

EXPERIMENTO DE QUEDA DE BARRA ABSORVEDORA DE NEUTRONS NO REATOR IEA-R1

* CARLOS EDUARDO TRINDADE

** PAULO AFONSO RODI

* IPEN/CNEN-SP, Superv. de Proj. do Combustível Nuclear

** COPESP, Div. de Engenharia do Núcleo

RESUMO

Os ECC's que recebem as BA's no reator IEA-R1, apresentam alta queima, sendo necessária a sua substituição. A fim de se inserir novos ECC's no núcleo, deve-se verificar a interação mecânica entre o novo ECC e a respectiva BA, quando da situação de scram. Este trabalho mostra o resultado dos testes de queda de barra absorvedora de neutrons realizados no reator IEA-R1.

INTRODUÇÃO

O núcleo do reator IEA-R1 possui quatro sistemas de barras absorvedoras de neutrons para controle da reatividade. Estes sistemas consistem do elemento combustível de controle (ECC), da barra absorvedora, da estrutura guia da barra absorvedora, da haste de acionamento da barra absorvedora, do tubo guia da haste de acionamento da barra absorvedora, de um conector eletromagnético e do mecanismo de acionamento da barra absorvedora. Os ECC's e as barras absorvedoras são iguais entre si, geometricamente e nos materiais utilizados, diferindo apenas na função exercida: uma barra absorvedora de controle e as três restantes de segurança.

Cada barra absorvedora é constituída de duas placas absorvedoras de liga Ag-In-Cd com uma camada superficial de níquel agindo como revestimento da liga. Estas placas são paralelas e penetram, guiadas, no ECC.

O ECC possui seção transversal igual ao elemento combustível padrão possuindo no entanto, 12 placas combustíveis ao invés de 18 como o elemento combustível padrão. O ECC possui a parte ativa de mesmo comprimento que o padrão, mas com as placas suporte laterais e as placas guias com aproximadamente o dobro do comprimento em relação as placas suporte laterais do elemento combustível. Tal geometria permite guiar corretamente as placas absorvedoras durante sua inserção e retirada do núcleo.

No topo do ECC existe um dispositivo de amortecimento hidráulico de impacto (dashpot) da barra absorvedora sobre o ECC, sendo uma cavidade cilíndrica com furos que permite a inserção de um embolo existente na barra absorvedora, havendo um amortecimento hidráulico devido a pequena diferença entre diâmetros das duas peças.

As barras absorvedoras bem como os ECC's existentes no reator IEA-R1 entraram no núcleo em 1975, sendo de fabricação francesa (CERCA). Os ECC's são denominados de IEA-119, IEA-120, IEA-121 e IEA-122, e as barras absorvedoras de BC (controle), BS1, BS2 e BS3 (segurança). Atualmente a queima estimada dos

ECC's 121 e 122 está próxima de 50% e a dos 119 e 120 próxima dos 40%. Além de já estarem sendo irradiados há mais de 15 anos no reator, os valores de queima estão extremamente altos, necessitando então de substituição.

Com base na experiência acumulada na fabricação de elementos combustíveis no IPEN/CNEN-SP, se propôs projetar e fabricar os ECC's. Devido a falta de documentação com detalhes suficientes para um detalhamento completo do ECC, foi proposto um programa experimental de verificação de alguns detalhes construtivos do ECC existente, bem como de comparação do desempenho da função de segurança de um ECC fabricado no IPEN com o desempenho do ECC existente.

A função de segurança deste ECC é a de permitir a inserção correta da barra absorvedora e não impedir a queda ou movimento desta num scram e/ou operação normal. O tempo de queda da barra absorvedora no interior do ECC deve ser compatível com o estabelecido nas especificações do reator.

O programa experimental constou da fabricação e teste de um dispositivo calibrador e de um ECC que não contém urânio (ECC-dummy), onde as placas combustíveis foram substituídas por placas de alumínio. Este ECC-dummy é uma réplica em termos geométricos, estruturais e de processos de fabricação do ECC real que será produzido para substituir o ECC de origem francesa. Todos os experimentos foram conduzidos na piscina do reator IEA-R1 com as barras absorvedoras reais.

