos obturadores e mesmo no concreto, não seria possível, sem uma coleta de dados experimentais, saber se os níveis de radiação que teríamos com o reator operando a 5 Mw ou mesmo em potências menores, seriam de molde a se prescreverem normas especiais de trabalho ou a introdução de medidas adicionais de proteção.

8.2 — Uma primeira série de dados foi colhida em operações realizadas com o grupo inicial de elementos combustíveis e um relato preliminar já foi publicado⁵. Os resultados encontrados, como veremos, foram bastante superiores aos verificados nas operações realizadas com o novo conjunto de elementos combustíveis. Os primeiros foram substituídos por se ter constatado corrosão e liberação de produtos de fissão⁶. Dentro da primeira série de dados incluiremos resultados de observações feitas no decurso de duas operações em que a potência máxima foi 1 Mw, de uma em que a potência máxima foi de 2,5 Mw e de outra em que se atingiu 5 Mw. As duas operações em que se atingiu 1 Mw foram levadas a efeito em condições ligeiramente diversas, daí o interesse do confronto. Das operações realizadas com o novo conjunto de elementos combustíveis, relataremos observações feitas a 500 kw, 2 Mw (oito horas) e 5 Mw (cêrca de cinco horas).

9 — Operações realizadas com o primeiro grupo de elementos combustíveis

9.1 — No início da primeira operação em que se atingiu 1 Mw (7-2-58) o levantamento radiométrico feito em diferentes posições no interior do edifício do reator, assim como a amostragem do

ar (com filtro Millipore e MAP-1) e da água da piscina, indicou níveis de atividade da ordem da radiação de fundo. Sendo o reator levado à criticalidade, os levantamentos e amostragens foram repetidos cada vez que a potência era aumentada de 100 a 200 kw. Para isto, enquanto se procediam às observações, a potência não era alterada. Até 500 kw não foram constatadas alterações dignas de nota, no salão da piscina, a não ser pequeno aumento da atividade de partículas no ar, indicada pelo MAP-1 e pela contagem imediata dos filtros Millipore. O nível de radiação gama junto à superfície da água da piscina não superava 2 mr/h. No pavimento térreo, um exame cuidadoso dos tubos de irradiação, permitiu constatar pequeno aumento do nível de radiação junto à janela do tubo "A", assim como atividade de neutrons lentos (menor que $1 N_1/cm^2/s$). No porão foram feitas as seguintes observações: (a 500 kw) junto à canalização de entrada do primário do trocador de calor, 400 mr/h; junto ao retorno da canalização do trocador de calor, 200 mr/h; fluxo de neutrons rápidos, na base da piscina, junto à entrada do primário do trocador de calor, 1,5 mrep/h e para neutrons térmicos achou-se $5 N_1/cm^2/s$; nível de radiação na porção média do porão, 10 mr/h.

A 1 Mw, o nível de radiação junto à superfície da água da piscina, na porção de máxima atividade (na direção da coluna térmica, onde a água chegava à superfície com o máximo de turbulência), mediu-se aproximadamente 10 mr/h. Junto à água e sob a ponte, o nível não ultrapassou 5 mr/h, caindo para menos de 2 mr/h em qualquer posição sobre a ponte. Nos bordos da piscina (parapeito) o nível de atividade gama não atingiu, em nenhum ponto, mais de 1 mr/h. A contagem imediata dos filtros Millipore (amostragem feita colhendo ar logo acima da água e na região de maior atividade), depois de meia hora de amostragem, com fluxo de ar de 1,4 cf/min, atingia a 2500 c/min, o que traduzia um aumento da atividade de aerossóis já bastante superior à residual. Aumento dessa atividade foi também registrada pelo MAP-1. Em amostra de água colhida na superfície da piscina, na região de maior atividade, a contagem gama atingiu a 1900 c/min (em 5 cm³ de água). Na sala de controle o nível de radiação gama era pouco superior ao residual e a atividade de partículas no ar, também, superior à residual, mas não de forma significativa. No primeiro pavimento, foram feitas duas observações dignas de nota: primeiro, observou-se que junto à janela do tubo A o nível de radiação gama atingia 1,5 mr/h e o fluxo de neutrons térmicos era da ordem de $10 N_1/cm^3/s$, com fluxo de neutrons rápidos aproximadamente 5 vezes menor; segundo, junto ao bordo distal do alçapão de comunicação do porão com o pavimento térreo, mediu-se 1,5 mr/h. A um metro do solo, nesta posição, o nível de radiação era pouco superior ao residual. No porão, na entrada do trocador de calor, o nível gama atingia 850 mr/h;

