

ANÁLISE NÃO DESTRUTIVA DE COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS NA PISCINA DO REATOR IEA-R1m

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

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)
Divisão de Engenharia do Núcleo (REN)
Caixa Postal 11.049; CEP 05422-970; Pinheiros; São Paulo – SP; Brasil
E-mails: jersilva@net.ipen.br; perrotta@net.ipen.br; laaterre@net.ipen.br; czeituni@net.ipen.br

RESUMO

A análise de desempenho e a qualificação de combustíveis nucleares requer uma análise pós-irradiação. Métodos não destrutivos são utilizados tanto em piscinas de estocagem de combustíveis irradiados quanto em laboratórios com células quentes. O IPEN/CNEN-SP, através da Divisão de Engenharia do Núcleo, montou uma infra-estrutura básica para análise pós-irradiação de combustíveis na piscina do reator IEA-R1m. Este trabalho descreve esta infra-estrutura laboratorial, os equipamentos utilizados, e exemplos de diversas análises realizadas em combustíveis irradiados no Reator IEA-R1m.

Palavras-Chave : análise não destrutiva; inspeção-visual; *sipping*; espectrometria gama; elemento combustível

I. INTRODUÇÃO

A análise de desempenho e a qualificação de combustíveis nucleares requer a realização de testes e análises pós-irradiação nesses combustíveis.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP iniciou, em meados da década de 80, um programa de desenvolvimento e fabricação de combustíveis visando a fabricação de elementos combustíveis (EC's) para uso no Reator IEA-R1.

Como o País não possui células quentes para testes de combustíveis ou materiais irradiados e também devido aos altos custos dos serviços de irradiação e realização de análises pós-irradiação de miniplacas no exterior, o IPEN/CNEN-SP adotou um programa de qualificação sob irradiação dos combustíveis fabricados na Instituição.

Assim, objetivando realizar o acompanhamento para qualificação dos elementos combustíveis nacionais em uso no IEA-R1m e o desenvolvimento/qualificação de novos combustíveis no IPEN/CNEN-SP, a Divisão de Engenharia do Núcleo, montou uma infra-estrutura básica que permite a realização de testes não-destrutivos, na piscina do reator, capazes de indicar o estado geral e a integridade de elementos combustíveis irradiados.

A infra-estrutura laboratorial montada constitui-se de um conjunto de equipamentos para análises não-

destrutivas de combustíveis que permitem :

- i. análises visuais por meio de câmera de TV subaquática;
- ii. testes de “*sipping*” para detecção de elementos combustíveis falhados;
- iii. realização de avaliação de queima local por meio de espectrometria gama ao longo do comprimento ativo do elemento combustível;
- iv. sistema para testes de comportamento de queda de barra de controle no elemento combustível de controle.

II. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS

Sistema de Inspeção Visual de Combustíveis Irradiados na Piscina de Estocagem (SIVCI). O Sistema de Inspeção Visual de Combustíveis Irradiados na Piscina de Estocagem permite uma inspeção não destrutiva de componentes irradiados localizados na piscina do reator pois limita-se à inspeção visual pela observação das imagens desses componentes, captadas por meio de câmera de TV subaquática.

O sistema, esquematizado na figura 1, é constituído basicamente por uma câmera de TV apropriada para operação subaquática e de aparato eletrônico para visualização remota, gravação de imagens em fita de vídeo,

impressão em papel e controle remoto de iluminação e movimentação da câmara.

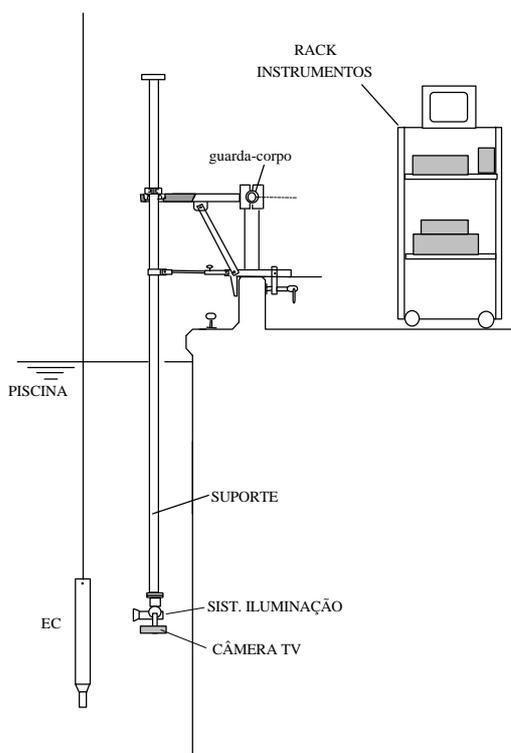


Figura 1. Esquema da instalação do SIVCI na piscina.