PARTE EXPERIMENTAL

Na primeira etapa de testes, foi feito o desmonte e retirada da barra absorvedora (BC) do núcleo do reator, para serem confirmados alguns itens dimensionais da placa absorvedora, mantendo sempre a barra absorvedora imersa na piscina já que esta se encontra altamente ativada. A fim de sanar as dúvidas dimensionais sobre alguns dos itens de detalhamento, foi feito um dispositivo calibrador para verificar o encaixe do dashpot no embolo existente na barra absorvedora, bem como verificar as dimensões dos canais de encaixe das placas absorvedoras

da barra absorvedora nas placas suporte laterais do ECC. Verificou-se a necessidade de se retrabalhar as placas suporte laterais e o dashpot do ECC-dummy, de forma a haver um perfeito acoplamento com a barra absorvedora. Estas modificações foram posteriormente incorporadas ao projeto final do ECC.

Na segunda etapa de testes foi montado um aparato experimental sobre o núcleo para medir o tempo de queda das barras absorvedoras e o perfil das curvas espaço-tempo, velocidade-espaço. Foram verificados todos os perfis para os ECC's existentes e para o ECC-dummy em substituição aos ECC's originais para cada posição das barras absorvedoras (BC, BS1, BS2 e BS3).

Os testes de queda de barra absorvedora de neutrons foram realizados na piscina do reator IEA-R1, mantendo-se o circuito primário de circulação de refrigerante ligado fornecendo uma vazão de 590 m³/h. Quando da realização dos ensaios com uma barra absorvedora [1], manteve-se as três restantes totalmente inseridas no núcleo assegurando então a sua sub-criticalidade. Durante todo o decorrer dos ensaios existiu um acompanhamento da equipe de proteção radiológica garantindo os baixos níveis de radiação nas imediações da piscina do reator, durante as operações com o núcleo.

O experimento consiste na obtenção de fitas de papel termo-sensível marcadas através de um faiscador acionado durante a queda da barra absorvedora. A partir destas fitas geraram-se curvas de espaço, velocidade e aceleração em função do tempo, bem como curvas de velocidade em função da posição da barra absorvedora. Tais curvas permitiram realizar um estudo comparativo entre as situações de queda com os ECC's originais que recebem as barras absorvedoras, e com o ECC-dummy colocado nas respectivas posições das barras BC, BS1, BS2 e BS3. O estudo baseia-se na análise do tempo total de queda, da velocidade máxima alcançada pela barra absorvedora e da velocidade de impacto da barra absorvedora sobre o ECC no final de curso.

Equipamentos. No ensaio de queda da barra absorvedora, utilizou-se um sistema de faiscamento para reproduzir em fitas de papel termo-sensível os perfis de queda. Tal sistema é composto por: fonte de alta-tensão, circuito temporizador, eletrodo, braçadeiras e estrutura suporte [2,3].

O circuito temporizador é acoplado diretamente à fonte de alta-tensão de modo a gerar um pulso de tensão em intervalos de tempo que seguem a frequência da rede, 60 Hz.

O faiscador nada mais é do que uma ponta metálica ligada ao circuito de alta-tensão. Desta forma, entre o eletrodo e o faiscador é gerada uma diferença de potencial elétrico, visto que o eletrodo se encontra aterrado e o faiscador a uma alta-tensão. Devido a esta diferença de potencial, geram-se faíscas que impressionarão uma fita de papel termo-sensível colocado entre o eletrodo e o faiscador, existindo um espaçamento mínimo entre estes de forma a:

- (i) Evitar o fechamento do circuito, contornando assim o problema de queima do transformador do circuito.
 - (ii) Possibilitar a existência de uma camada de ar entre o eletrodo e o faiscador, facilitando assim o salto das faíscas.
- O circuito gerador das faíscas foi ligado diretamente ao acionador de scram.

localizado na plataforma sobre a piscina do reator, de modo que uma vez acionado o scram do reator, inicia-se simultaneamente a liberação da barra absorvedora e o faiscamento.

