



ESTUDO DA DISSOLUÇÃO DESCONTÍNUA DE ÓXIDOS DE URÂNIO

**Luiz Antonio Oliveira Bueno, Bertha Floh e
J. Adroaldo de Araújo**

**PUBLICAÇÃO IEA 523
IEA - Pub - 523**

DEZEMBRO/1978

CONSELHO DELIBERATIVO

MEMBROS

Klaus Reinach -- Presidente
Roberto D'Utra Vaz
Helcio Modesto da Costa
Ivano Humbert Marchesi
Adimar Cervellini

PARTICIPANTES

Regina Elisabete Azevedo Baretta
Flávio Gori

SUPERINTENDENTE

Rômulo Ribeiro Pieroni

ESTUDO DA DISSOLUÇÃO DESCONTÍNUA DE ÓXIDOS DE URÂNIO

**Luiz Antonio Oliveira Bueno, Berthe Floh e
J. Adroaldo de Araújo**

**CENTRO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CEQ - AUT - 078**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IEA

INIS Categories and Descriptors

B16

Uranium dioxide

U₃O₈

Fuel pellets

Dissolution

Nota: A redação, ortografia e conceitos são de responsabilidade dos autores.

ESTUDO DA DISSOLUÇÃO DESCONTÍNUA DE ÓXIDOS DE URÂNIO

Luiz Antonio Oliveira Bueno, Bertha Floh e
J. Adroaldo de Araújo

RESUMO

Estudou-se a dissolução de óxidos de urânio (UO_2 e U_3O_8) com HNO_3 , visando-se a coleta de dados experimentais, para elaboração e implantação desta fase no fluxograma de processo para o tratamento de combustíveis ou materiais irradiados. Simulou-se a fase de dissolução do fluxograma, utilizando-se pós e pastilhas de óxidos não irradiados. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente e à temperatura de ebulição da solução nítrica, com concentrações de HNO_3 variando de 1 a 12M, em condições estequiométricas e com excesso de ácido (100 a 300%). Os resultados mostraram que com HNO_3 6M dissolvem-se 10g de UO_2 ou de U_3O_8 num tempo de 10s e 60s, respectivamente, à temperatura de ebulição. Nestas mesmas condições, pastilhas compactas são dissolvidas em 29min ($U_3O_8 = 5g$) e 330 min ($UO_2 = 20g$).

I - INTRODUÇÃO

Para a elaboração de fluxogramas de processos contínuos, normalmente se utilizam os dados obtidos em operações descontínuas, desenvolvidas a fim de se conhecer o comportamento das variáveis dos sistemas. Assim sendo, neste trabalho, procurou-se simular a fase de dissolução de combustíveis ou materiais irradiados, com o objetivo de se acumular dados que permitam o estabelecimento do processo para o tratamento do urânio irradiado. Todos os experimentos foram realizados com pastilhas não irradiadas de óxidos de urânio.

O processo de dissolução pode ser elaborado considerando-se a dissolução do elemento combustível ou somente do combustível, sem os revestimentos. Em geral, dá-se preferência ao segundo procedimento, com exceção dos casos em que o combustível é constituído por placas de ligas urânio-alumínio, onde se faz a dissolução total, porque o alumínio irá favorecer a separação dos actínidos por extração com solventes.

Para óxidos de urânio usam-se ácidos minerais como agentes de dissolução, mais especificamente, o ácido nítrico, por sua eficiência e, especialmente, por ser o meio em que se desenvolve a separação dos actínidos.

Diversos pesquisadores^(4,6,7,11) têm estudado a dissolução de óxidos de urânio. Entretanto, é problemática a elaboração de um quadro característico do desempenho dos óxidos. Esta dificuldade advém do relacionamento existente entre o processo de fabricação do material de partida e a dissolução propriamente dita. Isto acontece, mesmo nos casos onde os materiais são oriundos da mesma betelada.

