

# UTILIZAÇÃO DE TÓRIO EM REATORES A ÁGUA PRESSURIZADA

K. Reichardt/V. Maly [KFA Jülich]/

M. Dias [CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear), Belo Horizonte]

Considerando o fato já conhecido de que a utilização de tório (Th), como material fértil, pode ampliar as reservas de combustível dos reatores nucleares térmicos, o CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte) e três parceiros alemães - Siemens/KWU (Kraftwerk Union, Erlangen), KFA (Forschungszentrum Jülich) e NUKEM (Nuklearchemie e Metallurgie GmbH, Hanau) - trabalharam de 1979 a 1989 sobre a questão da utilização de tório em reatores a água pressurizada (PWR) no âmbito de um programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

## Objetivo

A tecnologia do ciclo do tório não estava ainda suficientemente desenvolvida a ponto de permitir afirmações bem fundamentadas sobre as viabilidades nesta área. Os objetivos principais do programa eram:

- investigar e demonstrar a viabilidade da utilização do tório em reatores a água pressurizada (PWR);
- projetar o elemento combustível e o núcleo PWR para o ciclo de tório;
- fabricar elementos combustíveis Th/U e Th/Pu e testá-los em condições de operação;
- investigar as possibilidades de tratamento do combustível irradiado assim como o fechamento de ciclos do combustível pelo reprocessamento de elementos combustíveis PWR contendo tório.

A transferência para o Brasil de metodologia de P&D, relacionada ao ciclo do combustível PWR, constituiu tam-

bém um dos objetivos principais deste programa.

