



**UM ENSAIO DE ALTERNÂNCIA TÉRMICA PARA  
PLACAS CONTENDO DISPERSÕES**

*SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA, ERBERTO FRANCISCO  
GENTILE e THARCÍSIO DAMY DE SOUZA SANTOS*

**PUBLICAÇÃO IEA N.º 218**  
Junho — 1970

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)  
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"  
SÃO PAULO — BRASIL

UM ENSAIO DE ALTERNÂNCIA TÉRMICA PARA  
PLACAS CONTENDO DISPERSÕES (\*)

Sebastião Hermano Leite Cintra  
Erberto Francisco Gentile  
Tharcísio Damy de Souza Santos

Divisão de Metalurgia Nuclear  
Instituto de Energia Atômica  
São Paulo - Brasil

Publicação IEA Nº 218

Junho - 1970

---

\* Separata de "METALURGIA - REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS", vol. 26, nº 150, maio, p. 417-420, 1970.

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof.Dr. Hervásio Guimarães de Carvalho

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof.Dr. Miguel Reale

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof.Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof.Dr. José Augusto Martins		
Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof.Dr. Theodoretto H.I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -  
Chefe: Prof.Dr. José Goldenberg

Divisão de Radioquímica -  
Chefe: Prof.Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -  
Chefe: Prof.Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -  
Chefe: Prof.Dr. Tharcísio D.S. Santos

Divisão de Engenharia Química -  
Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -  
Chefe: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -  
Chefe: Engº Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -  
Chefe: Prof.Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -  
Chefe: Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco

Divisão de Física do Estado Sólido -  
Chefe: Prof.Dr. Shiguo Watanabe

# Um Ensaio de Alternância Térmica para Placas Contendo Dispersões <sup>(1)</sup>

SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA <sup>(2)</sup>

ERBERTO FRANCISCO GENTILE <sup>(2)</sup>

THARCISIO DAMY DE SOUZA SANTOS <sup>(3)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro do desenvolvimento dos programas de fabricação de elementos combustíveis na Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, tornou-se imperativo a elaboração de outros ensaios que viessem comprovar a qualidade do produto final, bem como das matérias primas empregadas. Assim, diversos equipamentos para a realização de ensaios clássicos têm sido adquiridos, como é o caso do ultra-som, ou serão adquiridos brevemente, como o são os ensaios por raio-X, mecânicos e de superfície específica.

Ao lado desses, a Divisão tem se preocupado na elaboração de outros ensaios particulares, cujo equipamento pudesse ser projetado e fabricado dentro dos recursos disponíveis no Instituto. Para esses, face às suas peculiaridades, não se dispõe de equipamentos convencionais no mercado, sendo de grande importância os desenvolvimentos para a sua realização. Assim, já foram anteriormente desenvolvidos os ensaios de cintilometria <sup>(1)</sup> e de gramagrafia <sup>(2)</sup> para controle não destrutivo da homogeneidade de distribuição do urânio nas placas combustíveis.

Dentro da linha de tais ensaios, o corpo técnico-científico da Divisão de Metalurgia Nuclear projetou e construiu um equipamento para ensaio de alternância térmica de placas contendo dispersões, cujos objetivos, características e alguns resultados são apresentados nesta nota.

(1) Relatório apresentado pela Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Nuclear. Divisão de Metalurgia Nuclear; Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM. Chefe da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP. drático e Chefe do Departamento de Engenharia Metalúrgica; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; São Paulo, SP.

## 2. OBJETIVOS

Durante a manutenção, no núcleo do reator, de elementos combustíveis tipo placa, contendo dispersões de uma fase cerâmica numa fase metálica, revestidos por alumínio, esta placa fica sujeita a ciclos de temperatura, conseqüentes do início de marcha, parada e de flutuações térmicas durante a operação. Esta alternância de temperatura causada pelo aquecimento do líquido arrefecedor, em conseqüência de calor liberado na fissão de átomos de urânio, concomitante com os efeitos de irradiação <sup>(3)</sup>, provoca transformações estruturais no núcleo das placas, que devem ser suportadas pelos elementos combustíveis.