As características da câmera são as seguintes :

- operação submersa em água até 15 metros de profundidade;
- resistente à radiação para doses $>10^7$ RAD e taxas de dose $>10^5$ RAD/h;
- controle de foco, abertura e *zoom* remotos;
- lentes resistentes à radiação;
- distância focal de 12mm a 180mm;
- sistema de iluminação com lâmpadas submersas com controle remoto de intensidade de luz;
- conjunto câmera + sistema de iluminação é montado num sistema de movimentação com controle remoto (PAN and TILT) de varredura da câmera (movimentação 180° nos eixos vertical e horizontal).

O conjunto é suportado por meio de um tubo que permite o posicionamento na profundidade desejada, para a realização da observação.

O sistema também possui os seguintes itens :

- monitores de vídeo para a observação das imagens;
- videocassete para gravação e edição das imagens observadas;
- impressora de imagens, que captura imagem do vídeo e imprime em papel, com qualidade fotográfica;
- cabos da fiação da câmera e da iluminação com 30 metros de comprimento.

Sistema para Testes de *Sipping* de EC's ^[2]. O sistema para testes de *sipping* de elementos combustíveis irradiados é composto basicamente de um tubulão de alumínio (diâmetro interno de 120 mm e comprimento de 3 m, fechado na extremidade inferior e aberto na superior) que permite o isolamento do elemento combustível, a ser examinado, da água da piscina do reator. Entrando pela extremidade superior e indo até o fundo do tubulão, existe uma mangueira de lavagem, que é conectada ou ao circuito de água desmineralizada ou ao sistema de ar comprimido do reator, dependendo da fase da operação.

Para realização de *sipping* são executados basicamente os seguintes passos :

1) Inserção do EC no tubulão: Cada tubulão recebe apenas um EC por vez. Esta operação é realizada mantendo-se o EC a uma profundidade mínima de 1 metro para manutenção da blindagem biológica, como indicado na figura 2.

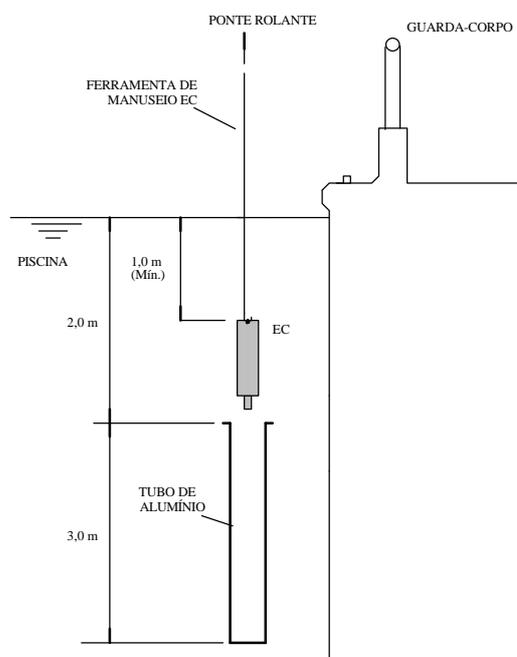


Figura 2- Introdução do EC no tubulão

2) Elevação do tubulão: O tubulão é então elevado até que o EC fique apoiado na sua extremidade inferior e a sua extremidade superior (abertura) fique aproximadamente 30cm acima da superfície da água da piscina, como indicado na figura 3.

3) Lavagem do EC: Promove-se a circulação ascendente de água desmineralizada através do EC a fim de se efetuar uma lavagem para retirada de eventuais contaminantes advindos da própria água da piscina de estocagem ou impurezas acumuladas ao longo do período de armazenamento.