Alguns Aspectos Sobre o Mecanismo de Dissolução

As reações de dissolução caracterizam-se pelo ataque rápido do ácido à pastilha, seguindo-se um período onde a velocidade diminui acentuadamente. O fenômeno é bem visualizado quando se observa a

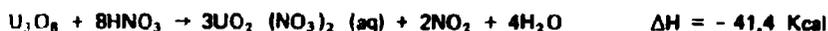
Aprovada para publicação em Dezembro/1978.

diferença entre os valores de velocidade inicial da reação e aqueles da velocidade média da reação^(6,11). Obtém-se um aumento na velocidade quando se aumentam a temperatura e a concentração do ácido nítrico^(1,4,5,7,8,9,10). A densidade da pastilha é também uma variável importante, ocorrendo um decréscimo na velocidade à medida em que a densidade aumenta^(6,9,10). Há diferenças na velocidade de reação, conforme a pastilha seja ou não irradiada, havendo um decréscimo na velocidade das dissoluções de materiais irradiados.

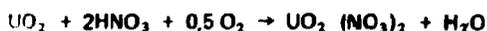
Alguns produtos intermediários da dissolução (NO, NO₂, e HNO₂) devem ser considerados. No caso de ácido diluído tem-se principalmente NO como produto. Utilizando-se ácido concentrado, o principal produto é NO₂. O NO formado é oxidado para ação do HNO₃ ou pelo oxigênio dissolvido, passando a NO₂. Este por sua vez dissolve-se em água dando origem a HNO₂ e HNO₃. Considerando a participação do NO₂ e do HNO₂ na redução de HNO₃, observa-se que o efeito do NO₂ é insignificante, tendo-se verificado que em soluções nítricas o (HNO₂) >> (NO₂)⁽⁸⁾. Shabbir⁽⁸⁾ considera o HNO₂ como auto-catalizador mais provável.

Após a dissolução o urânio encontra-se no estado de oxidação (VI), na forma de íon uranilo (UO₂⁺⁺) hidratado.

As reações globais de dissolução do U₃O₈ e UO₂⁽⁸⁾ são as seguintes:



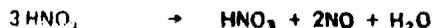
Nos casos de os "off-gases" serem oxidados e absorvidos e, ainda, reciclados continuamente para o dissolvente na forma de HNO₃, a equação pode ser representada^(1,2) por:



ou



Na recuperação do HNO₃ desenvolvem-se as seguintes reações⁽⁸⁾



Na ausência de oxigênio as reações mais prováveis são⁽⁷⁾:

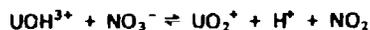
fase de equilíbrio heterogêneo:



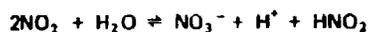
fase do equilíbrio em fase aquosa:



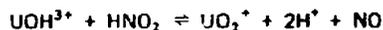
fase de oxidação-redução:



fase de desproporcionamento do NO_2



fase de propagação da oxidação-redução:



II – PARTE EXPERIMENTAL

Arranjo Experimental

Todos os experimentos realizaram-se com o mesmo arranjo experimental, mostrado na Figura 1.

Reagentes

UO_2 – pó – granulometria: 100 mesh; obtido por redução com hidrogênio, por 30 minutos, a $750^\circ C$; proveniente do Centro de Metalurgia Nuclear.

U_3O_8 – pó – granulometria: 65 mesh; obtido por calcinação a $750^\circ C$ durante 9 horas; proveniente do Centro de Metalurgia Nuclear.

UO_2 – pastilha -- proveniente do Centro de Metalurgia Nuclear, por compactação segundo as seguintes características:

esforço: 1,6 t
 temperatura: $750^\circ C$
 tempo: 4 horas
 compressão: 2160 kg/cm^2
 densidade: $9,806 \text{ g/cm}^3$

U_3O_8 – pastilha – proveniente do Centro de Metalurgia Nuclear, compactadas nas seguintes condições:

esforço: 25 t
 temperatura: $1000^\circ C$
 tempo: 14 horas
 compressão: 2650 kg/cm^2
 densidade: $7,09 \text{ g/cm}^3$