O presente ensaio visa estudar as transformações que ocorrem em conseqüência da simples alteração térmica, simulando de uma forma acelerada as condições a que uma placa de elemento combustível ficaria sujeita durante sua vida útil.

## 3. CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO

O equipamento para o ensaio é composto, fundamentalmente, das seguintes partes: dois tanques de alumínio, contendo água como meio de transferência térmica; sistema de movimentação das placas, constituído de conjunto motor-reductor, excêntrico e braços oscilantes; sistema de aquecimento, compreendendo termo-sifão com controle automático de temperatura por termopar e reostato; e sistema de manutenção de nível no tanque de água quente baseado em alimentação, controlada por pressão diferencial, de água do tanque de reserva (fig. 1).

Os tanques de alumínio têm forma trapezoidal, de modo a permitir isolamento térmico e espaço para movimentação dos braços oscilantes, com as seguintes dimensões: 110 × 1.080 mm, na superfície inferior, a 200 ×

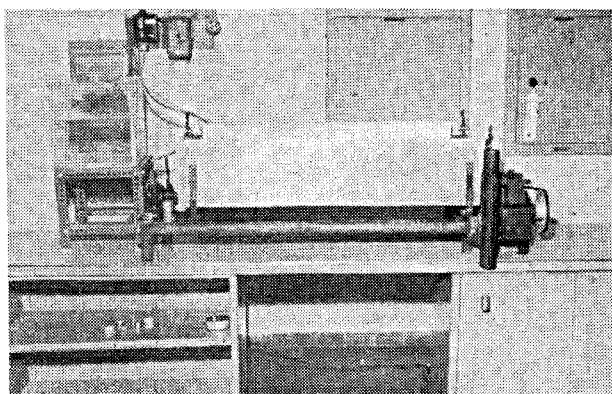


Fig. 1 — Vista geral do equipamento para ensaio de alternância térmica de placas contendo dispersões.

× 1.080 mm, na superfície superior, tendo uma altura de 150 mm. Nas condições de operação, o nível da água é mantido a 130 mm, em ambos os tanques, correspondendo a um volume de aproximadamente 21 litros (fig. 2).

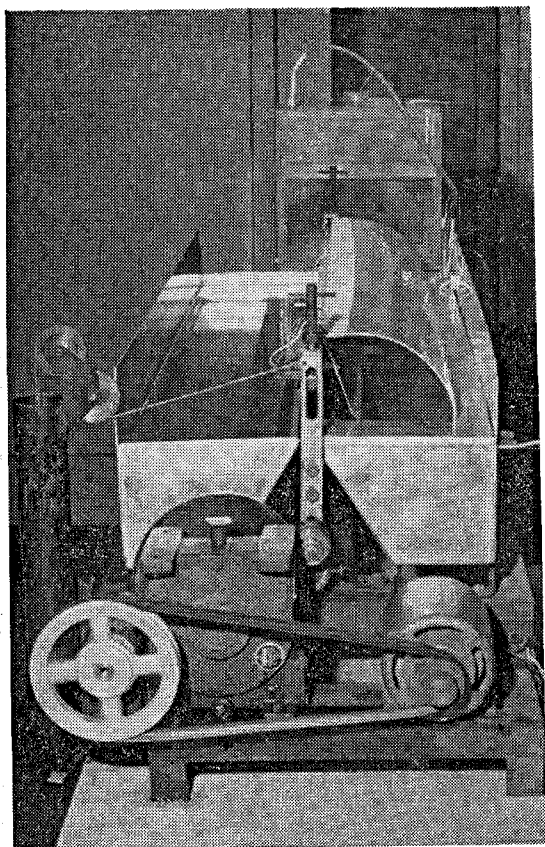


Fig. 2 — Vista lateral mostrando forma dos tanques e conjunto de movimentação das placas.

Sobre o tanque de água quente foi colocado uma cobertura com cortina móvel, para permitir a entrada

e saída das placas em ensaio. Essa, também executada em alumínio, tem o objetivo de minimizar as perdas de água por evaporação (fig. 2).

