

ANÁLISE DE OPÇÕES PARA O ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DE COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS DO REATOR IEA-R1 DO IPEN-CNEN/SP

Antonio Teixeira e Silva, Miguel Mattar Neto, Maria Clara Carvalho da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)

Av. Professor Lineu Prestes 2242

05508-000 São Paulo, SP

teixeira@ipen.br

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvida uma análise das opções de armazenamento temporário de combustíveis queimados de reatores de pesquisa. Os resultados desta análise foram utilizados para propor uma opção para o armazenamento temporário dos combustíveis queimados do reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. Este reator, caso mantenha a sua operação contínua a 5 MW nos próximos anos, irá necessitar transferir os combustíveis queimados, hoje alocados na piscina do reator, para uma instalação de armazenamento temporário, até que a definição de uma política nacional sobre a disposição final destes combustíveis seja estabelecida.

1. INTRODUÇÃO

Na maioria dos reatores de pesquisa, o combustível queimado que é descarregado do núcleo é colocado na piscina do reator por um longo período de tempo. Este armazenamento submerso permite a dissipação do calor e o decaimento dos produtos de fissão. Na maioria dos casos, o local de armazenamento inicial, denominado armazenamento operacional, está localizado próximo ao núcleo do reator.

Instalações de armazenamento temporário de combustíveis queimados foram e estão sendo projetadas no mundo para a estocagem segura de combustíveis queimados após a sua remoção da piscina do reator e antes que eles sejam reprocessados/reciclados ou dispostos como rejeito radioativo.

Estas instalações temporárias, localizadas dentro ou fora do prédio do reator, devem incorporar em seu projeto certas características que deverão ser efetivas ao longo da vida da instalação. Estas características compreendem: a) a manutenção da subcriticalidade; b) a manutenção da integridade do combustível; c) a minimização da corrosão do revestimento do combustível; d) a remoção do calor de decaimento do combustível queimado; e) o fornecimento de proteção radiológica; e f) a manutenção do isolamento do material radioativo. O projeto também deve considerar a expansão da capacidade da instalação e o seu eventual descomissionamento.

O reator IEA-R1, localizado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP), em São Paulo, Brasil, é o mais antigo reator de pesquisas do hemisfério sul. Em 1997, algumas modificações foram introduzidas neste reator em termos de segurança para elevar a sua potência de operação para 5 MW. Nos últimos anos, a taxa de queima do reator tem oscilado entre 120 e 240 MWD por ano. No ano de 2004, o reator operou com uma

potência média em torno de 3 MW, atingindo uma taxa de queima de 400 MWD. De acordo com o planejamento proposto [1], no início de 2006, o reator deverá operar a 5 MW e o regime operacional será estendido das 64 horas contínuas atuais para 120 horas contínuas por semana. A taxa de queima do reator irá aumentar para 1.200 MWD por ano, o que significa um consumo de 22 a 24 elementos combustíveis por ano. Quando o reator IEA-R1 é analisado sob a ótica do novo regime operacional proposto, pode ser observado que a situação do armazenamento operacional do reator não é tão confortável, mesmo considerando que em 1.999, 127 elementos combustíveis queimados neste reator foram repatriados para os Estados Unidos da América. Atualmente, a área de armazenamento operacional dos combustíveis queimados no reator IEA-R1 consiste de “*racks*” localizados na piscina do reator com uma capacidade para 156 elementos. De acordo com o novo regime operacional proposto para 2006 (5 MW, 120 h por semana), 22 a 24 elementos combustíveis estarão sendo descarregados do núcleo por ano. Hoje, 35 posições de estocagem estão ocupadas e 24 são necessárias para armazenar o núcleo do reator em caso de necessidade. Isto significa que somente 97 posições estão disponíveis, sugerindo que em 5 anos a área de armazenamento do combustível queimado na piscina do reator estará completamente cheia.