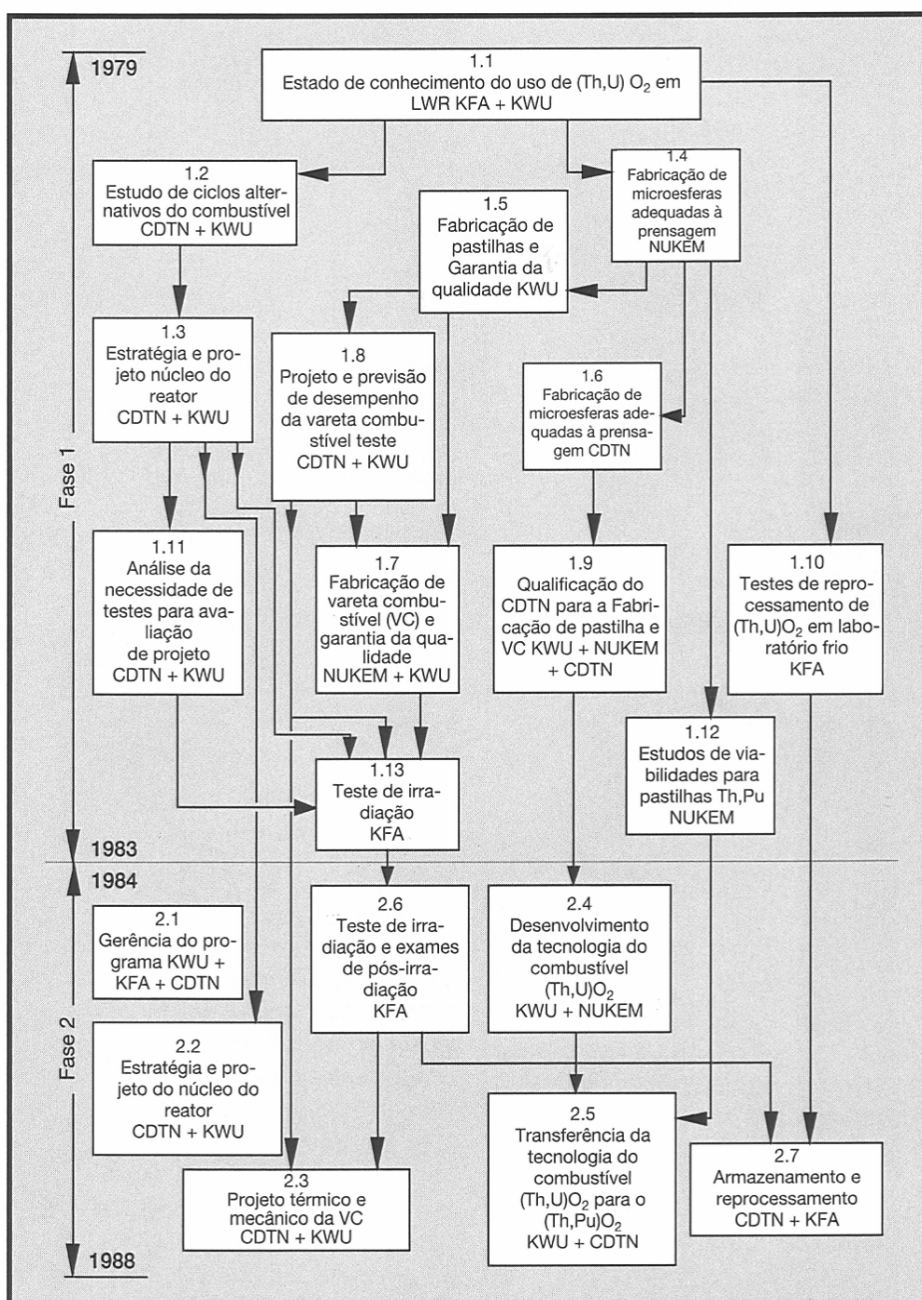


Fig. 1: Organograma do Programa

## Realização do Program P&D

No decorrer do tempo, a extensão e metas do programa (Fig. 1) foram adaptadas às necessidades reais dos países participantes. O esforço maior foi então concentrado no desenvolvimento da fabricação do combustível, sua qualificação e teste, bem como na transferência de conhecimentos de P&D atualizados nesta área. Os trabalhos relacionados ao tratamento do combustível irradiado foram reduzidos, principalmente depois de confirmados os aspectos vantajosos do ciclo do combustível Th/Pu *once-through* em relação ao processo usual aplicando-se urânio.

### Projeto do Núcleo do Reator

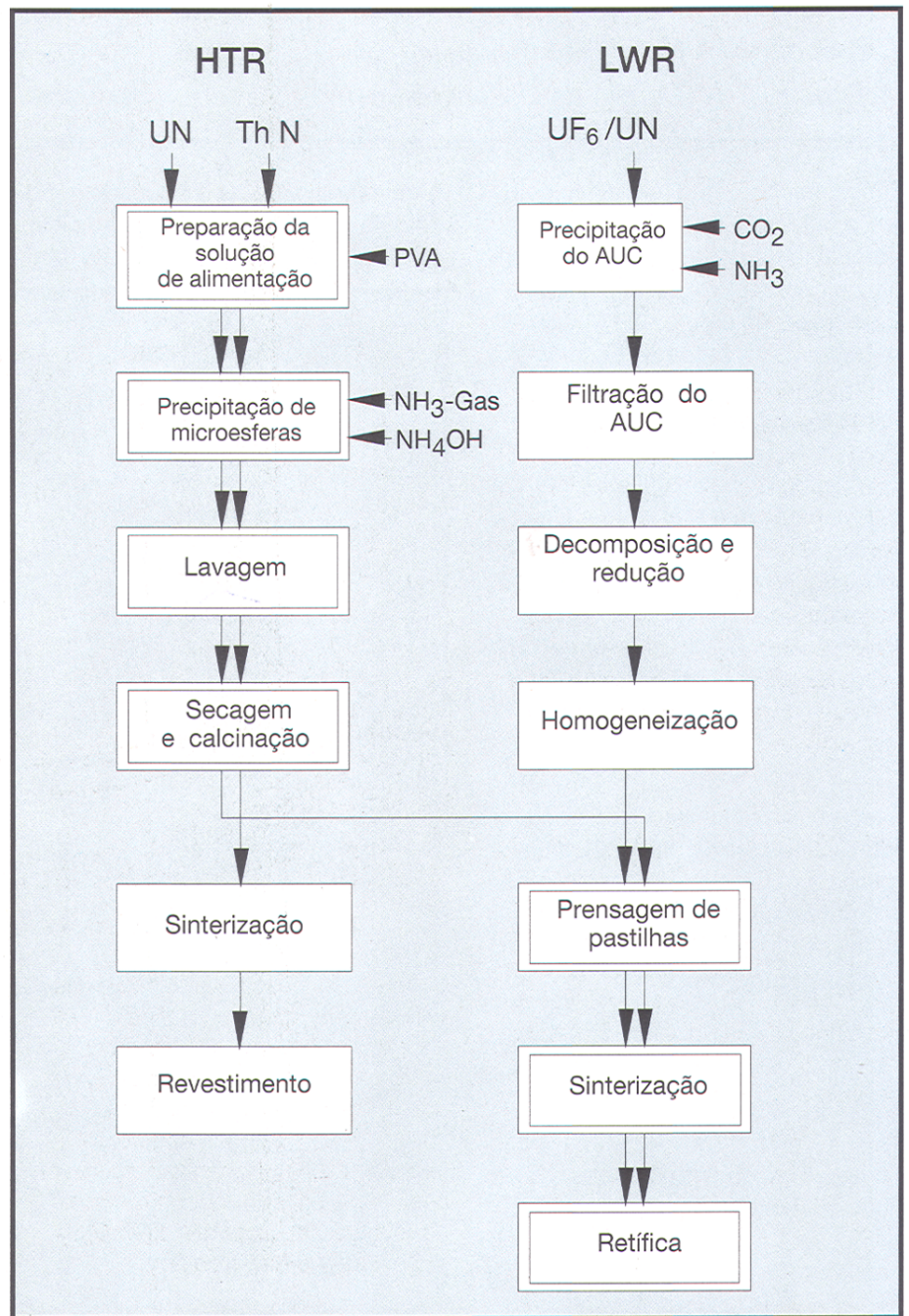
O PWR Siemens padrão de 1300 MWe foi usado como reator de referência, proporcionando uma boa base para a transferência de conhecimentos. Os códigos padrões da Siemens para o projeto nuclear do reator foram adaptados e validados para o tório. Os resultados do projeto nuclear do reator demonstraram que o PWR atual pode receber combustível baseado em tório, sem alterações ou restrições no projeto do elemento combustível baseado em urânio ou do núcleo.