O sistema de movimentação, que permite o ensaio simultâneo de uma ou mais placas, é constituído, como já citado, de um conjunto motor-redutor, excêntrico e braços oscilantes. O motor empregado é de 1/20 cv, com 1725 rpm. A transmissão entre motor e redutor é feita por sistema de polias na relação de 1:3. O redutor permite uma diminuição de velocidade na proporção de 1:6.240, resultando uma redução global de 1:18.720. Obtém-se, assim, uma rotação em 11 segundos, aproximadamente. Acoplado ao eixo de saída do redutor existem um excêntrico, que permite a movimentação cíclica das placas de um tanque a outro. A transmissão de movimento do excêntrico aos braços oscilante é feita por uma carretilha regulável, possibilitando o aumento ou diminuição do curso total dos braços oscilantes. O contato entre carretilha e o excêntrico é mantido por um sistema de contrapêso. Na parte superior dos braços oscilantes existe um eixo com posição regulável, permitindo a ajustagem da profundidade de imersão das placas na água (figs. 2 e 3).

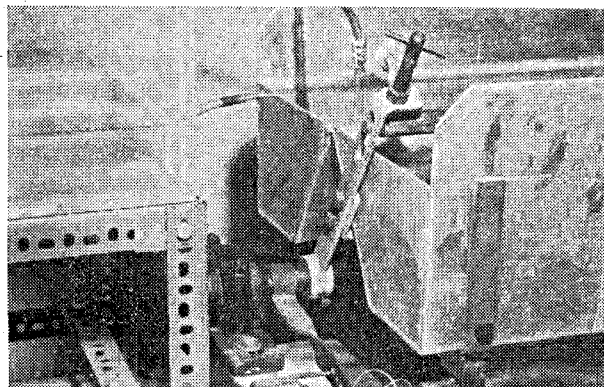


Fig. 3 — Detalhe do sistema de regulagem de movimentação das placas, bem como do de manutenção do nível de água.

O sistema de aquecimento, situado em baixo do tanque de água quente, consiste de 2 resistores de 2 kW, os quais aquecem a água tanto diretamente como por meio de termo-sifão. Este permite, ainda, a contínua agitação da água, fazendo com que as flutuações térmicas não sejam superiores a 1°C, quando em regime. Para controle de temperatura, o conjunto de resistores está acoplado a termo-par e reostato, que mantém as variações de temperatura dentro do intervalo a 5%.

Junto ao equipamento está localizado um reservatório de água, com capacidade total de 21 litros, que permite a manutenção de nível no tanque aquecido, por meio de um sistema de pressão diferencial. Detalhes

dêsse sistema podem ser observados nas figuras 3 e 4, que mostram, também, um contador de impactos, o qual registra o número de ciclos de cada ensaio. A água utilizada para meio de transferência térmica é deionizada, procurando assim repetir as condições anti-corrosivas do reator.

Na tabela I, são apresentados os tempos das diversas fases do ciclo, bem como o tempo total. Pode-se observar o pequeno intervalo de tempo necessário para a transferência do tanque de água quente para o de água fria, possibilitando assim a análise da resistência estrutural do elemento combustível às rápidas variações de temperatura.

TABELA I — Tempos relativos as fases e total de um ciclo de alternância.

tempo de permanência na água fria	3 min
tempo de passagem da água fria para a quente	1 min e 44 s
tempo de permanência na água quente	6 min e 40 s
tempo de passagem da água quente para a fria	8 s
tempo total de ciclo	11 min e 32 s