na saída, ~ 350 mr/h; na parte média do porão o nível de radiação era de cerca 40 mr/h, chegando a aproximadamente 80 mr/h junto às colunas de resinas (do sistema de recirculação e repurificação da água). Não se observou aumento apreciável do fluxo de neutrons rápidos, em relação ao constatado antes, mas o de neutrons lentos atingia $\sim 25 N_1/\text{cm}^2/\text{s}$. Amostras de água colhidas nas entradas das colunas do sistema de recirculação e repurificação da água, contadas para radiação gama, deram em média 690 c/min (contagem imediata: dois minutos de espera), enquanto a contagem imediata de amostras colhidas na saída do sistema deu 80 c/min. No dia seguinte, a contagem imediata de amostras de água colhidas na superfície da piscina, na entrada do sistema de repurificação e na saída deste, deram os seguintes resultados: 160 c/min, 90 c/min; 150 c/min e 90 c/min (contagem gama). O nível de radiação junto às colunas de carvão atingia 0,5 mr/h e junto às de resina 6 mr/h. Nenhuma atividade foi observada no salão da piscina: esfregaços feitos no piso do salão e nas bordas da piscina não indicaram qualquer atividade transferível. A amostragem da água da piscina repetida a 10/2, revelou que a contagem gama já caíra a menos de 10 c/min, acima da de fundo.

9.2 — A 10-2-1958, foi realizada nova operação em potência, atingindo-se aproximadamente 2,5 Mw. Os dados obtidos até 1 Mw não diferiram de forma significativa dos obtidos em 7/2. Pude-se observar, entretanto, que o fluxo de radiação ao nível do buraco de irradiação A, não era uniformemente distribuído, sendo máximo dentro de um círculo de aproximadamente 5 cm de diâmetro. Atingida a potência de cerca 2,5 Mw, foram colhidos os seguintes dados. No salão da piscina: nível máximo de radiação junto à superfície da água, 35 mr/h; junto à câmara Jordan localizada na ponte, 6 mr/h; acima da ponte 2,5 mr/h; contagem imediata dos filtros Millipore, 16.500 c/min; contagem imediata (gama) de água da piscina, 35000 c/min/5 cm². No pavimento térreo, nada se observou de anormal junto aos tubos de irradiação, com exclusão do aumento dos níveis de radiação junto à janela do buraco de irradiação A: mediu-se aí, cerca de 4 mr/h, 100 $N_1/\text{cm}^2/\text{s}$ e 30 $N_2/\text{cm}^2/\text{s}$. Na cobertura do alçapão de comunicação do andar térreo com o porão, o nível atingiu até 10 mr/h. No porão, na entrada do trocador de calor a atividade gama atingiu 3 r/h e na saída 1,2 r/h; junto às resinas, o nível observado foi de 150 mr/h e na parte média do porão 100 mr/h. Não consideramos significativa a medição do fluxo de neutrons, pois, o detetor usado se revelou sensível ao nível de radiação gama aí existente: a indicação do medidor usado era superior a 300 $N_1/\text{cm}^2/\text{s}$. Trinta minutos depois do início do desligamento a atividade gama na entrada do trocador de calor era de 2 mr/h. Doze horas depois, o nível gama junto às colunas de resina não ultrapassava 12,5 mr/h. A 14/2 não era superior a 4 mr/h, enquanto na coluna de carvão mediu-se 0,3 mr/h.