Se mantida a atual política do Brasil, que não prevê o reprocessamento/reciclagem do combustível queimado e, caso não seja determinada a construção de repositórios para a disposição final do combustível nos próximos anos, o IPEN terá de construir uma instalação para armazenamento temporário do combustível queimado do reator IEA-R1. Então, o armazenamento temporário estendido deve ser visto como o próximo passo no gerenciamento do combustível queimado do reator IEA-R1. O termo estendido leva em conta que a instalação deve ser projetada para um armazenamento de longo prazo, visto a indefinição da política nuclear para os combustíveis queimados dos reatores nucleares nacionais.

2. ANÁLISE DE OPÇÕES PARA O ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DOS COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS DO REATOR IEA-R1.

Em 2001, o IPEN iniciou as primeiras discussões sobre a necessidade de construir nos próximos 10 anos uma instalação para armazenamento temporário dos combustíveis queimados do reator IEA-R1. Também, entre 2001 e 2004, o IPEN participou com outras instituições nacionais e latino-americanas de um projeto regional da Agência Internacional de Energia Atômica (“*Regional Project RLA/4/018*”), intitulado “*Research Reactor Spent Fuel Management Options in Latin América*”[1]. Um dos interesses do IPEN neste projeto foi conhecer possíveis opções para o armazenamento temporário úmido ou a seco dos combustíveis queimados do Reator IEA-R1, para que em uma etapa posterior pudesse ser definida a opção mais conveniente.

O modo universal de uma armazenagem úmida, operacional ou temporária, é depositar os elementos combustíveis queimados em piscina, usualmente apoiados em “*racks*”, e/ou “*baskets*”, e/ou “*canisters*”. “*Basket*” pode ser definido como um **recipiente aberto** usado no manuseio e armazenamento do combustível queimado. Também, pode ser entendido como uma estrutura (ou várias) usada em cascos de transporte e armazenamento do combustível queimado com funções que incluem a transferência de calor, controle da criticalidade e suporte estrutural. O termo “*canister*” pode ser definido como um **recipiente fechado** ou selado, usado para isolar e conter o combustível queimado. Ele pode ser dependente de outros recipientes (“*overpacks*”) para blindagem. No caso da instalação de armazenagem úmida, a

água da piscina envolvendo o combustível queimado permitirá a dissipação do calor e a blindagem da radiação e os “*racks*” (ou outra configuração geométrica) manterão a subcriticalidade. Os principais aspectos da tecnologia úmida são [1]: a) é identificada, madura e bem estabelecida; b) existe experiência mesmo no armazenamento do combustível danificado; c) a experiência internacional indica que o revestimento do combustível queimado pode ser mantido submerso por cerca de 50 anos nas condições primitivas, desde que uma alta qualidade da água, condições ambientais e programas apropriados de inspeções sejam garantidos. Por outro lado, o revestimento de alumínio degrada quase que imediatamente em condições ambientais e de qualidade da água pobres; d) os recursos humanos e financeiros para implementar esta tecnologia podem ser bem maiores do que aqueles necessários para implementar algumas alternativas de armazenamento temporário a seco.

O armazenamento temporário a seco é uma boa aproximação para permitir a continuidade da operação do reator, ou como uma alternativa ou como uma opção complementar ao armazenamento temporário úmido. No momento, o armazenamento a seco está sendo demonstrado como uma alternativa possível ao armazenamento temporário úmido e pode se tornar a melhor opção para armazenar combustíveis revestidos de alumínio [1]. As principais características desta tecnologia são: a) elimina a degradação por corrosão do revestimento do combustível, desde que o armazenamento seja realmente a seco e que o combustível passe por um processo de secagem adequado antes de ser armazenado. Isto, a princípio, permite estabelecer um período muito maior para o armazenamento temporário, enquanto os países estudam e decidem sobre as etapas de gerenciamento do combustível posteriores; b) pode ser implementada através de projetos modulares, ou seja, por exemplo, através de cascos de metal, recipientes de concreto, etc.; c) pode ser usada para reduzir a pressão imposta para construção de novas instalações úmidas, evitando modificações no interior do prédio do reator, que poderiam impedir o cumprimento de contratos para, por exemplo, a produção de radioisótopos. Entretanto, a necessidade em alguns projetos de encapsular cada elemento combustível isoladamente antes de sua colocação na instalação de armazenamento a seco pode modificar as características econômicas do projeto.