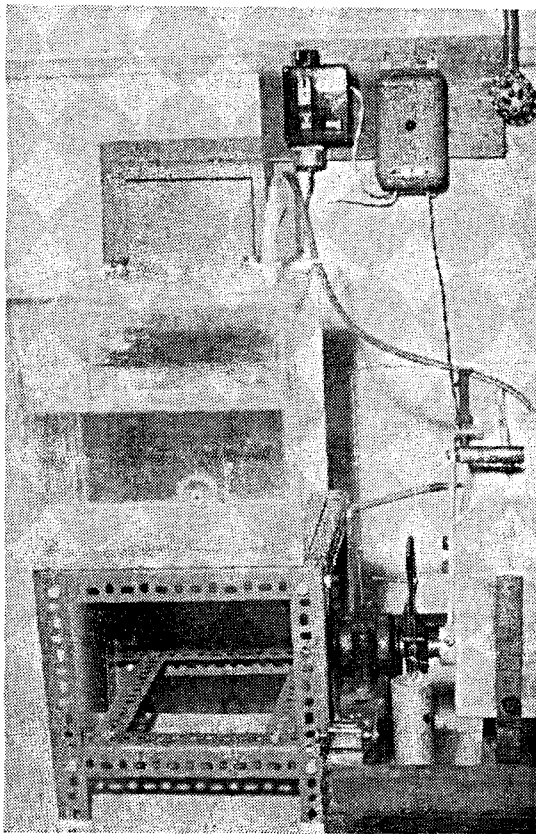


Fig. 4 — Detalhe do sistema de manutenção de nível de água no tanque de água quente, bem como os dispositivos de regulagem de temperatura neste tanque.

Na tabela II, são apresentados alguns valores da temperatura de água quente, da água fria e ambiente, bem como do volume de água no reservatório em função do tempo e número de ciclos. Dêsse resultados, pode-se depreender que a temperatura média é de 83°C, com um desvio de 2°C e que o volume de água evaporada é cerca de 1,3 l/h.

O início de marcha do equipamento é de 4 horas, após o que o seu funcionamento é contínuo por um período de 5 dias.

#### 4. RESULTADOS

Ensaio realizados com diversas placas múltiplas, com 2 ou 4 cermetes, produzidas anteriormente nessa Divisão (4), assim como outras simples, revelaram que nenhuma alteração dimensional externa ocorreu, no caso de ensaios conduzidos até 800 ciclos. O controle dimensional foi feito por medidas hidrostáticas de volume (5).

Observações visuais da superfície das placas ensaiadas revelaram ausência de pontos de corrosão localizada, apesar das severas condições a que ficam sujeitas as placas durante o ensaio.

A análise da microestrutura dos núcleos, após serem ensaiados, mostrou alto grau de reação entre as fases cerâmica e metálica, no caso de placas com dispersões  $U_3O_8$ -Al (6). Na figura 5 é mostrado corte transversal de um núcleo de placa, contendo dispersões de alumínio com 65% de  $U_3O_8$ , submetida a 431 ciclos, observando-se a quase total reação entre as fases presentes.

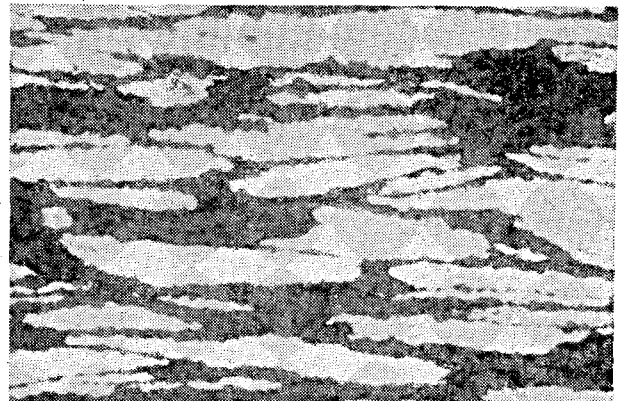


Fig. 5 — Corte transversal de placa com núcleo de cermet Al-65%  $U_3O_8$ , submetida ao ensaio de alternância térmica observando a quase completa reação das fases presentes. Sem ataque. Aumento: 800 X. Reduzida a metade na impressão.

