

PROJETO DE UM NOVO CIRCUITO PARA IRRADIAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NUCLEARES

Carlos A. Zeituni*, Luís A. A. Terremoto, José A. Perrotta e José E. R. da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)
Centro de Engenharia Nuclear (CEN)
Divisão de Engenharia do Combustível
Caixa Postal 11.049; CEP 05422-970, Pinheiros; São Paulo – SP; Brasil
*e-mail: czeituni@usp.br

RESUMO

O IPEN / CNEN - SP dispunha de um dispositivo para irradiação de mini-placas combustíveis no reator IEA-R1 denominado CICON (Circuito para Irradiação de COMbustíveis Nucleares), constituído por uma cápsula de irradiação não pressurizada e não estanque, que permitia posicionar uma mini-placa combustível no núcleo do reator. Uma vez que se pretende irradiar combustíveis falhados com o objetivo de determinar o desempenho, sob o aspecto da liberação de produtos de fissão com falha do revestimento, para combustíveis tipo dispersão U_3O_8 e U_3Si_2 , necessitou-se projetar uma nova cápsula de irradiação.

A refrigeração da mini-placa será feita por convecção natural, mas a cápsula também terá uma circulação forçada de água para a coleta de amostras e retirada dos produtos de fissão que se acumularão quando a cápsula operar com placas falhadas. Esta nova cápsula será instrumentada para permitir, através de um sistema computadorizado de aquisição de dados, a monitoração contínua do fluxo de nêutrons e das temperaturas próximas à superfície da mini-placa instalada no interior da cápsula.

Este trabalho apresenta informações sobre o projeto da nova cápsula do CICON e descreve os experimentos a serem realizados com este aparato.

Key Words: MTR Fuel; Dispersion Fuel; Fuel Qualification

INTRODUÇÃO

No processo de desenvolvimento de combustíveis nucleares é necessário elaborar métodos que permitam testar e qualificar os combustíveis para as condições de operação em que serão empregados, antes de utilizá-los em larga escala nos reatores nucleares.

As melhores técnicas utilizadas para estas análises são as técnicas destrutivas, porém como o Brasil ainda não dispõe de um laboratório de células quentes, todas as análises terão que ser efetuadas em piscinas de estocagem. Com a finalidade de testar e qualificar combustíveis nucleares tipo placa no reator IEA-R1 do IPEN / CNEN – SP foi desenvolvido pela divisão de Engenharia do Núcleo o Circuito de Irradiação de

Combustíveis Nucleares (CICON), que permite irradiar pequenas placas combustíveis (denominadas miniplacas) cujo desempenho sob irradiação deseja-se avaliar.

A nova cápsula do CICON, servirá para que se possa irradiar combustíveis falhados no reator IEA-R1 do IPEN / CNEN – SP. Assim poder-se-á analisar o desempenho, sob o aspecto da liberação de produtos de fissão, para combustíveis U_3O_8 e U_3Si_2 , ambos do tipo dispersão em alumínio, na condição de falha no revestimento.

Com isso, as principais contribuições deste trabalho serão:

- a) Verificação experimental do desempenho sob irradiação em combustíveis de U_3O_8 e U_3Si_2 dispersos em alumínio.

- b) Análise da taxa de queima máxima em miniplacas de U_3Si_2 disperso em alumínio. Este valor de queima servirá para testar a integridade estrutural das placas combustíveis a serem fabricadas pelo IPEN / CNEN - SP.
- c) Discussão sobre as condições de estocagem dos elementos combustíveis tipo placa utilizados no reator IEA-R1.
- d) Cálculo da taxa de liberação de produtos de fissão sob temperatura de operação e com falhas no revestimento controladas.

As principais características do CICON antigo, bem como da nova cápsula serão discutidos a seguir.

O ANTIGO CICON

Para irradiar a miniplaca combustível no reator IEA-R1 foi desenvolvido e construído o CICON (veja a Figura 1), que foi projetado para exercer as seguintes funções:

- posicionar a miniplaca no núcleo do reator IEA-R1;
- garantir a refrigeração da miniplaca por convecção natural durante operação do reator sem permitir o contato entre a água de refrigeração da miniplaca e a água de refrigeração do núcleo do reator, evitando, deste modo, que eventuais liberações de produtos de fissão da miniplaca contribuíssem na contaminação da piscina do reator, ao mesmo tempo que permitiria a monitoração e detecção desta falha;
- permitir a monitoração das temperaturas atingidas pela miniplaca durante a irradiação, através de 8 termopares instalados em diferentes posições do interior da cápsula;
- permitir a monitoração do fluxo de nêutrons térmicos que incide na miniplaca, durante irradiação, através de um detector tipo SPND (Self Power Neutron Detector) instalado próximo à miniplaca.