9.3 — A 19/2 foi conduzida uma operação para estudo das condições de trabalho a 5 Mw. Nas primeiras fases da operação, enquanto a potência não havia atingido seu valor máximo, os levantamentos e amostragens procedidos não revelaram qualquer fato novo em relação ao que já havia sido observado. Atingida a potência máxima, verificou-se, em levantamentos sucessivos, que os níveis de radiação aumentavam e, mesmo no fim de duas horas de operação, não estavam estabilizados. O nível máximo constatado junto à superfície da água da piscina, foi de 250 mr/h; junto aos bordos, na altura do gradil (parapeito) tinha-se, aproximadamente, 80 mr/h; a dois metros do bordo o nível máximo observado foi de 3 mr/h. A contagem imediata dos filtros Millipore revelou que a atividade de partículas no ar ia de 5 a 15 vezes o máximo permitido (exigindo o trabalho com máscaras); a contagem imediata (gama) de amostras de água da piscina, atingia cerca de 200.000 c/min/cm². No pavimento térreo o nível de radiação não ultrapassou, em média, 1 mr/h, sendo máximo junto ao bordo distal do alçapão de comunicação com o porão (30 mr/h). Junto à janela do buraco de irradiação A o nível gama atingia, na posição em que era máximo, 7,5 mr/h; o fluxo de neutrons, 300 N_t/cm²/s e 80 N_t/cm²/s. Nos demais buracos de irradiação o nível gama foi da ordem de 1,5 mr/h, com fluxo de neutrons lentos da ordem de 5 N_t/cm²/s. No porão foram feitas as seguintes observações: na entrada do trocador de calor ~10 r/h; na saída ~7 r/h; neutrons térmicos, 800 N_t/cm²/s (esta indicação não é significativa, em virtude da observação feita acima); na parte média do porão o nível de radiação chegou a 500 mr/h.

9.4 — As observações feitas nas operações anteriores e o fato de se suspeitar da presença de elementos da fissão na água da piscina (elementos combustíveis apresentavam sinais de corrosão) e a contagem dos filtros Millipore revelar aumento significativo de partículas ativas no ar, levaram à programação de uma outra operação a 1 Mw, com o fito de se procurar detectar a presença de iodo no ar ou na água (operações conduzidas pela Divisão de Radioquímica), em quantidade mensurável. Essa operação foi levada a efeito a 21/4. Antes da mesma, o obturador do tubo de irradiação A, foi retirado e examinado, mas não desmontado, não revelando à inspeção feita, qualquer defeito visível. Antes de iniciada a operação o nível de radiação junto à superfície da água da piscina atingia 1 mr/h, enquanto junto ao bordo tínhamos 0,2 mr/h. A atividade junto à coluna de carvão era de 4 mr/h e junto às colunas de resina 100 mr/h. Depois de duas horas de operação a 1 Mw, o nível de radiação junto à superfície da água atingia 50 mr/h a 60 mr/h (conforme a posição de observação), mantendo-se nesse nível (ou pouco mais) por mais quatro horas; a contagem imediata de amostras de água atingiu 19000 c/min/5 cm³ e a de

filtros Millipore, 73000 c/min. O nível de radiação junto à borda da piscina era de 16 mr/h e sobre a ponte, 7,5 mr/h. Junto ao buraco de irradiação A, observou-se um fluxo de neutrons térmicos de $200 N_T/cm^2/s$ e de neutrons rápidos, 40 a $50 N_T/cm^2/s$, chegando o nível gama a 5 mr/h. Os dados colhidos durante a operação, não permitiram identificação de radioiôdo no ar: entretanto, análises posteriores revelaram sua presença na água da piscina. O fato de se haver encontrado atividade aumentada junto à janela do buraco de irradiação A, levou-nos à conclusão de que a manipulação do obturador, certamente aumentou o defeito inicial.