No armazenamento a seco, o combustível queimado é envolvido por um gás ambiente tal como o ar ou um gás inerte. Instalações de armazenamento a seco incluem o armazenamento do combustível queimado em “*vaults*”, “*silos*” e cascos (“*casks*”) [2].

“*Vault*” consiste de um edifício de concreto armado, acima ou abaixo da terra, contendo um arranjo de cavidades de armazenamento, apropriadas para a contenção de uma ou mais unidades de combustível. A blindagem é fornecida por uma estrutura externa. A remoção de calor é normalmente efetuada pela circulação de ar ou gás através da parte externa das unidades contendo o combustível ou das cavidades de armazenamento e o subsequente descarregamento deste ar diretamente na atmosfera externa ou dissipação do calor via um sistema de remoção de calor secundário.

“*Silo*” ou “*Concrete canister*” é um recipiente maciço contendo uma ou mais cavidades de armazenamento. Ele tem uma seção transversal circular, com um longo eixo vertical. A contenção e a blindagem são fornecidas por um “*liner*” interno lacrado e pelo concreto maciço do corpo do “*canister*”. A remoção de calor é por radiação, condução e convecção dentro do corpo do “*canister*” e por convecção natural na sua superfície exterior.

O casco (“*cask*”) é um recipiente maciço que pode ser usado para transporte, armazenamento e eventual disposição do combustível queimado. Ele fornece blindagem e contenção do combustível queimado através de barreiras físicas que podem incluir o corpo de concreto ou metal do casco e “*liners*” lacrados ou soldados, “*canisters*” ou “*lids*” (tampas). O calor é removido do combustível armazenado por radiação para o meio ambiente e convecção natural ou forçada. Os cascos podem estar localizados dentro ou fora do prédio do reator. Os combustíveis queimados são carregados verticalmente nos cascos que são armazenados na posição vertical. Eles são colocados em uma cesta interna (“*basket*”) ou em um “*canister*” de metal selado que provêem resistência estrutural, subcriticalidade e fechamento através de uma tampa dupla. Os cascos podem ter propósitos simples, duplo ou múltiplo. A função transporte de combustíveis queimados pelo casco é denominada de propósito simples e as funções transporte e armazenamento são denominadas como de duplo-propósito. O termo multi-propósito é reservado aos cascos que são projetados com as funções de transporte, armazenamento e disposição. Os estudos no IPEN foram concentrados apenas em cascos com duplo-propósito. A opção de cascos com duplo-propósito pode ser apresentada com dois tipos de sistemas: a) “*cask-based system*”; e b) “*canister-based system*” [3]. Para o primeiro sistema, uma unidade integral serve a todos os propósitos para os quais o sistema foi projetado. Para o segundo sistema, um “*canister*” selado tem a função de conter o combustível queimado e é um componente comum ou um subsistema do sistema de transporte e armazenamento.

“*Cask based systems*” são geralmente sistemas metálicos. Para este projeto de casco, a mesma unidade integral fornece todas as funções de segurança radiológica necessárias para o transporte e o armazenamento. Para “*canister-based systems*”, o “*overpack*” específico e o “*canister*” fornecem as funções de segurança necessárias. O “*canister*” pode fornecer uma ou mais das funções de segurança requeridas. Por exemplo, o “*canister*” inclui a estrutura que suporta o combustível ou o “*basket*”, que normalmente controla a criticalidade. O “*canister*” pode também confinar o material radioativo nos cascos de armazenamento, mais nos cascos de transporte, o “*overpack*” normalmente contém o material radioativo durante o transporte. A blindagem requerida é tipicamente fornecida por um “*overpack*” apropriado.