Os termopares e o detector de fluxo nêutrons instalados na cápsula de irradiação são acoplados via cabo ao sistema de aquisição de dados. Este sistema é constituído por um "Fluke Data Logger" que digitaliza os sinais analógicos fornecidos por estes dispositivos, e um microcomputador que efetua o armazenamento contínuo e automático dos dados coletados durante todo o período de irradiação da miniplaca.

O CICON utiliza um sistema de circulação forçada para conduzir a água, que refrigera a miniplaca, até um tanque de surto, localizado fora da piscina do reator, e do qual é possível extrair amostras de água para análises radioquímicas visando determinar a atividade específica de cada radionuclídeo presente na água. A atividade na tubulação de entrada do tanque de surto é permanentemente monitorada por um detector semiconductor (HPGe + eletrônica associada). Os produtos radioativos gasosos que migram através do circuito serão coletados integralmente pelo tanque de surto e após a monitoração, serão liberados de forma controlada para o sistema de ventilação do prédio do reator^[1, 2].

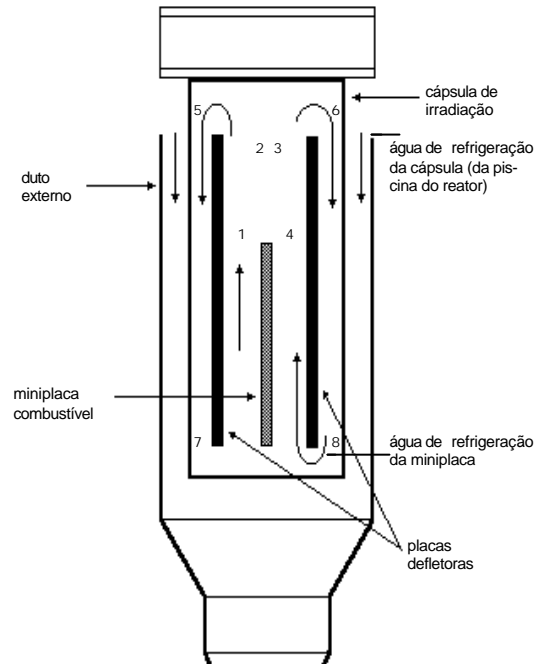


Figura 1. Cápsula de Irradiação do CICON e Localização dos Termopares

O CICON foi instalado na posição 26 da placa matriz do núcleo do reator IEA-R1 com uma reatividade de 189 pcm (operação a 2 MW do reator IEA-R1), fluxo térmico da ordem de $1,39 \times 10^{13}$ n/cm².s. A potência dissipada pela miniplaca foi de 2000 W que proporciona uma densidade de potência de 484 W/cm³ e 35 W/cm² de fluxo de calor (da mesma ordem de grandeza do núcleo de análise do AP600). A irradiação ocorreu de 19/10/94 a 10/02/95, com uma queima da ordem de 1,2% dos átomos de ²³⁵U (~2000 MWd/tU). 46 ciclos de potência (aumento de potência e desligamento do reator) diários foram realizados. As rampas de potência, desde zero a 2000 kW eram realizadas em minutos (rampa de ligamento do reator IEA-R1). A temperatura máxima, detectada,

na água da cápsula foi de 67 °C, com a temperatura calculada na superfície da placa < 100°C.

A irradiação da miniplaca foi suspensa por terem sido detectadas concentrações de ¹³¹I (24 Bq/l), ⁸²Br (220 Bq/l) e ²³⁹Np (270 Bq/l) comparáveis aos valores normais da água da piscina do reator IEA-R1. Inspeções visuais da miniplaca não conseguiram indicar qualquer anormalidade na miniplaca, podendo esta atividade ser decorrente de alguma microporosidade na solda da miniplaca ou de contaminação superficial da miniplaca. De qualquer forma, os valores de atividade da água não se caracterizam como indicador de falha do combustível.

As seguintes conclusões podem ser obtidas desta experiência:

- foi desenvolvido o conhecimento sobre o combustível tipo placa de UO₂;
- foi desenvolvida uma infra-estrutura de análise de projeto;
- foi desenvolvido o processo de fabricação do combustível;
- foi desenvolvido um circuito de irradiação e se adquiriu experiência nesta área;
- a irradiação da miniplaca demonstrou potencial de desempenho em operação contínua e seguimento de carga.

Os testes de irradiação com este tipo de combustível devem ser prosseguidos, no futuro, assim que o laboratório de análise pós-irradiação estiver pronto e puder analisar miniplacas irradiadas.

O NOVO CICON

A operação do CICON neste trabalho será dividido em duas fases:

- Utilização do CICON com miniplacas íntegras
- Utilização do CICON com miniplacas falhadas

Na primeira fase, utilizaremos o CICON de forma similar ao que foi projetado e aprovado pelo Comitê de Revisão de Segurança (C.R.S.) no passado. As únicas providências efetuadas serão pequenas modificações no projeto inicial e alteração da cápsula para corrigir-se antigas inconveniências no projeto anterior.