9.5 — Com os dados disponíveis na ocasião, não pudemos concluir, de imediato, se os altos níveis encontrados decorriam da existência de falhas nos elementos combustíveis, ou se traduziam condições decorrentes da não obtenção da camada de água quente na superfície. De fato, as indicações disponíveis na literatura indicavam que quando ocorre ruptura da camisa, os níveis de radiação atingem valores muito mais elevados do que os observados. A Divisão de Radioquímica realizou, então, uma análise dos produtos presentes na água da piscina e retidos pelo carvão e pelas resinas. Tais análises revelaram a presença de produtos de fissão, particularmente de paternidade gasosa⁴, tendo sido encontrados somente molibdenio-99 e radioiôdo, cujos precursores são sólidos. Passamos, então, a admitir que os altos níveis observados, principalmente de partículas ativas no ar, corriam por conta, em parte ao menos, de aerossóis contendo produtos de fissão. Mais tarde essa suspeita se confirmou, pela constatação de que grande parte dos elementos combustíveis apresentavam corrosão e conseqüentemente falhas na camisa⁶.

9.6 — Na Tabela I reunimos os dados mais importantes relativos à primeira série de operações.

TABELA I

Data	Potência	mr/h su- perf. da piscina	mr/h para- peito	mr/h ponte	mr/h and. térreo	Filtro Millipore
7/2/58	500 kw	2	1	1	1	$\sim 10^{-10} \mu c/cm^3$
	1 Mw	10	~ 1	~ 2	1	$\sim 5 \times 10^{-10}$
10/2/58	2,5 Mw	35	3	2,5	~ 1	$\sim 4 \times 10^{-9}$
19/2/58	5 Mw	250	80	50	1	$3 \times 10^{-8} \quad 10^{-7}$
21/4/58	1 Mw	60	16	7,5	~ 1	$\sim 2 \times 10^{-8}$

10 — Operações realizadas com o novo conjunto de elementos combustíveis.

10.1 — No início de 1959 foram substituídos os elementos combustíveis e a saída do retorno do trocador de calor. Durante alguns meses foram conduzidas operações a baixa potência, não tendo sido observado nada digno de nota em relação aos níveis de radiação. A partir de 18/9/59 passaram a ser conduzidas operações a 500 kw, tendo sido realizadas, desde essa data, 20 operações durante 3 horas, e 4 durante 4 horas, nessa potência*. A 29/3/60 e a 1/4/60 foram realizadas operações em que a potência máxima atingiu, 2 Mw e 5 Mw, respectivamente.

10.2 — Nas operações desta série, e em que a potência máxima foi 500 kw, observamos, desde logo, que os níveis de radiação eram nitidamente inferiores aos constatados em igual potência, quando utilizávamos o primeiro grupo de elementos combustíveis. Além disso, não foram constatadas alterações significativas entre os resultados encontrados em operações sucessivas, inclusive em operações levadas a efeito depois das operações a 2 Mw e a 5 Mw.

São os seguintes, os valores médios dos níveis de radiação, observados no decurso dessas operações. Junto à superfície da água da piscina, 1,5 mr/h; junto ao parapeito, 0,6 mr/h; sobre a ponte, 0,3 mr/h; na sala de controle, de 0,07 a 0,1 mr/h. No andar térreo o nível médio não ultrapassou 0,5 mr/h, enquanto junto ao bordo do alçapão de comunicação com o porão, o nível máximo observado foi de 3 mr/h (junto ao bordo distal, ao nível do piso). A atividade de partículas no ar, em nenhum caso foi maior do que 5×10^{-10} $\mu\text{C}/\text{cm}^3$ (atividade global, isto é, incluindo produtos naturais). Em relação à atividade de partículas no ar, é interessante chamar a atenção para o seguinte fato. Sendo a estrutura da piscina e do edifício do reator u'a grande massa de concreto, há formação de aerossóis ativos contendo descendentes dos elementos radioativos naturais. Quando, por uma razão qualquer interrompe-se a circulação de ar, por algumas horas (durante a noite, por exemplo), a amostragem do ar, feita a seguir, seja com monitores contínuos (Continuous Air-Monitor-Victoreen, ou com MAP-1) seja com filtros Millipore, permite observar um aumento da atividade de partículas que tem atingido até cerca de 2×10^{-10} $\mu\text{C}/\text{cm}^3$ (com o reator fóra de operação), atividade essa que cai mais ou menos rapidamente, quando se restabelece a renovação da circulação do ar no edifício.

* Até a data em que este trabalho foi redigido.