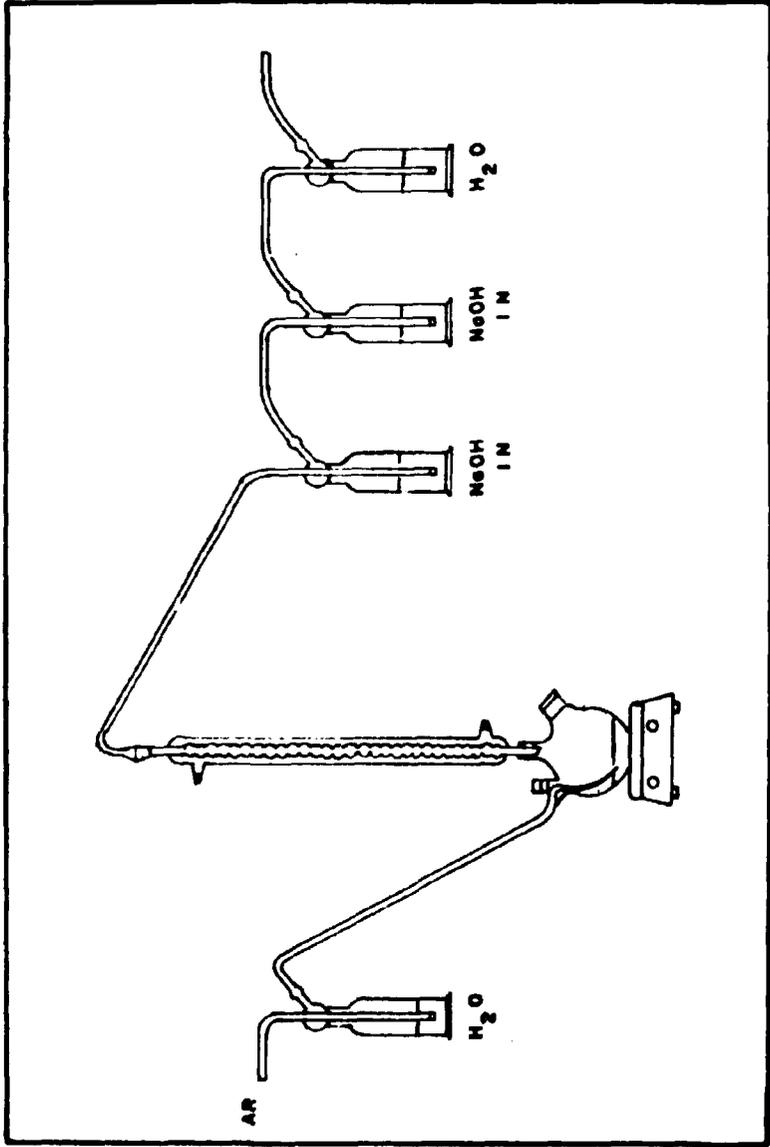
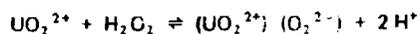


Figura 1 - Esquema do Arranjo Experimental para Dissolução de Óxidos de Urânio

Método Analítico

As concentrações de urânio foram determinadas pelo método potenciométrico de titulação do ácido liberado na formação de peróxido de urânio. O método analítico baseia-se na reação:



onde o ácido livre é titulado alcalimetricamente⁽³⁾.

Procedimento

Os experimentos desenvolveram-se à temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$) e à temperatura de ebulição ($\approx 100^\circ\text{C}$). Nas dissoluções dos óxidos sob a forma de pós, usaram-se massas constantes de 10 g, enquanto que as pastilhas tiveram massas de 5 a 20 g. As concentrações de ácido nítrico variaram de 1 a 14M, usando-se volumes estequiométricos e em excesso de 100 a 300%. Na dissolução dos óxidos sob a forma de pós empregou-se agitação magnética.

III – RESULTADOS

Para a caracterização da fase de dissolução dos óxidos de urânio estudaram-se as variáveis:— concentração e estequiometria do ácido nítrico, temperatura e tempo de dissolução. A seguir observaram-se os resultados, inicialmente, para os pós e em seguida, pastilhas compactadas.