Para isso, a primeira providência necessária para o início experimental deste trabalho é a conclusão do projeto e manufatura desta nova cápsula do CICON.

Nos testes efetuados com a antiga cápsula, percebeu-se que o circuito de irradiação projetado apresenta alguns inconvenientes:

- a) Os termopares centrais (1, 2, 3 e 4) eram posicionados por varetas de alumínio fixadas a tampa da cápsula. Com a irradiação no reator, os termopares usados (tipo K – chromel-alumel) ficavam ativados com o ⁶⁰Co e portanto ainda se encontram muito ativos mesmo após seis anos, o que impossibilita o manuseio do equipamento e manipulação das placas combustíveis irradiadas e sua troca.
- b) O espectro gama retirado da água do tanque de surto apresentou a presença do isótopo ^{110m}Ag^[3,4], principalmente formado através da captura radiativa de nêutrons pelo isótopo ¹⁰⁹Ag, que constitui 48,17 % da prata natural^[5], metal que por sua vez totaliza 80 % em massa da liga utilizada nas barras de controle do reator^[6]. Esta prata ativada no núcleo se dilui na água da piscina de estocagem sob a forma de cátions monovalentes, em razão do óxido de prata ser ligeiramente solúvel^[7]. Com isso, sabemos que a cápsula utilizada não é estanque e como pretendemos posteriormente irradiarmos miniplacas falhadas, considerou-se conveniente projetar uma nova cápsula.

Acredita-se que a cápsula anterior apresentou falha de estanqueidade em dois pontos:

- a) foi utilizado no projeto anterior, uma tampa de algum tipo de nylon, que sob irradiação se tornou poroso e quebradiço, o que levou a perda de contato entre o bocal de alumínio da cápsula e a própria tampa. Além disso, no projeto anterior, utilizava-se a tampa como apoio dos termopares a serem introduzidos no centro da cápsula (próximos a placa combustível).
- b) O plug anterior utilizava o-rings de neoprene, que sob irradiação deformam-se.

Com relação aos problemas acima, optou-se por reprojeter a tampa, sendo que hoje a tampa é simplesmente uma placa de alumínio, já que toda a entrada de água e termopares será feita pelos lados do CICON.

Assim, os problemas a serem resolvido na nova concepção, e talvez o mais delicado nesta parte do projeto, é a solda dos plugs de entrada e saída de água e de entrada dos termopares. E para garantir a estanqueidade da estrutura de interface do lado do CICON, pensa-se em duas soluções:

- a) Optou-se no momento, pelo uso de o-rings de viton na tampa, e deve-se trocá-los todas as vezes em que o equipamento for aberto.
- b) Utilizar uma solda prata que por deposição vede a entrada dos termopares a uma rede

de alumínio posicionada no interior do plug de alumínio que estará soldada no perfil de alumínio que compõe a cápsula do novo CICON.

A principal solução que será implementada nesta nova concepção consiste no uso de régua usinadas por onde descem os termopares e a água. Estas régua devem ser montadas e posteriormente soldadas com soldas prata do tipo tampão, novamente para garantir a estanqueidade. Anexo a este trabalho encontra-se um esquema do projeto que está sendo construído.

Na segunda fase deste trabalho é que começarão os grandes problemas práticos, já que se deseja irradiar miniplacas falhadas.

No momento em que se irradiar placas falhadas, pretende-se colocar entre o CICON e o tanque de surto, uma ou mais colunas de resina de troca iônica com intuito de se reduzir a dose neste tanque de surto (e arredores). Estas colunas de troca iônica terão como principal função coletar os produtos de ativação esperados, principalmente o ^{24}Na (produzido pela reação $^{27}\text{Al} (n, \alpha) ^{24}\text{Na}$). O esquema de montagem da nova cápsula do CICON pode ser visto na Figura 2.