10.3 — A 29/3/60 foi conduzida uma operação em que a potência máxima foi mantida em 2 Mw durante cerca de oito horas, havendo antes permanecido crítico durante vinte minutos em 1 Mw. Nesta potência (1 Mw) foram feitas as seguintes observações. Nível de radiação junto à superfície da água da piscina, 3,5 mr/h; sôbre a ponte, 0,7 mr/h; junto ao parapeito, 0,8 mr/h; na sala de contrôle, 0,1 mr/h. A atividade de partículas ativas no ar (Millipore) $1,5 \times 10^{-10} \mu\text{c}/\text{cm}^3$ (a 500 kw foi de $0,9 \times 10^{-10} \mu\text{c}/\text{cm}^3$ nessa operação). A 2 Mw, o nível de radiação na superfície da água, depois de uma hora atingia 6 mr/h e no fim de operação chegou a ~9 mr/h. Sôbre a ponte o nível de radiação variou de 1,3 a 2 mr/h no mesmo período e junto ao parapeito, de 1,6 a 2,5 mr/h. Na sala de contrôle a variação foi de 0,12 a 0,15 mr/h. No pavimento térreo o nível médio de radiação atingiu cerca de 0,6 mr/h. Não foram feitas medições no porão a não ser junto à porta de entrada, onde o nível de radiação era de 40 mr/h. A atividade de partículas no ar (salão da piscina) não ultrapassou $3 \times 10^{-10} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. Na figura 1 esquematizamos a variação do nível de radiação com o tempo de operação junto à superfície da piscina, na região de maior turbulência da água.

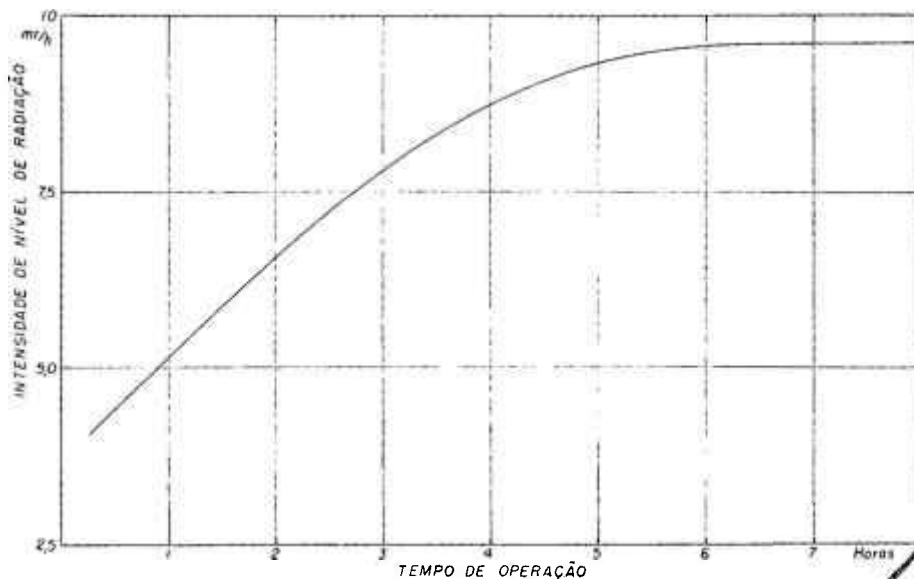


Fig. 1

10.4 — A 1/4/60 foi conduzida uma operação em que a potência máxima foi mantida por cerca de 5 horas, a 5 Mw. Os níveis de radiação observados a 500 kw, 1 Mw, 2 Mw, foram concordes com os anteriores. Atingida a potência de 5 Mw, foram colhidos os seguintes