#### 5. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

O desenvolvimento dêsse ensaio, bem como a construção do equipamento, deve-se em grande parte ao

TABELA II — Registro de alguns valores das temperaturas dos tanques e ambiente, assim como do volume de água no reservatório, em função do tempo e do número de ciclos.

tempo (h. min)	n.º de ciclos	temperatura água quente (°C)	temperatura água fria (°C)	temperatura ambiente (°C)	volume-água reservatório (l)
8 e 30	368	84	22	20	21
10 e 30	379	84	22,5	21	19,5
11 e 30	384	85	23	22	18
13 e 30	395	85	24	22,5	15
14 e 30	400	85	24,5	23	13,7
15 e 30	405	82	25	22,5	12,3
16 e 52	413	81	25	22	10,8

trabalho do grupo de técnicos que prestam sua colaboração à Divisão de Metalurgia Nuclear. Especial destaque merece ser feito ao Sr. Waldemar Corvello da Silva, pela contribuição, tanto no projeto como na montagem, ajustagem e controle de todas as operações, principalmente no que se refere aos dispositivos de alimentação de água e de aquecimento, que são de sua concepção. Destaque-se, também, a colaboração prestada pelo Sr. Ronildo de Menezes, no referente à fase de projeto, bem como execução dos desenhos e especificações de dimensões e materiais de cada componente.

#### BIBLIOGRAFIA

1. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M. & FREITAS, C. T. — Principais características metalúrgicas dos elementos combustíveis produzidos para o reator «Argonauta» do Instituto de Engenharia Nuclear. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 21, n.º 97, p. 909-921, dez., 1965.
2. SANCHEZ, W. — Auto-radiografia aplicada ao controle de processos metalúrgicos. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 24, n.º 130, p. 715-720, set., 1968.
3. BILLINGTON, D. S. — Radiation effects in metals and alloys — Effects of radiation on materials. Cap. 3, p. 99-125, Reinhold Publishing Corp., New York, 1958.
4. SOUZA SANTOS, T. D.; CAPOCCHI, J. D. T. & CINTRA, S. H. L. — Estudo experimental de fabricação de elementos combustíveis planos dotados de múltiplos cermetos. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 21, n.º 125, p. 295-300, abr., 1968.
5. CAPOCCHI, J. D. T.; CINTRA, S. H. L. & GENTILE, E. F. — Estudo experimental de elementos combustíveis planos contendo núcleos de cermetos. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 24, n.º 124, p. 201-212, mar., 1968.
6. GENTILE, E. F.; CINTRA, S. H. L. & TRACANELLA, R. B. — Estudo da reatividade de dispersões  $U_3O_8$ -Al. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 26, n.º 149, p. 305-309, abr., 1970.

#### RESUMO

Descrevem-se no presente Relatório os característicos de um aparelho, projetado e construído na Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica, destinado a ensaiar placas combustíveis contendo núcleo de dispersão  $U_3O_8$ -Al. O ensaio simula condições de operação em alternâncias de temperaturas, constituindo assim um meio acelerado de julgar do comportamento das placas em serviço.

#### ABSTRACT

This paper presents the main characteristics of an equipment for testing the behavior of aluminum-clad, fuel plates with core of dispersion of  $U_3O_8$ -Al, under cyclical fluctuations of temperatures. The equipment was designed and built at the Divisão de Metalurgia Nuclear of the Instituto de Energia Atômica.

The test constitutes an accelerated way of judging the actual behavior of the fuel plates in the reactor.

## R E S U M É

Ce rapport présente les caractéristiques d'un appareil projeté et construit dans la Division de Metallurgie Nucleaire de l'Institut de Energia Atomica, São Paulo, avec l'intention d'essayer des plaques combustibles contenant un noyau de dispersion  $U_3O_8-Al$ . L'essai simule dans des conditions accélérées la vie des plaques dans un réacteur. D'objectif principal a été d'étudier séparément les effets produits par la cyclage thermique et ceux produits par l'irradiation.

## R E S U M E N

En el presente informe, son presentadas las características de un aparato, proyectado y construido en la División de Metalurgia Nuclear de Instituto de Energia Atomica, con el fin de ensayar placas combustibles conteniendo dispersiones de  $U_3O_8-Al$ . El ensayo simula la vida útil de las placas en un reactor sobre condiciones aceleradas.

Resáltase que el objetivo primordial fue el de estudiar por separado los efectos causados solo por la alternancia térmica de aquellos causados por irradiación en el reactor.