

## SECÇÃO 4 — ALGUMAS INCIDÊNCIAS NA ACTIVIDADE ECONÓMICA NACIONAL DA PROGRAMAÇÃO DE NOVOS CENTROS PRODUTORES

# ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A POSSIBILIDADE DE INSTALAÇÃO DUMA INDÚSTRIA DE ELEMENTOS DE COMBUSTÍVEL EM PORTUGAL

As instalações destinadas ao fabrico de elementos de combustível do tipo  $UO_2$ /zircaloy podem agrupar-se em três categorias principais quanto às suas capacidades, tomando como referência as características das instalações presentemente em funcionamento em alguns países europeus.

Essas instalações podem ser classificadas como se segue:

- Instalações do tipo experimental com uma capacidade de produção de 20-25 t U/ano.
- Instalações do tipo semi-industrial com uma capacidade de produção de cerca de 50 t U/ano.
- Instalações do tipo industrial com uma capacidade de produção de 100 t U/ano.

Duma maneira geral, a linha de fabricação do elemento de combustível aqui considerada inclui para quaisquer das instalações acima citadas as seguintes operações principais:

- Conversão do hexafluoreto em  $UO_2$ .
- Sinterização e rectificação das pastilhas de  $UO_2$ .
- Montagem das pastilhas nas bainhas de Zircaloy — varas de combustível.
- Montagem das varas de combustível em elementos de combustível.

Sob a designação duma instalação do tipo experimental subentende-se uma pequena instalação-piloto, a qual, além duma produção de cerca de 20-25 t U/ano, permite num primeiro período de funcionamento a obtenção da experiência necessária à produção, manipulação e montagem dos componentes que constituem o elemento de combus-

tível. Dada ainda a versatilidade deste tipo de instalação é possível empreender nela estudos que visam a resolução de problemas específicos de ordem tecnológica e económica.

Além das vantagens já apontadas, temos que considerar ainda que o investimento numa instalação deste tipo é relativamente baixo da ordem dos 25 000 contos. É óbvio que a relação entre a capacidade de produção e a rendabilidade económica deixa de ter qualquer sentido numa tal instalação onde os objectivos a atingir são de diferente natureza.

As instalações consideradas do tipo semi-industrial, para uma produção média da ordem das 50 t U/ano apresentam características convidativas à sua exploração desde que estas se encontrem englobadas num programa de centrais nucleares que lhes faculte um funcionamento em regime contínuo.

Este tipo de instalação é presentemente o mais adoptado em diversos países em virtude da sua capacidade satisfazer ainda o quantitativo em elementos de combustível anual necessário a alimentar as primeiras centrais nucleares.

Quanto ao terceiro tipo de instalação, destinada a uma produção de 100 t U/ano, embora não exista qualquer informação acerca do número mínimo rendável em t U/ano, crê-se saber, no entanto, que a sua estruturação, principalmente no que diz respeito a alguns métodos de fabrico, terá possivelmente que ser modificada em relação ao tipo de instalação semi-industrial.

Tudo leva ainda a crer que tais instalações adquiram no futuro um grau de automatismo elevado principalmente no que diz respeito aos métodos empregados na operação de sinterização. Instalações deste tipo só poderão obter, no entanto, o seu máximo rendimento após a montagem das primeiras centrais nucleares.