RESULTADOS

A fim de se ter um padrão para comparação dos resultados, realizou-se para cada uma das barras absorvedoras, o teste de queda com o circuito primário ligado (590 m³/h), gerando assim as fitas marcadas, e a partir destas levantou-se as curvas de espaço, velocidade e aceleração em função do tempo. Para cada barra absorvedora foram coletadas no mínimo 27 fitas e no máximo 30. Tais fitas foram medidas utilizando-se escala milimetrada com o intervalo de tempo entre pontos sucessivos marcados pelo faiscador sendo o inverso da frequência da rede.

As posições das barras absorvedoras nas situações totalmente inseridas e retiradas foram controladas através do indicador de posição, sendo as leituras feitas no painel de controle na sala de operação do reator.

Utilizando-se um programa estatístico [4], desenvolvido pela Supervisão de Projetos de Combustíveis Nucleares (CNEN/IPEN-SP) calculou-se as médias e os desvios-padrão das posições instantâneas de cada uma das barras absorvedoras durante a queda. A partir destas posições médias construíram-se as curvas de velocidade e aceleração em função do tempo, utilizando um programa de cálculo de derivadas (método de interpolação de Lagrange).

A tabela 1, a seguir, mostra resumidamente os principais valores obtidos no ensaio. Nota-se pelos resultados que o tempo de queda está na faixa de 0,5 a 0,6 segundos, estando então abaixo do valor máximo estipulado pelas especificações técnicas, igual a 1 segundo [5].

A figura 1 mostra o gráfico da velocidade de queda em função da posição das barras absorvedoras existentes, sendo que para todas as barras a referência final de percurso é a mesma (condição da barra totalmente inserida), e a posição inicial de queda (indicada como "topo" no gráfico) é a altura da qual a barra absorvedora foi liberada, correspondendo à situação da barra totalmente retirada do núcleo.

Nota-se que as quatro barras absorvedoras se comportam segundo o mesmo perfil de queda (curvas homólogas), sendo que a BS2 apresenta um perfil de velocidades levemente superior ao das demais. O valor máximo de velocidade atingida durante a queda corresponde ao ponto de entrada no cilindro do dashpot, onde inicia-se o amortecimento hidráulico.

Uma vez estipulado um padrão para comparação, retirou-se o ECC121 do núcleo: se então o teste de queda da BC, obtendo apenas três fitas marcadas. Comparando-se o perfil dos pontos marcados nestas fitas com os obtidos na situação original, verificou-se que o amortecimento hidráulico não estava tão efetivo quanto nas situações anteriores. A diferença entre as duas situações ocorreu basicamente devido à diferente concepção mecânica do dashpot de cada conjunto testado. O cilindro do dashpot do ECC121 não apresenta furação para escoamento do fluido, ao passo que o cilindro do dashpot do ECC-dummy