Influência da Concentração e Quantidade de HNO_3 em Função do Tempo de Dissolução de Pós de UO_2 e U_3O_8

Todos os experimentos foram realizados com soluções de HNO_3 variando de 1 a 14M, à temperatura ambiente e ebulição ($\approx 100^\circ\text{C}$), usando-se quantidades estequiométricas e excessos de 100 a 300% HNO_3/U . As Tabelas I, II e III mostram os resultados, notando-se que à temperatura de ebulição, a velocidade de dissolução aumenta. Observa-se, igualmente, que um excesso de ácido não altera o tempo de dissolução dos pós de UO_2 à temperatura ambiente. Quanto à concentração do ácido, verifica-se que acima de 6M o tempo para dissolução é constante, nas dissoluções de UO_2 desenvolvidas à temperatura 100°C .

Para os pós de U_3O_8 , nota-se, como no caso do UO_2 , que a temperatura favorece a dissolução, enquanto que o excesso de ácido não interfere com os níveis de dissolução. O tempo de dissolução é praticamente inalterado, nos casos de concentrações de HNO_3 acima de 4M. Para ácidos 1 e 2M, com quantidades estequiométricas, notou-se que as soluções resultantes mostraram a presença de urânio-IV.

Pastilhas de U_3O_8

a) – Dissolução à temperatura ambiente.

Em temperatura ambiente a velocidade de dissolução de pastilhas de U_3O_8 é extremamente lenta. Para tanto, estabeleceu-se um limite de 50 horas, após as quais fez-se a determinação de porcentagem de urânio dissolvido. Em todos os casos, usou-se um excesso de 300% de ácido nítrico

Tabela I

Tempo de Dissolução de Pós de UO_2 e U_3O_8 , Variação da Concentração e Quantidade de HNO_3 .
Temperatura Ambiente. Massa dos Pós: 10 g

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	QUANTIDADE DE HNO_3 (excesso em %)	Rendimento de Dissolução (min)	
		U_3O_8	UO_2
1	esteq.	* 420	210
	100	* 420	370
	200	* 420	* 420
	300	* 420	* 420
2	esteq.	* 420	50
	100	* 420	75
	200	* 420	105
	300	* 420	120
4	esteq.	* 420	17
	100	* 420	18
	200	207	18
	300	155	18
6	esteq.	40	8
	100	50	7
	200	75	7
	300	90	7
8	esteq.	25	3,5
	100	23	3,0
	200	22	3,0
	300	23	3,0
10	esteq.	pptação	1,5
	100	11	1,5
	200	11	1,5
	300	11	1,5
12	esteq.	pptação	0,7
	100	6,5	0,7
	200	7,0	0,7
	300	6,5	0,7
14	esteq.	pptação	0,7
	100	4	0,7
	200	4	0,7
	300	4	0,7

(*) - Valor estabelecido por não haver dissolução completa.

Tabela II

Rendimento de Dissolução em Pós de UO_2 e U_3O_8 . Tempo de Reação: 420 min.
 Temperatura Ambiente. Massa dos Pós: 10 g

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	QUANTIDADE DE HNO_3 (excesso em %)	Rendimento de Dissolução (%)	
		U_3O_8	UO_2
1	esteq.	66,6	100,0
	100	64,2	100,0
	200	33,0	14,3
	300	30,1	8,1
2	esteq.	96,2	100,0
	100	96,5	100,0
	200	98,2	100,0
	300	98,8	100,0
3	esteq.	94,7	100,0
	100	97,7	100,0
	200	100,0	100,0
	300	100,0	100,0

Tabela III

Tempo de Dissolução de Pó de UO_2 e U_3O_8 . Variação da Concentração e Quantidade de HNO_3 .
 Temperatura de Ebulição ($\approx 100^\circ C$). Massa dos Pó: 10 g