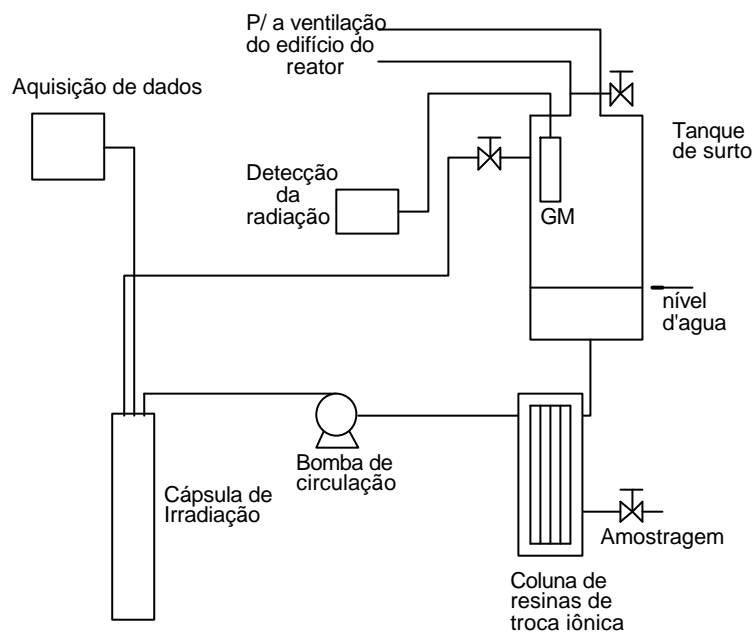


Figura 2. Esquema do Projeto da Nova Cápsula do CICON

A irradiação de miniplacas falhadas acarretará em dois problemas:

- A água de circulação do CICON estará contaminada, e por isso, deve-se garantir que esta água não entre em contato com a água da piscina do reator mesmo no caso de uma falha do equipamento.
- Os produtos de fissão gasosos que serão gerados pelo combustível estarão dispersos na água de circulação do CICON.

Estes problemas deverão ser resolvidos por partes. Inicialmente, a nova cápsula do CICON será projetada para ser estanque, devendo agüentar pressões internas de até 4 atm e continuar estanque (a pressão que estará submetida durante operação normal não excederá 2 atm, pois ele foi projetado para trabalho com circulação natural a 8 metros de profundidade). Assim, antes do início de operação

desta cápsula, ela deverá passar por testes, considerados satisfatórios pelo CRS, que garantam sua estanqueidade. Com isso, garantiremos que nem a água nem os gases internos ao CICON possam sair de dentro do sistema.

O segundo problema será resolvido colocando-se uma coluna de resinas de troca iônica para que se possa retirar amostras da própria resina com intuito de se monitorar os produtos de fissão existentes na água e diminuir a dose no tanque de surto.

Este tanque de surto deverá ser estanque e blindado, já que durante a operação com miniplacas falhadas, todo o xenônio e criptônio produzido que for liberado não ficarão retidos nas resinas de troca iônica (por serem gases nobres) e serão armazenadas até seu decaimento no tanque de surto. Após este tempo (de decaimento), o tanque

de surto será aberto e os gases liberados para o sistema de ventilação do reator IEA-R1. Apesar de que se acredita que a quantidade de xenônio e criptônio liberada seja muito pequena já que o raio atômico deles é muito grande para permitir qualquer mobilidade destes átomos por entre os interstícios do material. Por outro lado, caso o mecanismo de difusão destes átomos fosse por ocupação de lacunas existentes na rede, o coeficiente de difusão destes átomos seria fortemente influenciado pela concentração de lacunas no material. Esta dependência, entretanto, não é observada^[8]. Mas mesmo com esta garantia teórica, devemos preparar o tanque de surto para receber estes gases, pois isto será uma garantia maior para a não contaminação do saguão da piscina do reator e facilitará para posterior aprovação do C.R.S. do reator IEA-R1 deste sistema.

ABSTRACT

This paper reports information about the operation of the old Irradiated Fuel Assembly (IFA) for nuclear miniplates irradiation in the reactor IEA-R1, named CICON (Circuit for Nuclear Fuels Irradiation), and presents the project of the new one. This paper also describes the problems of the old capsule and which details we will change in the new project.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Neto, A.M., **Irradiação Contínua da Miniplaca Combustível Caramelo no Reator IEA-R1**, Relatório Interno, IPEN - CNEN / SP, Março, 1996.
- [2] Neto, A.M.; Perrotta, J.A., **Irradiação de Miniplacas Combustíveis no Reator IEA-R1**, Anais do VI CGEN, Rio de Janeiro, Outubro de 1996.
- [3] Zeituni, C.A., **Espectrometria Gama em Elementos Combustíveis Tipo Placa Irrradiados**, Dissertação de Mestrado, IPEN - CNEN / SP, Agosto de 1998.
- [4] Terremoto, L.A.A.; Zeituni, C.A.; Perrotta, J.A.; Silva, J.E.R. **Gamma-Ray Spectroscopy on Irradiated MTR Fuel Elements**, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, Section A, Agosto, 2000.
- [5] Reus, U.; Westmeier, W. **At. Data and Nucl. Data Tables**, v. 29, p. 1-192, 1983.
- [6] Terremoto, L. A. A.; Kosaka, N. **Fundamentos de Tecnologia Nuclear – Volume II – Reatores Nucleares**, IPEN/CNEN – SP, São Paulo, 1996.
- [7] Glinka, N. **Química Geral – Volume 2**, Editora Mir, Moscou, 1984.
- [8] Olander, D.R. **Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements**, Technical Information Center – Energy Research and Development Administration, 1976.