dados; juntos à superfície da água da piscina, 15 mr/h; sobre a ponte, 4,5 mr/h; junto ao parapeito, 4 mr/h; na sala de controle, 0,15mr/h. A atividade de partículas no ar atingia $1,8 \times 10^{-9} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. No final da operação (logo antes de iniciado o desligamento) os níveis eram os seguintes: na superfície da água, 25 mr/h; sobre a ponte, 7 mr/h; junto ao parapeito, 7,5 mr/h e na sala de controle, 0,35 mr/h. A atividade de partículas no ar chegou a $2,5 \times 10^{-9} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. No pavimento térreo o nível médio de radiação atingiu 1,2 mr/h (valor em que praticamente permaneceu enquanto a potência era 5 Mw). Durante o abaixamento da potência, quando esta era de 1 a 2 Mw, foram feitas as seguintes observações: nível de radiação junto à superfície da água, 6,5 mr/h; sobre a ponte, 2,5 mr/h; junto ao parapeito, 2 mr/h; na sala de controle, 0,17 mr/h; no pavimento térreo (média) 0,5 mr/h. A atividade de aerossóis ativos caiu para $2 \times 10^{-10} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. Nesta operação como nas anteriores, procurou-se detetar fluxo de neutrons na superfície da piscina, não se encontrando valores mensuráveis com os detetores usados (RCL-fast-slow neutron detector). No pavimento térreo, foram feitas observações junto às janelas dos buracos de irradiação particularmente do tubo A, nada se constatando digno de nota.

10.5 — Na tabela II reunimos os dados mais interessantes colhidos nessa série de operações.

TABELA II

DATA	Potência	mr/h superfície da piscina	mr/h parapeito	mr/h ponte	mr/h controle	mr/h pavimento térreo (média)	atividade no ar $\mu\text{c}/\text{cm}^3$
29/3/60	500 kw	1,5	0,6	0,3	0,07--0,01	0,5	5×10^{-10}
	1 Mw	3,5	0,8	0,7	0,1	1	$1,5 \times 10^{-10}$
	2 Mw	6--8	1,6--2,5	1,3--2	--0,13	0,6	3×10^{-10}
1/4/60	5 Mw	14--25	4--7	4,5--7,5	0,15--0,35	1,2	$1,8 \times 10^{-10}$ $2,5 \times 10^{-9}$
	1--2 Mw	6,5	2	2,5	0,17	0,5	2×10^{-10}

10.6 — No decurso das últimas operações, foram colhidas amostras de água, para determinação da atividade gama. Durante a operação a 2 Mw, foram colhidas duas amostras de água, na superfície da piscina: uma logo após ser anunciado que o reator se encontrava

crítico a 2 Mw e outra duas horas e meia após. A contagem imediata (2 minutos de espera) da primeira amostra deu cerca de 7.000 c/min/5 cm³ e a da segunda, 9.000 c/min/5 cm³. O decaimento dessas amostras foi acompanhado durante seis horas. O estudo das curvas permitiu individualizar u'a meia-vida compreendida entre 2,6 e 3,3 horas, outra compreendida entre 10 e 13 minutos e finalmente outra entre 4 e 6 minutos. Tais amostras contadas depois de 24 horas deram resultados pouco superiores à contagem de fundo, não permitindo qualquer juízo fundamentado em relação à atividade de meia-vida superior às indicadas. Obviamente, com as indicações obtidas não se tornou possível uma identificação adequada dos radionuclídeos responsáveis pelas atividades observadas. Poderiam ser atribuídas, por exemplo, ao Kr-88 (2,8 h), Rb-88 (18 min), Xe-137 (3,9 min), Ba-142 (6 min).

10.7 — No decorrer da operação em que a potência máxima foi 5 Mw, foram colhidas amostras de água a partir do instante em que o reator ficou crítico (a 5 Mw) e de 30 em 30 min. A contagem imediata dessas amostras variou de 2×10^4 c/min/5cm³ a $4,2 \times 10^4$ c/min/5 cm³, não atingindo a saturação. A análise gráfica das curvas de decaimento dessas amostras também não permitiu resultados concludentes: decompondo-se as curvas semi-logarítmicas em três retas, encontrou-se uma atividade com meia-vida de 4 a 4,5 h, outra de 18 a 20 minutos e outra com meia-vida de 5 a 8 minutos.