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	QUANTIDADE DE HNO_3 (excesso em %)	Rendimento de Dissolução (min)	
		U_3O_8	UO_2
1	esteq.	15,0	5,0
	100	10,0	4,0
	200	5,0	3,5
	300	5,0	3,5
2	esteq.	8,0	3,5
	100	4,5	2,0
	200	3,0	1,5
	300	3,0	1,5
4	esteq.	3,0	1,5
	100	1,5	0,6
	200	1,5	0,5
	300	1,5	0,5
6	esteq.	1,0	0,5
	100	0,8	0,3
	200	0,8	0,3
	300	0,8	0,3
8	esteq.	0,3	0,2
	100	0,2	0,2
	200	0,3	0,2
	300	0,3	0,2
10	esteq.	0,2	0,2
	100	0,2	0,2
	200	0,2	0,2
	300	0,2	0,2
12	esteq.	0,2	0,2
	100	0,2	0,2
	200	0,2	0,2
	300	0,2	0,2
14	esteq.	0,2	0,2
	100	0,2	0,2
	200	0,2	0,2
	300	0,2	0,2

sobre a quantidade estequiométrica, utilizando-se injeção de ar e de nitrogênio para se promover a agitação, não havendo, nestas condições, influência sobre o tempo de dissolução, caso a atmosfera seja oxidante ou inerte. A Tabela IV mostra os resultados.

Tabela IV

Dissolução de Pastilhas de U_3O_8 . Influência da Concentração de Ácido Nítrico. Temperatura Ambiente. Tempo: 50 horas. Massa: 5 g

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	RENDIMENTO DE DISSOLUÇÃO (%)
1	7,2
2	47,0
4	89,0
6	89,3
8	93,1
10	93,0
12	94,2
14	94,1

b) – Dissolução à temperatura de ebulição.

Neste caso, além da variação da concentração de ácido nítrico, estudou-se a influência da relação HNO_3/U_3O_8 . Na Tabela V, tem-se os resultados. Vê-se, como nos casos já estudados, que o excesso de ácido não influencia o tempo de reação, notando-se apenas, uma leve redução do urânio nas soluções obtidas com quantidade estequiométrica de ácido.

Na Figura 2, tem-se a curva representativa da influência da concentração do ácido em função do tempo de dissolução de pastilhas de U_3O_8 . Utilizou-se HNO_3 100% em excesso sobre o estequiométrico, à temperatura de ebulição.

Pastilhas de UO_2

a) – Dissolução à temperatura ambiente

Considerando-se os resultados obtidos na dissolução de pastilhas de U_3O_8 , estabeleceu-se o mesmo tempo para a verificação do comportamento da dissolução, à temperatura ambiente, ou seja, 50 horas. Neste tempo foi estudada a influência da concentração de ácido nítrico usando-se uma quantidade de ácido correspondente a 300% de excesso sobre o valor estequiométrico e, ainda, usando-se injeção de ar. Na Tabela VI tem-se os resultados.

b) – Dissolução à temperatura de ebulição

A Tabela VII e Figura 3, mostram os valores obtidos na dissolução de pastilhas de UO_2 à temperatura de ebulição em função do tempo, concentração e quantidade de HNO_3 . Para as

Tabela V

Influência da Concentração e Quantidade de HNO_3 na Dissolução de Pastilhas de U_3O_8 . Massa: 5 g. Temperatura de Ebulição: $\approx 100^\circ\text{C}$

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	QUANTIDADE DE HNO_3 %	TEMPO DE DISSOLUÇÃO (min)
1	esteq.	140
	100	120
	200	120
	300	120
2	esteq.	66
	100	68
	200	66
	300	67
4	esteq.	43
	100	42
	200	43
	300	43
6	esteq.	29
	100	28
	200	26
	300	28
8	esteq.	22
	100	22
	200	22
	300	23
10	esteq.	15
	100	16
	200	16
	300	15
12	esteq.	18
	100	14
	200	13
	300	14
14	esteq.	29
	100	12
	200	11
	300	12