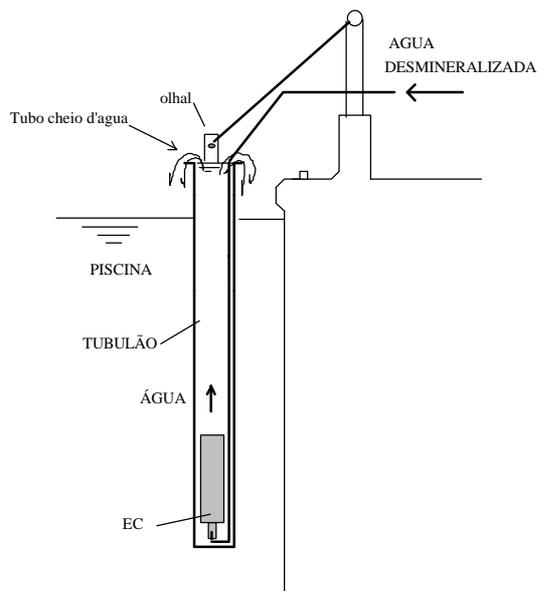


Figura 3- Posição do EC no interior do tubulão durante realização de *sipping*

- 4) Primeira coleta de amostra de água: É feita uma coleta de água na entrada do tubulão logo após a passagem da água através do EC. Para tanto são utilizados frascos plásticos apropriados para realização de espectrometria gama. Esta amostra será caracterizada como nível de BG.
- 5) Período de repouso da água: O tubulão de *sipping* com o EC é deixado em repouso (com a entrada do tubulão fora d'água) por um tempo preestabelecido.
- 6) Injeção de ar comprimido através do EC: É conectado o sistema de ar comprimido à mangueira de lavagem. Injeta-se ar comprimido de tal forma que toda a água da mangueira seja expulsa para dentro do tubulão. Continua-se injetando ar por 1 a 2 minutos.
- 7) Segunda coleta de amostra de água: Coleta-se amostra de água na entrada do tubulão logo após o desligamento do ar comprimido. Esta amostra será caracterizada como "amostra do *sipping* para o EC"
- 8) Coleta de dados adicionais: Tomada da temperatura da água do interior do tubulão, horário e potência de operação do reator durante o *sipping*, bem como das características da água desmineralizada utilizada na lavagem (pH, condutividade, cloretos)
- 9) Análise das amostras: São realizadas análises radioquímicas das amostras coletadas. A presença de elementos químicos produtos de fissão nas amostras indicam a existência de alguma falha no revestimento do combustível.
- 10) A operação de *sipping* deve ser monitorada pelo grupo de proteção radiológica.

Sistema para Espectrometria Gama ^[3]. A espectrometria gama tem sido proposta, pela Divisão de Engenharia do Núcleo do IPEN/CNEN-SP, como um método não-destrutivo para a determinação experimental da queima ocorrida em elementos combustíveis, tipo placa, irradiados no reator de pesquisa IEA-R1.

As medidas em elementos combustíveis irradiados são efetuadas utilizando um sistema que por meio de colimação e detecção de raios gama emitidos pelos produtos de fissão radioativos, possibilita a obtenção, armazenamento e análise de espectros gama.

O sistema de espectrometria gama desenvolvido é constituído basicamente de um detector de HPGe, montado sobre um tubo colimador blindado, fixados numa mesa de coordenadas X-Y instalada na borda da piscina do reator.

O elemento combustível, objeto das medidas, é colocado deitado sobre uma plataforma metálica existente a 2,2 metros abaixo da superfície da água, na lateral da piscina.

O conjunto tubo colimador + detector de HPGe é então posicionado sobre o elemento combustível, por meio da mesa de coordenadas X-Y, podendo varrer toda a superfície da placa combustível externa do elemento. A montagem do conjunto é mostrada na figura 4.

Os raios gama que penetram na extremidade inferior do tubo colimador são provenientes não somente da placa combustível externa, mas de todo o conjunto das 18 placas combustíveis do EC padrão utilizado no Reator IEA-R1.

O feixe de raios gama é delimitado pela área da janela do colimador. Os raios gama após terem sido colimados, são detectados por meio da utilização dos componentes eletrônicos descritos na tabela 1:

TABELA 1- Componentes eletrônicos do aparato experimental para espectrometria gama.

Componente	Modelo	Fabricante
Detector HPGe	GEM-25185-P-Plus	EG&G ORTEC
Amplificador	973U	EG&G ORTEC
Fonte Alta tensão	659	EG&G ORTEC
BIN	4001C	EG&G ORTEC
Analizador Multicanal	921	EG&G ORTEC

A aquisição dos espectros gama é efetuada com o analisador multicanal acoplado a um microcomputador através de uma interface de controle.