10.8 — Resultados mais interessantes são os obtidos analisando-se as curvas de decaimento da atividade coletada pelo C.A.M. Victoreen (aspirando ar logo acima da superfície da água da piscina-parte média da ponte) e dos registros das câmaras Jordan's (RAMS-II). A análise gráfica dessas curvas permitiu identificar u'a meia vida de cerca 15 h ($15h \pm 0,5h$), outra de 1,6 a 2,9 horas e uma terceira de 18 a 20 minutos. A primeira, bem definida em todos os gráficos, pode ser atribuída ao Na-24, as outras podem correr por conta de diferentes radionuclídeos.

11 — Antes de procurarmos tirar qualquer conclusão das observações feitas, desejamos notar que, mesmo com a mudança da saída do retórno do trocador de calor, não se eliminou completamente a turbulência e depois de algum tempo de iniciada a circulação (variável com a temperatura externa — que determina a temperatura da água de retórno) a camada de água pura aquecida é desfeita. Que a existência dessa camada determina uma redução acentuada nos níveis de radiação junto à superfície da piscina, assim como da atividade de partículas no ar, é fato que foi possível constatar durante uma operação a 500 kw. Com efeito, verificou-se que enquanto a camada de água quente subsistiu, o nível de

radiação junto à superfície da água atingia 0,25 mr/h e a atividade de partículas no ar $3,5 \times 10^{-11} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. Desfeita a camada, o nível de radiação elevou-se até cerca de 1,8 mr/h e a atividade de aerossóis, chegou a $2,3 \times 10^{-10} \mu\text{c}/\text{cm}^3$. As curvas da figura 2, obtidas por De Toledo e cols⁷ ilustram bem o que foi observado.

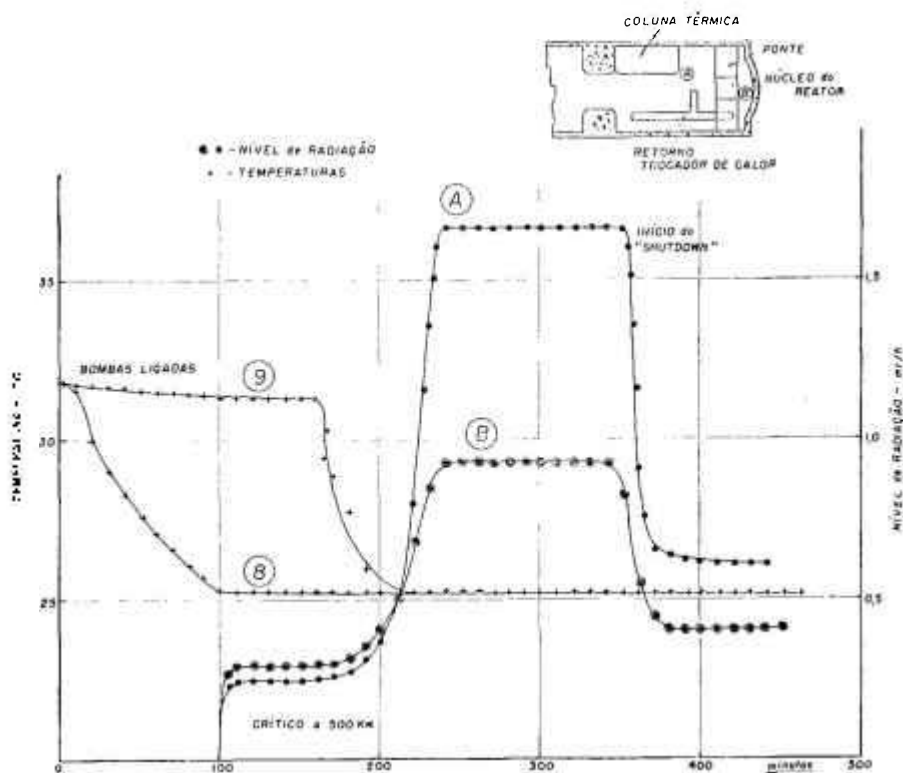


Fig. 2

12 — Comparando-se os níveis de radiação e de atividade de partículas no ar nas duas séries de operações, a primeira inferência que podemos tirar é que com toda probabilidade, logo nas primeiras operações realizadas com o primeiro grupo de elementos combustíveis, já havia desprendimento de produtos de fissão, oriundos de contaminação externa dos elementos combustíveis ou de pequenos orifícios (em decorrência da corrosão). Nas operações subsequentes essa liberação aumentou e na operação a 5 Mw já era apreciável. As observações feitas com o novo conjunto de elementos combustíveis, por outro lado, indicam que se há desprendimento de produtos de fissão (por difusão de gases de fissão através da camisa, por exemplo) é muito pequeno, e que os níveis de radiação e