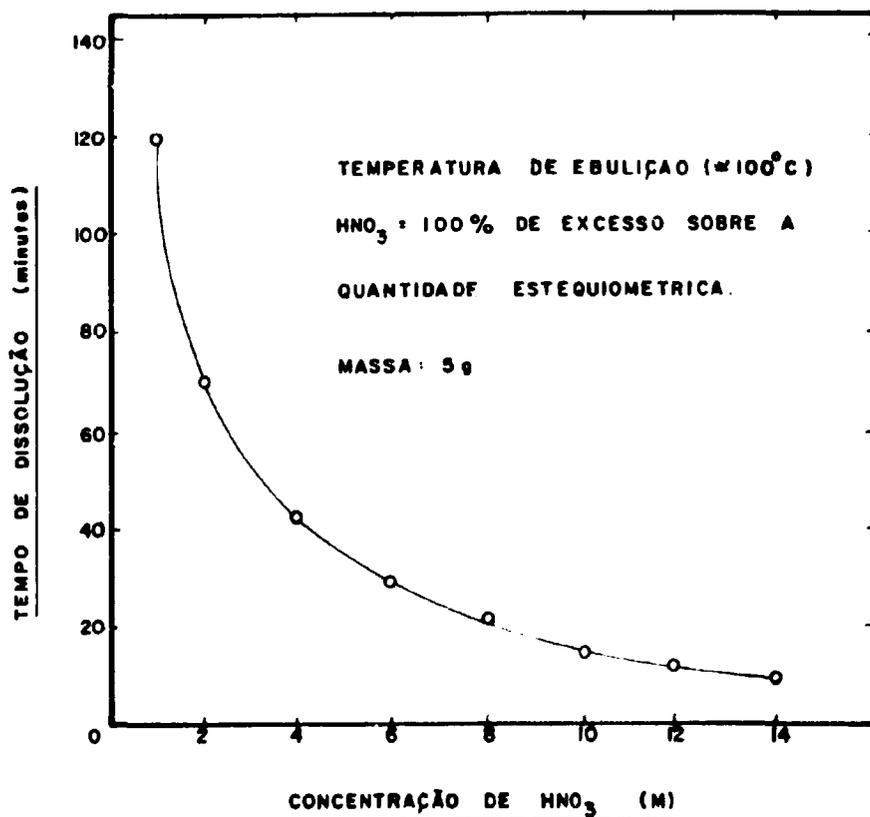


Figura 2 – Tempo de Dissolução de Pastilhas de U_3O_8 em Função da Concentração de HNO_3

Tabela VI

Dados de Dissolução de Pastilhas de UO_2 à Temperatura Ambiente. Influência da Concentração de HNO_3 em Função da Porcentagem de Urânio Dissolvido. Tempo de Dissolução: 50 horas. Excesso de 300% de HNO_3 Sobre o Estequiométrico

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	RENDIMENTO DE DISSOLUÇÃO (%)
1	3,0
2	7,3
4	18,7
6	30,3
8	43,6
10	60,2
12	67,0
14	69,8

Tabela VII

Varição do Tempo de Dissolução de Pastilhas de UO_2 em Função da Concentração e Quantidade de HNO_3 . Massa: 20 g. Temperatura de Ebulição: $\pm 100^\circ C$

CONCENTRAÇÃO DE HNO_3 (M)	QUANTIDADE DE HNO_3 (% excesso)	TEMPO DE DISSOLUÇÃO (min)	RENDIMENTO DE DISSOLUÇÃO %
1	esteq.	420	4,1
	100	420	3,8
	200	420	6,1
	300	420	4,7
2	esteq.	420	34,7
	100	420	37,0
	200	420	33,1
	300	420	40,1
4	esteq.	420	65,2
	100	420	63,2
	200	420	69,7
	300	420	62,0
6	esteq.	330	100,0
	100	335	100,0
	200	319	100,0
	300	326	100,0
8	esteq.	240	100,0
	100	250	100,0
	200	246	100,0
	300	239	100,0
10	esteq.	125	100,0
	100	120	100,0
	200	123	100,0
	300	123	100,0
12	esteq.	81	100,0
	100	75	100,0
	200	73	100,0
	300	80	100,0
14	esteq.	70	100,0
	100	65	100,0
	200	72	100,0
	300	68	100,0