Além das características de projeto mencionadas acima, certas características gerais são importantes na escolha de uma opção para o armazenamento temporário de combustíveis queimados. Estas características incluem [3]: a) a mobilidade; b) a possibilidade de recuperação do combustível; c) a modularidade; d) a redução nas operações de manuseio dos combustíveis queimados; e) a aceitação pública; e f) as vantagens econômicas.

A mobilidade é a habilidade de mover a instalação de armazenamento do combustível queimado de um lugar para outro. A possibilidade de recuperação é a habilidade de remover o casco, ou o “*canister*”, ou o combustível de sua posição na instalação de armazenamento. A mobilidade pode ser considerada como uma parte da possibilidade de recuperação. Esta última tem de ser possível. A preocupação é se ela será simples ou complicada. A modularidade é a habilidade da instalação de armazenamento ser separada em unidades distintas e padrão. Esta característica permite ao projetista selecionar “*baskets*”, “*canisters*” ou cascos com configuração e tamanho padrão de acordo com a sua necessidade e preferência. A utilização de cascos com duplo-propósito, por exemplo, irá reduzir o número de operações de manuseio do combustível em comparação aos cascos de propósito simples. Tentativas de prever a aceitação pública são subjetivas e especulativas. Existem vários fatores que podem ser considerados nesta previsão. Uma preocupação do público comum relacionada

ao armazenamento temporário é a de que medidas para o armazenamento temporário possam ser estendidas e, finalmente, tornarem-se permanente. Apesar de que “*cask systems*” e “*canister based systems*” são regulamentados da mesma maneira, e é esperado que tenham a mesma segurança do ponto de vista radiológico, a percepção do público relativa à segurança pode ser maior quando “*canister based systems*” são usados. O “*canister*” poderia ser entendido como capaz de fornecer uma barreira adicional de contenção. Quanto às vantagens econômicas, instalações de armazenamento úmido requerem operações contínuas de resfriamento, filtragem, limpeza e sistemas de amostragem que dependem de componentes mecânicos como bombas, válvulas e filtros. O controle químico e de temperatura da água requerem amostragem e monitoramento contínuo. Tais exigências operacionais aumentam com a quantidade de combustível na piscina e são maiores quando estão próximas da sua capacidade. Sistemas de piscinas e componentes mecânicos requerem manutenção periódica e substituição, que os tornam menos fidedignos que os sistemas de armazenamento a seco. Estas características resultam em custos operacionais relativamente mais altos para as piscinas do que para as instalações de armazenamento a seco [4]. Também, engenheiros da Siemens [5] atestaram que os custos de construção de instalações a seco são consideravelmente mais baixos por tonelada de combustível do que os das instalações úmidas, principalmente no caso de pequenas instalações.

3. PROPOSTA DE UMA OPÇÃO PARA O ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO EXTENDIDO DOS COMBUSTÍVEIS QUEIMADOS DO REATOR IEA-R1.

A escolha de uma opção a ser proposta para o armazenamento temporário dos combustíveis queimados do Reator IEA-R1 foi conduzida de forma a fornecer uma solução que estivesse dentro das realidades tecnológica e econômica do País. Para o reator IEA-R1, não está ainda definida uma data para o seu descomissionamento. O reator vem operando com segurança desde 1957 e não existem planos para a construção de um novo reator para substituí-lo em suas atividades de pesquisa e produção de radioisótopos. Também, não está definida no País a política a ser adotada para o gerenciamento dos combustíveis queimados após o armazenamento operacional. Estas indefinições trazem incertezas no projeto da instalação de armazenamento temporário a ser definida.