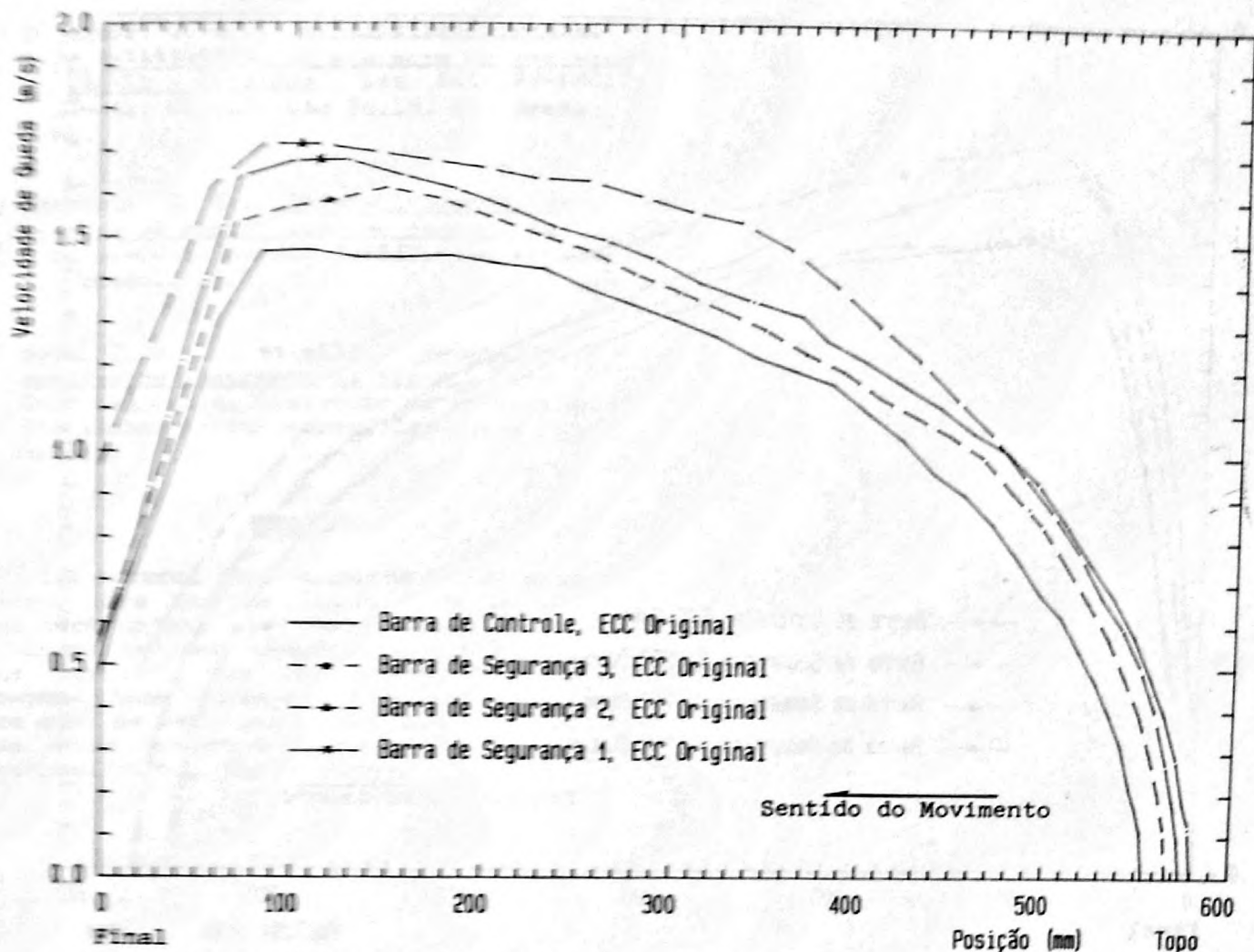


Fig. 1. Gráfico da velocidade de queda das barras absorvedoras em função da sua posição, durante o SCRAM.

apresentava 24 furos laterais de escoamento. Em vista deste fato, resolveu-se tamponar 8 furos acarretando em uma redução de área de escoamento de fluido, aumentando-se assim o efeito de amortecimento hidráulico. Após a alteração da furação do cilindro do dashpot, deu-se sequência aos testes [1].

Seguindo o procedimento, trinta fitas marcadas foram obtidas para cada sequência de teste de queda com as barras absorvedoras. Através dos dados coletados a partir das fitas marcadas, também se construiu o gráfico de velocidades de queda da barra absorvedora em função da posição durante a queda, figura 2, para as quatro barras absorvedoras, com o ECC-dummy na posição dos ECC's originais.

Pode-se perceber pela figura 2, a seguir, que as curvas são novamente homólogas, apresentando agora um amortecimento bem acentuado ao final da queda.

A tabela 1, ao lado, mostra os principais valores obtidos no ensaio, e a confrontação com os valores obtidos nos testes de queda da barra absorvedora com os ECC's originais do núcleo.