### Estratégia de Introdução de Combustível

No campo da estratégia e juntamente com o desenvolvimento de códigos, os estudos sobre o potencial do ciclo do tório proporcionaram também um melhor conhecimento sobre as possibilidades de introdução de combustível com tório na estratégia nuclear a longo prazo do Brasil.

### Tecnologia do Combustível

Relativamente à tecnologia do combustível, a combinação do processo



**Fig. 2: Combinação de tecnologias disponíveis para a fabricação de combustível misto**

padrão de peletização para PWR com o processo químico *Ex-Gel* de HRT foi efetuada com pleno sucesso (Fig. 2). Nesta combinação, microesferas de  $(Th,U)O_2$  com um diâmetro médio de

0,3 mm, resultantes do processo *ex-gel*, foram transformadas, mediante técnicas padrões de peletização, em pastilhas combustíveis  $(Th,U)O_2$  com homogeneidade, microestrutura e for-



ma geométrica adequadas e satisfazendo as especificações *PWR* usuais. Estas pastilhas foram fabricadas tanto no Brasil como na Alemanha e os resultados confirmados em teste *round robin*. Para a maioria das etapas pôde ser usado o equipamento padrão do processo de produção. Portanto, nenhuma dificuldade é esperada na transposição da escala piloto para a de produção.