de atividade no ar, mesmo no salão da piscina, permitem a operação a 5 Mw (ao menos durante períodos de seis a oito horas). É difícil prever-se o que ocorreria se o reator fôsse mantido em operação contínua a 5 Mw, principalmente por não ter sido possível identificarem-se os radionuclídeos responsáveis pelas atividades encontradas. Supondo-se que boa parte do nível observado junto à superfície da água seja devido a elementos de meia-vida curta (N—16, Al—28, Mg—27), o emprêgo da camada de água quente contribuiria para a redução do nível de atividade na superfície. Entretanto, parece-nos que êsse procedimento seria pouco efetivo em relação ao Na—24 ou a outros radionuclídeos de vida média mais elevada, em operação contínua a 5 Mw.

12.1 — Com os níveis de radiação (no ar e na água) e de atividade de partículas no ar, mantendo-se nos limites observados até o presente, com o novo conjunto de elementos combustíveis, não há necessidade de se prescreverem medidas especiais de proteção, para o trabalho no salão da piscina ou em qualquer outra dependência do edifício do reator, quando o mesmo opera em potência. Contudo, o problema deverá ser re-examinado, quando da operação contínua a 5 Mw.

13 — Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Paulo Saraiva de Toledo pelas sugestões e indicações, assim como aos Drs. Azor Penteado, Hitler R. Franzen, Aristophanes Proença e Rubens G. Heidtmann, da Divisão de Física de Reatores e aos técnicos Celso Zoppello, Lincoln Carvalho, Heloisa Helena do Vale, Fernando Bianchini, Albino Vaiksnoras, Rita R. Henschel do Serviço de Proteção Radiológica e da Divisão de Radiobiologia pelo auxílio prestado. Agradecem, também, à C.N.E.N. pelo auxílio prestado, o que possibilitou esta publicação.

Referências

- 1 — Open Pool Research Reactor IEA: Instruction Book-Babcock Wilcox Co.
- 2 — Garay, P. N. — Bigger and Better Swimming Pool Reactors-Nucleonics — 16: 93—, 1958.
- 3 — Maierschein, F. C. — A Hazards Summary for Routine Operation of the Bulk Shielding Reactor at One Megawatt — TID — 10102 (1954).
- 4 — Lima, F. W., Abrão, A., Tognolli, L. and Pagano, C. — Fission Products in the Cooling Water of the Brazilian Swimming Pool Reactor — Proceeding of the

Second International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy vol. 10. pag. 532, 1958 — Geneve.

- 5 — Pieroni, R. R., Herdade, S. B., Hehl, W. S. C. and Pereira, C. R. — Radiation Intensity Levels and Air and Water activities observed with the IEAR-1 Swimming Pool Reactor at 5 Mw. — Proceeding of the Second Int. Conf. on Peaceful uses of At. Energy — 10: 542—, 1958 — Geneve.
 - 6 — De Toledo, P. S., Santos, M. D. S., Penteado, F^o. A. C. and Brenner R. — A new method of individual detection of failed fuel elements in swimming pool reactors — Paper presented to the Third Inter-American Symposium on Peaceful Applications of Nuclear Energy — Quitandinha, 1960.
 - 7 — De Toledo, P.S., Penteado F^o. A. C., and Franzen, H. R. — Some Results of the Operation of the Brazilian Swimming Pool Reactor IEAR-1 — Paper presented to the Third Inter-American Symposium on Peaceful Applications of Nuclear Energy — Quitandinha, July 1960.
-

Este trabalho foi redigido para ser submetido à Comissão Organizadora do 3.^o Simpósio Inter-Americano sobre as Aplicações Pacíficas da Energia Nuclear — Quitandinha 1960.