Tabela 1. Indicadores do experimento.

| | Veloc. Final (m/s) | | Tempo Queda (s) | |
|-----|--------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | ECC Orig. | ECC-dummy | ECC Or. | ECC-dummy |
| BC | 0,474 | 0,246 | 0,58 | 0,58 |
| BS3 | 0,558 | 0,270 | 0,55 | 0,60 |
| BS2 | 0,966 | 0,372 | 0,50 | 0,55 |
| BS1 | 0,543 | 0,318 | 0,55 | 0,55 |

Com relação ao tempo total de queda, nota-se que os valores com o ECC-dummy são praticamente iguais aos tempos com os ECC's originais, compreendidos também na faixa de 0,5 a 0,6 segundos. Por outro lado, os valores de velocidade final de queda sofreram uma grande redução (48% para a BC, 52% para a BS3, 61% para a BS2, e 41% para a BS1), indicando que na região do cilindro do dashpot deve-se ter, no seu início, velocidades maiores das barras absorvedoras no caso do ECC-dummy, e no seu final, velocidades menores. Obtém-se então um melhor amortecimento para o caso do projeto do ECC-dummy, quando comparado com o projeto dos ECC's originais, permanecendo inalterados os tempos totais de queda das barras absorvedoras.

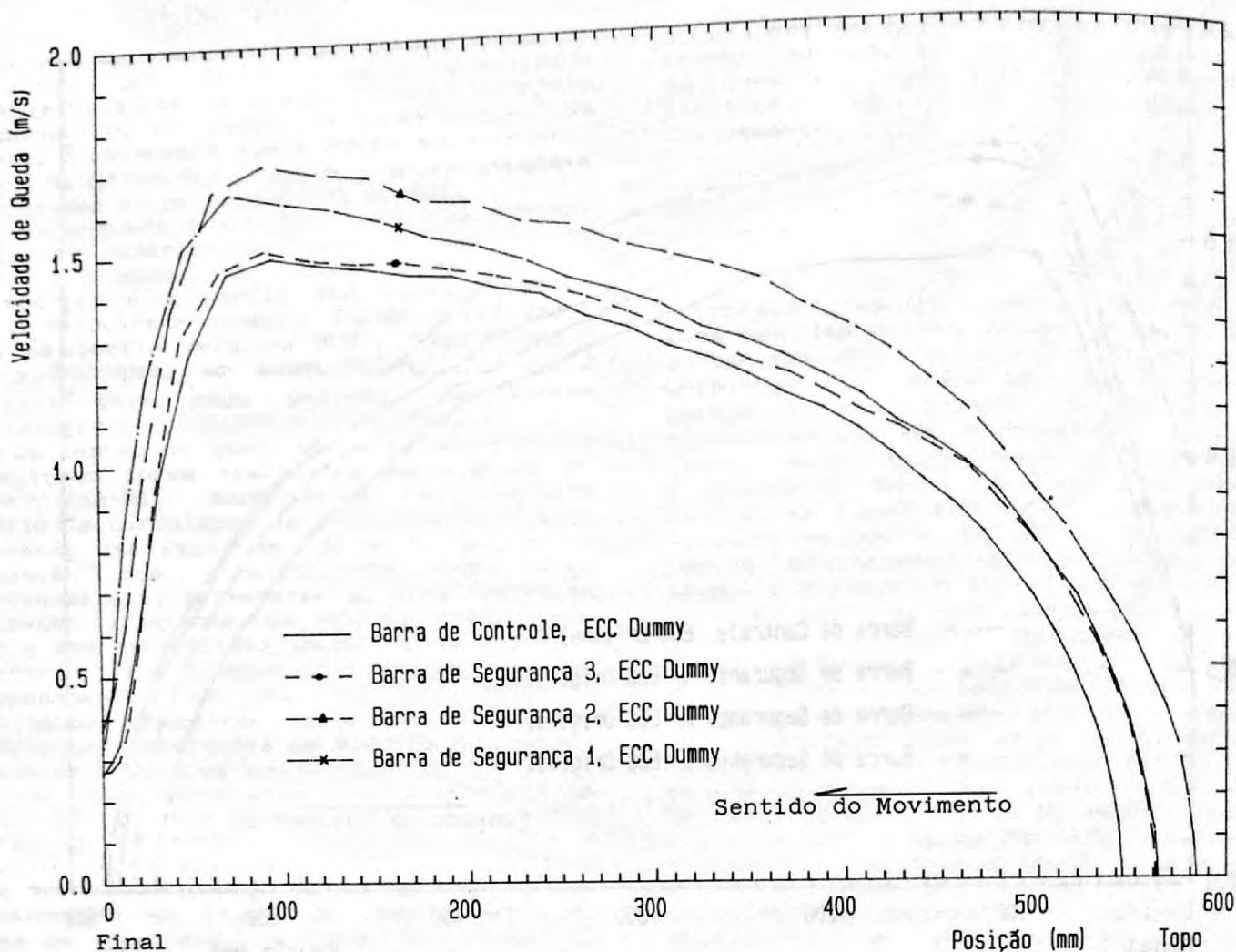


Fig. 2. Gráfico da velocidade de queda das barras absorvedoras em função da sua posição, durante o SCRAM.

CONCLUSÃO

Através deste procedimento experimental foi possível verificar a ação efetiva do dashpot no impacto das barras absorvedoras sobre os ECC's. Verificou-se a necessidade de se alterar ligeiramente o projeto do dashpot (foram fechados alguns furos do dashpot para aumentar a resistência hidráulica). Após a realização desta modificação, constatou-se que o projeto do dashpot IPEN se comporta de forma mais eficiente que o projeto original francês.

O ECC-dummy mostrou, através dos perfis de queda das barras absorvedoras, um desempenho funcional semelhante aos ECC's franceses, possuindo, no entanto, melhor desempenho de amortecimento de final de queda. Todas as montagens e desmontagens foram realizadas sem problemas, mostrando uma adequação correta dos aspectos geométricos, mecânicos e estruturais do ECC-dummy.

Aproveitou-se também o desmonte das barras absorvedoras para se fazer inspeções visuais sobre estes componentes, de forma a se verificar o estado das placas absorvedoras.