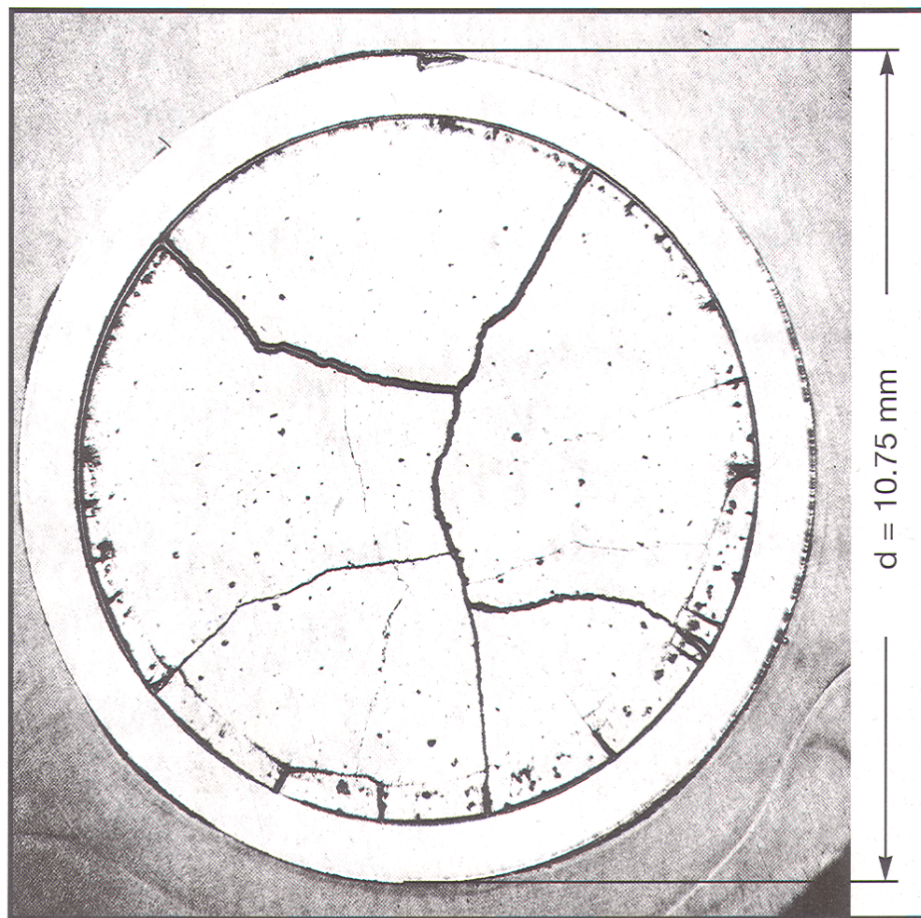
A transferência, para o Brasil, do conhecimento adquirido para a produção do combustível  $(Th,U)O_2$  foi realizada em escala de laboratório utilizando-se o cério como substituto do plutônio. O processo de fabricação *Ex-Gel* sem a geração de pó é particularmente atraente para esta aplicação. Os resultados da investigação em escala de laboratório indicaram que o conceito *master-mix* pode ser também concretizado.

#### Comportamento do Combustível

A base de dados e modelos para o projeto térmico e mecânico da vareta combustível foi obtida a partir de considerações teóricas e de resultados experimentais. A base de projeto foi confirmada com sucesso através da previsão de comportamento do combustível nos testes de irradiação.

#### Comportamento da Irradiação

Os testes de irradiação foram realizados nos circuitos de água pressurizada do reator FRJ2 do KFA Jülich. Nestes testes, 6 varetas combustíveis foram irradiadas em condições que cobriam as solicitações de um *PWR* e alcançaram queimas de 10 MWd/kgHM. O comportamento do combustível  $(Th,U)O_2$  satisfaz os requisitos.



**Fig. 3: Corte Transversal de uma Vareta Combustível Teste Irradiada**

Os exames de pós-irradiação e avaliações abrangentes da série de testes de irradiação forneceram uma ampla base de dados para o esforço subsequente de desenvolvimento e também um esforço substancialmente aprofundado do comportamento do combustível. A figura 3 mostra o corte transversal de uma vareta  $(Th,U)O_2$  teste combustível irradiada.

#### Tratamento do Combustível Irradiado

Cálculos computacionais, baseados em métodos recentemente desenvolvidos demonstraram que tanto no armazenamento intermediário como na estocagem final do combustível à base de tório não surgem problemas

adicionais, quando comparados com o combustível  $UO_2$  padrão. As investigações de laboratório sobre reprocessamento do combustível à base de tório, foram concentradas principalmente em trabalhos com  $(Th,U)O_2$  não-irradiado. Até certo ponto, foram realizados com êxito trabalhos de dissolução com combustível irradiado. A aplicação das técnicas de reprocessamento atualmente conhecidas para o combustível à base de tório aos combustíveis desenvolvidos no presente programa parece ser bastante viável.

#### Conclusões

A utilização do tório em *PWR's* representa uma opção à longo prazo, que

sob os vários pontos de vista, apresenta resultados promissores. A aplicação mais atraente para os combustíveis baseados em tório é o uso de plutônio em um ciclo de combustível *once-through* com queima elevada.

Do ponto de vista da cooperação e transferência de conhecimento, a experiência advinda do programa mostra a importância de se estabelecerem:

- metas voltadas para realizações físicas;
- definições claras das etapas dos trabalhos pretendidos;
- comunicação adequada, incluindo trabalho conjunto em tarefas interdependentes.

O conteúdo do relatório final e de várias publicações confirma o suces-

so da transferência de conhecimento e do trabalho conjunto.

## Bibliografia

---

KFA/Siemens/NUKEM/NUCLEBRÁS (1988)  
*Program of Research and Development on the Thorium Utilization in PWRs - Final Report (1979-1988)*  
(Jülich: KFA-Bericht, Jül-Spez-488)