Todos os componentes eletrônicos incluindo o detector HPGe permanecem sempre fora da água.

A conexão destes componentes eletrônicos ao detector HPGe é feita por intermédio de cabos coaxiais, permitindo a movimentação do conjunto.

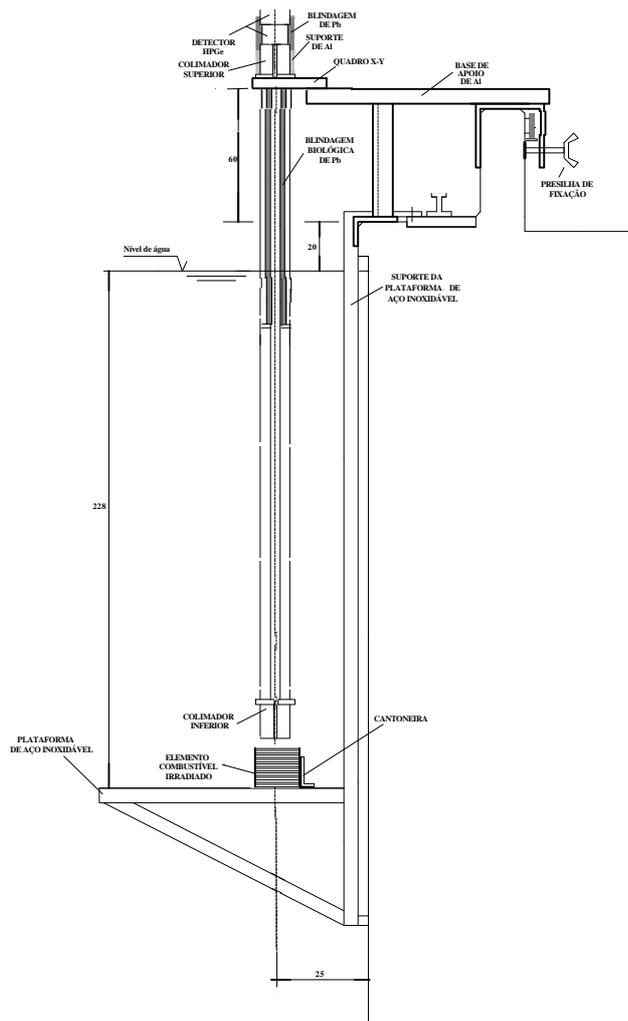


Figura 4. Montagem do aparato para espectrometria gama na piscina do reator IEA-R1m.

Sistema para Testes de Queda de Barra de Controle. O sistema para testes de queda de barra de controle consiste de equipamentos para medição do tempo de queda das barras. A obtenção de curva “espaço percorrido x tempo” permite a avaliação do bom funcionamento mecânico dessas barras e de todas as hastes guias usadas para o acionamento destas, bem como a avaliação da atuação dos amortecedores de queda sobre o elemento combustível de controle (ECC).

Testes de queda de barra devem ser realizados após a realização de montagem do conjunto de acionamento da respectiva barra de controle, advinda de remanejamento ou carregamento no núcleo de ECC novo.

Os equipamentos utilizados são os seguintes:

- cronômetro digital
- régua resistiva
- placa de aquisição
- microcomputador para tratamento de sinais

Para a determinação do tempo de queda, o equipamento é ligado ao circuito elétrico de desligamento

do magneto que mantém as barras suspensas. A contagem inicia-se quando o magneto é desenergizado, permitindo que a barra caia livremente e finalizada quando a barra atinge o indicador (microchave) de fim de curso.

Na determinação do perfil de queda (*deslocamento x tempo*) utiliza-se uma régua resistiva que fica acoplada ao conjunto da haste suporte da barra de controle. Esta régua resistiva fornece a um sistema de aquisição de dados computadorizado informações sobre a posição da barra a intervalos pré-definidos de tempo, da ordem de 1/300s. Com isso, pode-se determinar o deslocamento, velocidade e aceleração da barra de controle ao longo de todo o percurso de queda.

O critério especificado para desligamento seguro do reator é que o tempo de queda das barras de controle/segurança não exceda a um segundo.