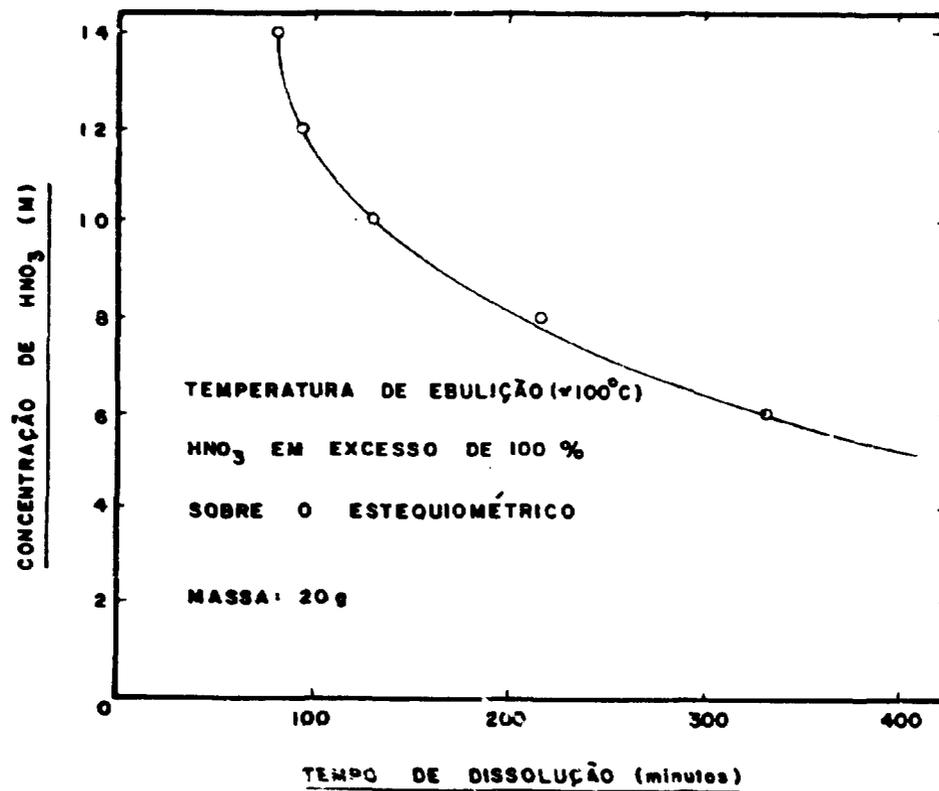


Figura 3 — Tempo de Dissolução de Pastilhas de UO₂ em Função da Concentração de HNO₃

concentrações 1, 2 e 4M estabeleceu-se o tempo de 7 horas, após o qual, se determinou as porcentagens de urânio na solução.

Dissolução de Pastilhas de UO_2 e U_3O_8 Rendimento e Dissolução

No reprocessamento é desejável o menor número de fases possíveis. Considerando-se que as soluções obtidas na dissolução serão usadas como alimentação do sistema de separação dos actínidos por extração com solventes e, que neste sistema a acidez livre das soluções, depende do tipo de fluxograma, situa-se entre 2 e 3M, estudou-se a variação do tempo de dissolução à temperatura de ebulição ($\approx 100^\circ C$), em função do rendimento de dissolução, representado pelos valores de porcentagem de urânio dissolvido. Para U_3O_8 usou-se concentrações de HNO_3 4, 6 e 8M e para UO_2 8, 10 e 12M. As soluções resultantes apresentaram acidez livre variando de 2,8 a 7,8, satisfatoriamente para o ajuste da concentração e alimentação do sistema de extração com solventes. Em todos os experimentos usou-se uma quantidade de HNO_3 correspondente a 100% sobre o valor estequiométrico e as operações se desenvolveram na ausência de agitação. As Figuras 4 e 5 representam as curvas resultantes dos experimentos.

IV – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Dos experimentos realizados observou-se que para pós, o tempo de dissolução é menor para o UO_2 em relação ao U_3O_8 , seja à temperatura ambiente, seja à ebulição. Notou-se que à ebulição, a concentração de ácido nítrico pode ser inferior àquela usada à temperatura ambiente, obtendo-se o mesmo rendimento. Para massas iguais, o UO_2 dissolve-se à temperatura ambiente em um tempo de 3,5 minutos com HNO_3 10M e à ebulição, neste tempo, necessita-se de um HNO_3 1M.

Os estudos referentes ao excesso de ácido mostraram que os valores permanecem praticamente inalterados seja em quantidades estequiométricas, seja com excesso de 300%. Em alguns casos, entretanto, o excesso deve existir por uma questão puramente de arranjo, pois volumes pequenos são insuficientes para cobrir a massa do pó.