Armazenamentos úmidos são feitos em piscinas, cujos sistemas devem ser dimensionados de acordo com a sua capacidade em atender ao depósito seguro de um determinado número de combustíveis. As indefinições no número de combustíveis queimados a serem depositados e no período de tempo que estes ficarão armazenados podem levar a projetos de piscina que superestimam ou subestimam a capacidade necessária. A modularidade de algumas instalações a seco torna-se atraente. Além disso, os custos de construção e operacional das instalações úmidas têm sido demonstrados serem mais elevados por tonelada de combustível do que os das instalações a seco. Piscina, também, pode dar ao público a percepção de uma instalação permanente, sem mobilidade, que terá no futuro que ser descomissionada, dificultando o seu licenciamento, e a sua construção junto ao reator poderia levar a interrupções em sua operação, impedindo a execução de contratos de produção de radioisótopos.

Estes aspectos fizeram com que a escolha da opção para armazenamento do combustível queimado do reator IEA-R1 fosse direcionada às instalações a seco. Das opções a seco

disponíveis, a primeira a ser avaliada foi a construção junto ao prédio do reator de uma instalação do tipo “vault”, um edifício onde internamente seriam alojadas as cavidades para armazenamento a seco do combustível queimado. Para atender a esta instalação, deveriam ser também previstos um casco de transferência e um casco de transporte do combustível queimado. O casco de transferência seria utilizado para transferir o combustível queimado da piscina do reator para o casco de transporte, que por sua vez transportaria o combustível até a instalação de armazenamento a seco. Também, foi discutida a necessidade de se construir uma célula blindada, onde cada elemento combustível seria encapsulado antes de sua colocação nas cavidades de armazenamento. Novamente, as indefinições no número de combustíveis queimados a serem depositados e no tempo da duração do armazenamento pretendido dificultaram o estabelecimento da opção tipo “vault”, principalmente no estabelecimento das dimensões do prédio e do número de cavidades de armazenamento pretendido. Esta opção foi então relegada a um segundo plano, e a escolha de cascos e “silos”, em unidades distintas e padrão, foi ganhando força. Além disto, estava em andamento, dentro do projeto IAEA RLA/4/018, a concepção de um casco de transporte metálico que ao longo do projeto foi definido como de duplo propósito, devendo atender às necessidades de transporte e armazenamento de combustíveis dos reatores de pesquisa da América Latina [1]. Este casco pode acomodar 21 elementos combustíveis MTR, como os do reator IEA-R1 e 78 combustíveis tipo TRIGA. Com base nestas considerações, o casco de duplo propósito está hoje sendo considerado como a opção mais viável para o armazenamento do combustível queimado do Reator IEA-R1. Esta opção apresenta vantagens frente às outras opções pelas suas características de mobilidade, modularidade e capacidade de redução das operações de manuseio do combustível. O projeto de concepção do casco de transporte está sendo finalizado e já está em andamento a construção de um protótipo em escala para testes no CDTN-CNEN/SP. O IPEN irá desenvolver o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) deste casco, avaliando o seu projeto que deverá atender ao duplo propósito pretendido, ou seja, transporte e armazenamento estendido.

REFERÊNCIAS

1. IAEA, “*Draft Regional Report on Research Reactor Spent Fuel Management Options in Latin American*”, Revision 15, Final Coordination Meeting, Santiago de Chile, Chile, March 14th-18th, 2005.
2. IAEA, “*Design of Spent Fuel Storage Facilities*”, Safety Guides”, IAEA Safety Series No. 116, Vienna, 1994.
3. Miguel Mattar Neto, “On the comparison between single purpose and dual purpose casks for research reactors spent fuel elements transport and storage. In: “*Regional Workshop for Development of Research Reactor Spent Fuel Cask*”, Belo Horizonte, MG, Brazil; IAEA RLA/4-018 Regional Workshop for Development of Research Reactor Spent Fuel Cask. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2004, v.1, pag.1.
4. Dr. Ian Fairlie, “Dry storage of Spent Nuclear Fuel: The Safer Alternative to Reprocessing”, <http://www.greenpeace.fr/campagnes/nucleaire/dossiers/OSPARfairlie.pdf>.
5. Peehs M and Banck J, “Spent Fuel Storage: A Reliable Technology in the Back End of the Fuel Cycle”. In: *Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environment 12, Part I*. Cancer: 1950-1990. Radiat Res. 146, 1-27.