III . ALGUNS TRABALHOS REALIZADOS

Inspeção Visual de Elementos Combustíveis Armazenados na Piscina de Estocagem do IEA-R1. A inspeção visual com câmera submersa mostrou a existência de corrosão acentuada nas placas combustíveis externas dos EC's armazenados na piscina do reator por mais de 40 anos.

A principal causa desta corrosão no revestimento de alumínio das placas combustíveis é a corrosão galvânica, devido a ser a estrutura suporte de armazenagem (*rack*) de aço inoxidável, que ocorre mesmo em presença das excelentes condições de água existentes na piscina do IEA-R1 (pH 5,5 - 6,5; condutividade < 2 μ Sv/cm; cloretos < 0,05 ppm).

A inspeção visual indicou que os pites de corrosão são de dois tipos diferentes e se concentram nas regiões tanto do meio da placa como na interface da placa combustível com a placa suporte lateral.

Devido às dimensões dos pites existentes, estes podem ter-se iniciado há bastante tempo, provavelmente na época da troca dos *racks* de alumínio por aço inoxidável (década de 70).

Dois ações foram recomendadas :

- i) colocação de uma nova estrutura de armazenagem (*rack*) de alumínio para armazenagem futuros combustíveis que venham a ser armazenados (ação já realizada) e,
- ii) colocação de isolantes entre o apoio do *rack* e os EC's atualmente armazenados (ação a ser realizada em 98).

Inspeção Visual de Barras de Controle do Reator IEA-R1. Em ocasião do carregamento no núcleo do reator IEA-R1 de dois novos elementos combustíveis de controle (Fev/98), realizou-se a inspeção visual das duas barras de controle que estavam operando nos elementos queimados que foram substituídos.

As barras absorvedoras se constituem de placas de liga Ag-In-Cd, cobertas de uma película de níquel. Estas foram adquiridas da empresa francesa CERCA e montadas

no reator IEA-R1 em 1972. Desde então estas barras absorvedoras estão em uso contínuo no reator.

As observações procuraram examinar o estado geral das superfícies das lâminas absorvedoras, as condições de integridade dos filetes guias (abas laterais) das lâminas que se posicionam nos canais existentes nos suportes laterais do ECC, bem como inspeção (vista em perfil) ao longo das espessuras das duas lâminas de Ag-In-Cd, visando visualizar e avaliar as dimensões de eventuais defeitos que fossem observados nas faces externas.

Em uma das barras de controle examinadas, as imagens obtidas pela câmera subaquática indicaram presença de bolhas na face externa de uma de suas lâminas, provavelmente devido a corrosão interna sob a película de níquel.

A outra barra absorvedora observada não apresentou alterações relevantes. São vários os fatores que podem ter influenciado numa maior ou menor degradação dessas barras, entre eles: diferentes temperaturas locais, diferentes fluxos de neutrons, diferentes fluências de cada barra (fluxo de neutrons integrado no tempo), etc.

Não foram visualizadas anormalidades nos filetes guias das lâminas das duas barras de controle.

Após realizadas as inspeções visuais, as barras de controle foram montadas nos ECC's novos e recolocadas no núcleo.

Foi a primeira vez que estas barras de controle foram inspecionadas visualmente, de maneira efetiva. Não se tinha um histórico, até então, das condições e da evolução dos fenômenos (corrosão, etc.) devido a irradiação e uso destas no núcleo do reator.

Com a realização deste teste não destrutivo pôde-se observar detalhadamente o estado geral daquelas barras absorvedoras. Isto levou à elaboração de uma lista de observações importantes para discussão e análise futura, dentre as quais a recomendação da substituição de todas as quatro barras de controle por barras absorvedoras novas num futuro próximo.

Sipping nos Elementos Combustíveis Armazenados na Piscina. Visando a verificação da possível existência de falhas nos combustíveis armazenados na piscina do reator há vários anos, a Divisão de Engenharia do Núcleo (REN) em conjunto com a Divisão de Operação do Reator IEA-R1 (ROI) do IPEN/CNEN-SP realizou *sipping* nestes EC's.

Como conclusão dos trabalhos foram determinados quais combustíveis apresentavam escape de ^{137}Cs para a água e qual a taxa desta liberação e feita uma correlação com a característica visível apresentada (pites de corrosão nas placas externas).