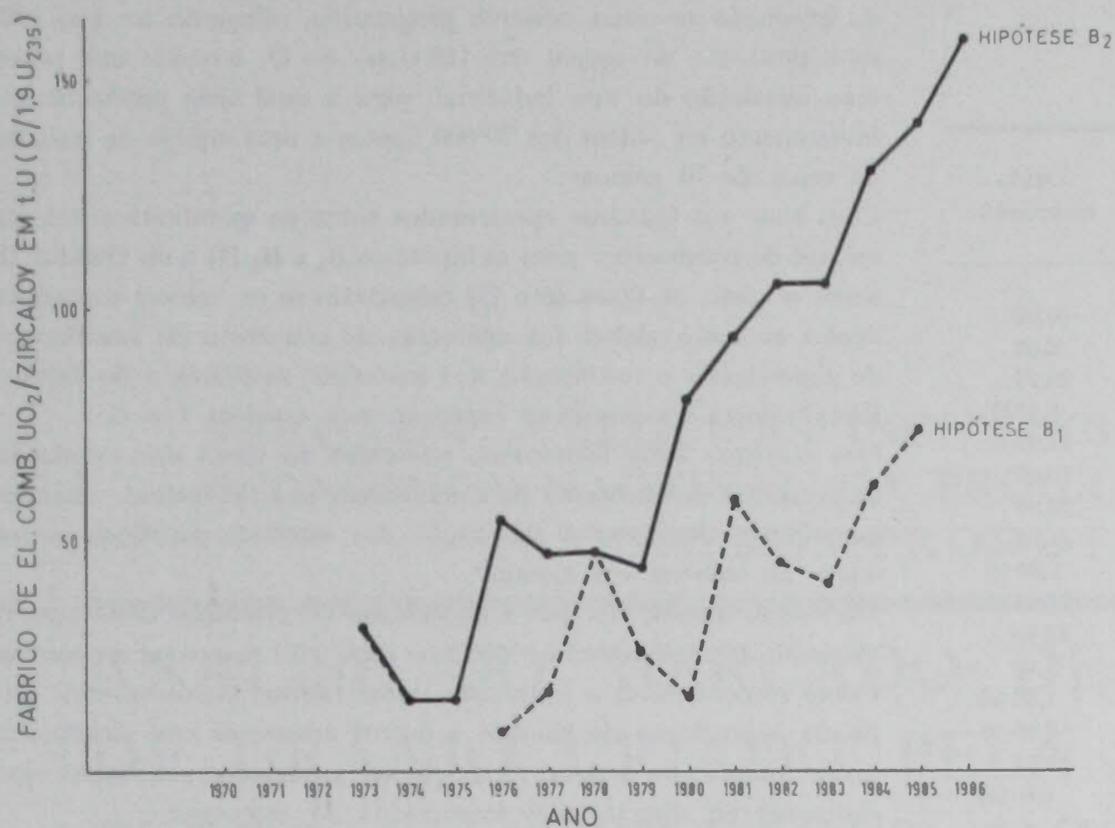


Fig. 1

Consideram-se atrás somente as instalações que usam o método hoje em dia mais generalizado na fabricação do elemento de combustível UO<sub>2</sub>/zircaloy ou seja o da prensagem-sinterização. No entanto, não queremos deixar de fazer referência a outros métodos como sejam o vibratório, «swaging» e coextrusão que poderão modificar o panorama presente quer quanto ao tipo de instalação quer ainda quanto ao custo de fabricação do próprio elemento de combustível [1.2.3].

Presentemente, o custo de fabricação adoptando o processo da prensagem-sinterização pode ser distribuído da seguinte forma:

Conversão do hexafluoreto	13,5 %
Sinterização e rectificação	14,5 %
Materiais auxiliares	31 %
Fabrico	41 %

#### QUADRO I

##### Hipótese B<sub>1</sub>

CUSTO DE FABRICO DO ELEMENTO DE COMBUSTÍVEL UO<sub>2</sub>/ZIRCALOY A PARTIR DE UO<sub>2</sub>

Anos	Quantidades elemento combustível em kg/ano de U		Valor em milhões de escudos	
	Por ano	Acumuladas	Por ano	Acumulado
1973	30 148	30 148	73 259	73 259
1974	15 074	45 222	36 629	109 889
1975	—	45 222	—	109 889
1976	8 222	53 444	19 979	129 868
1977	16 444	69 888	39 958	169 827
1978	46 592	116 480	113 218	283 046
1979	24 940	141 420	60 605	343 651
1980	15 799	157 220	38 393	382 044
1981	58 102	215 322	141 189	523 234
1982	44 673	259 996	108 555	631 790
1983	40 014	300 010	101 234	733 025
1984	61 117	361 127	148 514	881 540
1985	72 902	434 030	177 152	1 058 692
1986	—	—	—	1 058 692

Analizando agora as curvas obtidas (fig. 1) dos totais necessários em elementos de combustível em kg/ano de U às hipóteses B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> do ano 1973 até 1986, podem tirar-se as seguintes conclusões preliminares quanto à rendabilidade duma fabricação.

Para o caso da hipótese B<sub>1</sub>, as oscilações na fabricação em elementos de combustível apresentam-se bastante sensíveis, o que levaria a uma produção irregular e, portanto, economicamente desaconselhável. Mesmo que a fabricação respeitante aos anos 1973-1974 pudesse vir a ser considerada como um primeiro período experimental e, portanto, coberto por uma unidade do tipo correspondente (20-25 t/ano de U), o facto é que a produção dos anos 1980 e 1983, a qual teria que ser obtida numa unidade do tipo semi-industrial em virtude do nível de produção dos anos anteriores assim o exigirem, levaria ainda a uma solução economicamente desaconselhável.

Analizando a curva obtida para a hipótese B<sub>2</sub>, esta apresenta-se com um acréscimo de fabricação bastante mais regular e dela podemos extrair em primeira aproximação três períodos distintos.

No primeiro período que vai de 1973 a 1975 a produção média anual seria da ordem das 20 t/ano de U. Neste caso poder-se-ia satisfazer esta primeira fase de produção com uma instalação do tipo experimental, pois o equipamento e as instalações necessárias a uma tal capacidade seriam dum investimento relativamente pequeno (25 000 contos — 30 pessoas).

No segundo período, compreendido entre 1976-1979 a produção média anual sobe para um valor de cerca de 47 t/ano de U. Esta produção, como atrás fizemos referência, corresponde presentemente à capacidade de algumas instalações em diversos países europeus, as quais parecem possuir um grau de rendabilidade aceitável. Neste segundo período o investimento em instalações e equipamento seria da ordem de 45 000 contos e em pessoal ~ 40 pessoas (30 % com formação universitária).