Um programa de acompanhamento de irradiação, a semelhança do que é feito para os elementos combustíveis padrão, deverá também ser realizado com os novos elementos combustíveis de controle quando da respectiva entrada no núcleo.

AGRADECIMENTOS

Manifesto nossos agradecimentos aos colegas da COPESP que contribuíram com a fabricação dos itens mecânicos como o dashpot e as placas laterais do ECC-dummy, bem como pelo suporte de infraestrutura e apoio na fabricação dos dispositivos de montagem; à Supervisão de Combustível para Reator de Pesquisa pela fabricação das placas de alumínio que substituem as placas combustíveis e pela montagem do ECC-dummy; à Supervisão de Operação do Reator IEA-R1 pela condução dos experimentos no reator; e aos colegas da Supervisão de Projeto do Combustível Nuclear que participaram da execução do projeto do ECC.

REFERÊNCIAS

- [1] Trindade, C. E.. "Rotina experimental para testes de queda de barra absorvedora de neutrons no reator IEA-R1". Doc. RP23-IPN-PNC17-4RE-400. COPESP, São Paulo, SP, Brasil, 1991.
- [2] Trindade, C. E.. "Arranjo experimental para qualificação do elemento de controle no IEA-R1 - Conjunto". Des. R45-IPN-PNC17-1DJ-040. COPESP, São Paulo, SP, Brasil, 1991.

- [3] Trindade, C. E., Arranjo experimental para qualificação do elemento de controle no IEA-R1 - Detaines. Des. R45-IPN-PNC17-1DD-041. COPESP. São Paulo, SP, Brasil, 1991.
- [4] Trindade, C. E., Desenvolvimento de métodos de manipulação de dados, Rel. R354-04-0002-354-01. COPESP. São Paulo, SP, Brasil, 1987.
- [5] Neto, J. M. O., et alii, Relatório de análise de segurança do IEA-R1, Cap. XVI, pag. 16.4. Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares. São Paulo, SP, Brasil, 1983.

SUMMARY

The control fuel elements which hold the control bars in the IEA-R1 reactor show a high burn-up and must be replaced. In order to introduce new control fuel elements in this reactor, the mechanical interaction between these elements and their control bars must be verified during a reactor scram. This paper presents the scram test results performed on the IEA-R1 reactor.