A equipe de *Savannah River Side* (SRS-DOE) adotou esta técnica da Divisão REN e os valores obtidos do *sipping* como base de comparação para critério de transporte de combustíveis MTR em cascos blindados e como base para análises futuras em outras instalações de armazenamento de combustíveis MTR, dentro do programa do US-DOE de repatriamento para os USA dos

combustíveis de alto enriquecimento espalhados pelo mundo.

Determinação da Queima dos Elementos Combustíveis Nacionais a serem armazenados. Estão em andamento na Divisão de Engenharia do Núcleo (REN) os trabalhos para determinação da queima e comparação dos valores calculados com os medidos dos EC's nacionais que estão sendo retirados do núcleo e estocados na piscina do reator.

Os valores de queima medidos são obtidos por meio da análise dos espectros obtidos por varredura gama ao longo do comprimento ativo do EC.

É também verificado o perfil de queima ao longo do EC, o que permite ver a relação entre a queima máxima e a média do EC.

Esta técnica é apresentada detalhadamente em outro trabalho no VI CGEN.

IV. CONCLUSÃO

A inspeção visual tem se mostrado como uma ferramenta importante e essencial para o acompanhamento da queima e qualificação sob irradiação dos combustíveis nacionais, permitindo um efetivo acompanhamento, através de verificações periódicas, das superfícies externas das placas combustíveis.

Permitiu também, para o caso de EC's irradiados armazenados na piscina, a observação da existência de corrosão acentuada nas placas combustíveis externas, devido ocorrência de corrosão galvânica entre estes EC's e as estruturas (*racks*) de aço inoxidável.

Os testes de *sipping* realizados pela Divisão de Engenharia do Núcleo se mostraram bastante eficazes na determinação de combustíveis com falha na piscina de estocagem.

Pode ser feita uma correlação entre a observação visual das placas combustíveis (com existência de pites na região do cerne) e as atividades existentes nas amostras de água de *sipping*.

O sistema de espectrometria gama, através da varredura gama ao longo do comprimento ativo do elemento combustível, possibilita comparar a queima média calculada, fornecida pela Divisão de Neutrônica, com a distribuição de queima ao longo do EC obtida através da análise dos espectros fornecidos pelo sistema de espectrometria gama.

A medição e verificação do tempo de queda das barras de controle permite garantir o bom funcionamento e segurança operacional do ECC. Os equipamentos disponíveis têm proporcionado a realização destas medições com precisão e relativa facilidade e rapidez.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva, J.E.R. , **Inspeção Visual das Barras Absorvedoras de Neutrons (Ag-In-Cd) do Reator IEA-R1**. Relatório Técnico Interno IPEN/CNEN-SP, Brasil, Mar.1998
- [2] Perrotta, J.A; Terremoto, L.A.A.; Zeituni, C.A. , **Sipping dos Elementos Combustíveis do Reator IEA-R1**. Relatório Técnico Interno IPEN/CNEN-SP, Brasil, Ago.1996
- [3] Terremoto, L.A.A.; Perrotta, J.A. , **Espectrometria Gama em Elementos Combustíveis Tipo Placa Irradiados**. Relatório Técnico Interno IPEN/CNEN-SP, Brasil, Jun.1996
- [4] Terremoto, L.A.A.; Zeituni, C.A.; Perrotta, J.A. , **Espectrometria Gama em Elementos Combustíveis Tipo Placa Irradiados**. XI ENFIR / IV ENAN - Joint Nuclear Conferences - Proceedings, p. 734-739, Poços de Caldas, Brasil, Ago.1997
- [5] Perrotta, J.A.; Silva, J.E.R. , **Estratégia de Utilização de Combustíveis Tipo MTR de Alto Teor de Urânio Para Operação do Reator IEAR1 a 5 MW- VI CGEN** , Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, Brasil, Out. 1996
- [6] Perrotta, J.A ; Lainetti, P.E.O. **Program of Converting IEA-R1 Brazilian Research Reactor From HEU to LEU** , RERTR Meeting, Seoul, Korea , Out.1996.

ABSTRACT

Fuel performance and nuclear fuel qualification require a post-irradiation analysis. Non-destructive methods are utilized both in irradiated fuel storage pools and in hot-cells laboratories. The Nuclear Fuel Engineering Division - IPEN/CNEN-SP developed facilities for fuels post-irradiation analysis in the IEA-R1m reactor pool. This work describes that facilities, equipments and examples of irradiated fuels analysis realized.