#### QUADRO II

##### Hipótese B<sub>2</sub>

CUSTO DE FABRICO DO ELEMENTO DE COMBUSTÍVEL A PARTIR DE UO<sub>2</sub>

Anos	Quantidades elemento combustível em kg/ano de U		Valor em milhões de escudos	
	Por ano	Acumuladas	Por ano	Acumulado
1970	—	—	—	—
1971	—	—	—	—
1972	—	—	—	—
1973	30 148	30 148	73 259	73 259
1974	15 074	45 222	36 629	109 889
1975	15 074	60 296	36 629	146 519
1976	53 444	113 740	129 869	276 389
1977	46 592	160 332	113 218	389 607
1978	46 592	206 924	113 218	502 826
1979	43 028	249 952	104 559	607 386
1980	79 480	329 432	193 136	800 522
1981	92 909	422 342	225 770	1 026 293
1982	104 420	526 762	253 741	1 280 034
1983	104 420	631 183	253 741	1 533 776
1984	129 086	760 269	313 679	1 847 456
1985	138 952	899 222	337 655	2 185 111
1986	157 041	1 056 263	381 610	2 566 721

QUADRO III

CUSTOS BASE (dól./kg de U)

Designação	Metal natural	Óxido natural	Óxido enriquecido
Concentrado	17,42	17,42	20,80
Reinação e conversão	6,22	5,62	2,53
Separação isotópica (custo unitário)	—	—	30,00
Transporte matéria-prima	0,14 (a)	0,14 (a)	1,25 (b)
Conversão do hexafluoreto	—	—	11,00
Sinterização e rectificação	—	6,86	12,00
Materiais auxiliares	4,80	14,88	24,00
Fabrico	8,00	26,40	34,00
Transporte elementos de combustível	1,07 (c)	1,42 (c)	2,90 (c)
Transporte elem. comb. irradiados	—	—	24,00
Reprocessamento (encargo diário)	—	—	22,00
Conversão nitratos em hexafluoreto	—	—	5,60
Conversão nitratos em plutónio	—	—	1,50 (d)
Transporte hexafluoreto e plutónio	—	—	0,40 (e)
Crédito hexafluoreto urânio	—	—	24,04
Crédito plutónio	—	—	7,40 (d)

(a) 0,1 dól./kg de U, encargos de transporte + 2/1000 do valor transportado.  
 (b) 0,60 dól./kg de U, encargos de expedição da USAEC + 0,37 dól./kg de U, encargos de transporte + 2/1000 do valor transportado.

(c) 0,7 dól./kg de U, encargos de transporte + 1 % do valor transportado.  
 (d) por grama de plutónio produzido.

(e) 0,3 dól./kg de U, encargos de recepção na USAEC + 0,1 dól./kg de U, encargos de transporte.

Para o último período que começaria em 1980, onde o acréscimo da produção se torna bastante progressivo, atingindo no ano 1986 uma produção da ordem das 160 t/ano de U, ter-se-ia que prever uma instalação do tipo industrial, para a qual seria necessário um investimento da ordem dos 70 000 contos e uma equipa de trabalho de cerca de 70 pessoas.

Com base nos Quadros apresentados sobre os quantitativos em elementos de combustível para as hipóteses B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> [4] e no Quadro III sobre o custo de fabricação [5] calcularam-se os valores correspondentes ao custo global das operações de conversão do hexafluoreto de sinterização e rectificação dos materiais auxiliares e do fabrico. Esses valores encontram-se expressos nos quadros I e II.

Nos números atrás fornecidos, referentes ao custo das instalações de produção de elementos de combustível, não foi incluído qualquer quantitativo destinado à fabricação dos materiais auxiliares como sejam as bainhas em zircaloy.

No estado actual, em que a capacidade de produção deste tipo de elemento de combustível é ~ 50 t/ano de U não parece ser economicamente recomendável a instalação duma fábrica exclusivamente destinada à produção de bainhas e outros acessórios em zircaloy, os quais durante este período terão que ser produzidos por firmas especializadas ou directamente importados do estrangeiro.

Supõe-se que uma fábrica destinada exclusivamente ao fabrico de bainhas em zircaloy, com uma capacidade correspondente a 50 t/ano de U importaria em cerca de 60 000 contos. No entanto, no final do terceiro período da hipótese B<sub>2</sub> a montagem duma tal fábrica poderia vir a ser considerada.

A. A. OLIVEIRA SAMPAIO

Engenheiro Metalúrgico

Escola Politécnica — Estugarda (Alemanha)

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Fuel Element Fabrication*; Volumes 1 e 2. Proceeding of a symposium held in Vienna May 10-13, 1960.
- [2] *Metallurgy and Fuels*; Series v.
- [3] *The development and testing of UO<sub>2</sub> fuel elements for water reactor application* CEND-152.
- [4] MARQUES VIDEIRA, ROCHA CABRAL, MACHADO JORGE e CARREIRA PICH, Colóquio sobre a «Participação da produção termoelétrica na satisfação das necessidades nacionais de energia eléctrica» Secção 1 — Mercado de Combustíveis — 1.2 Combustíveis nucleares (1964).
- [5] ROCHA CABRAL, *Estrutura do custo do combustível nuclear. Custos directos*. Secção 2. Centrais térmicas: equipamento, exploração, custos (bases actuais e tendências).