Em relação às pastilhas, verificou-se que são necessários tempos mais longos para a dissolução, principalmente devido à diminuição da superfície de ataque. O tempo para a dissolução de pastilhas compactadas de U_3O_8 é inferior ao necessário à dissolução de pastilhas compactadas de UO_2 , possivelmente devido à diferença de esforços usados na compactação das amostras. Com HNO_3 6 a 10M obtém-se condições satisfatórias de tempo, à temperatura de ebulição, obtendo-se soluções finais que permitem com facilidade, um ajuste de concentração necessário às alimentações do sistema de separação dos actínidos por extração com TBP.

Observou-se que em concentrações elevadas de HNO_3 e temperatura de ebulição, o ataque é extremamente intenso, exigindo um sistema perfeito para a captação dos gases de dissolução

Verificou-se, igualmente, que a dissolução se caracteriza por um ataque rápido, seguido de um período onde a velocidade de reação cai sensivelmente. Este fenômeno relaciona-se, provavelmente, aos produtos intermediários de reação, com velocidades de reação mais lentas.

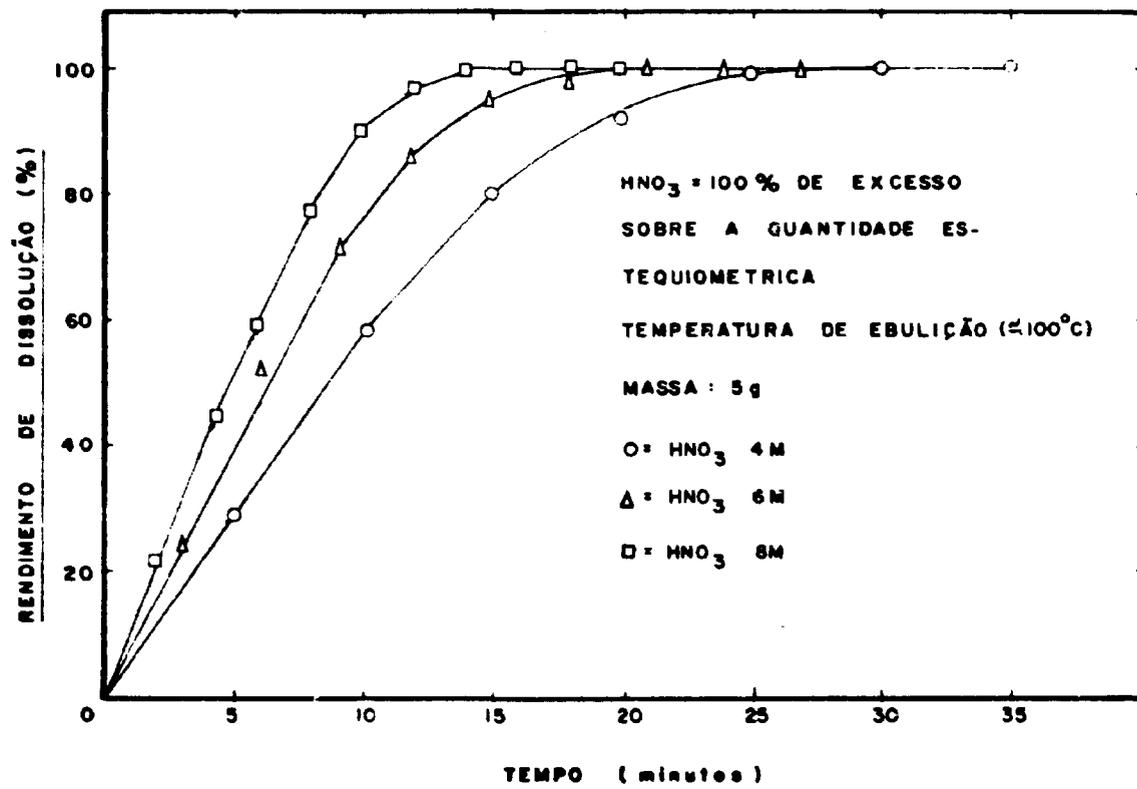


Figura 4 — Rendimento de Dissolução de Pastilhas de U_3O_8

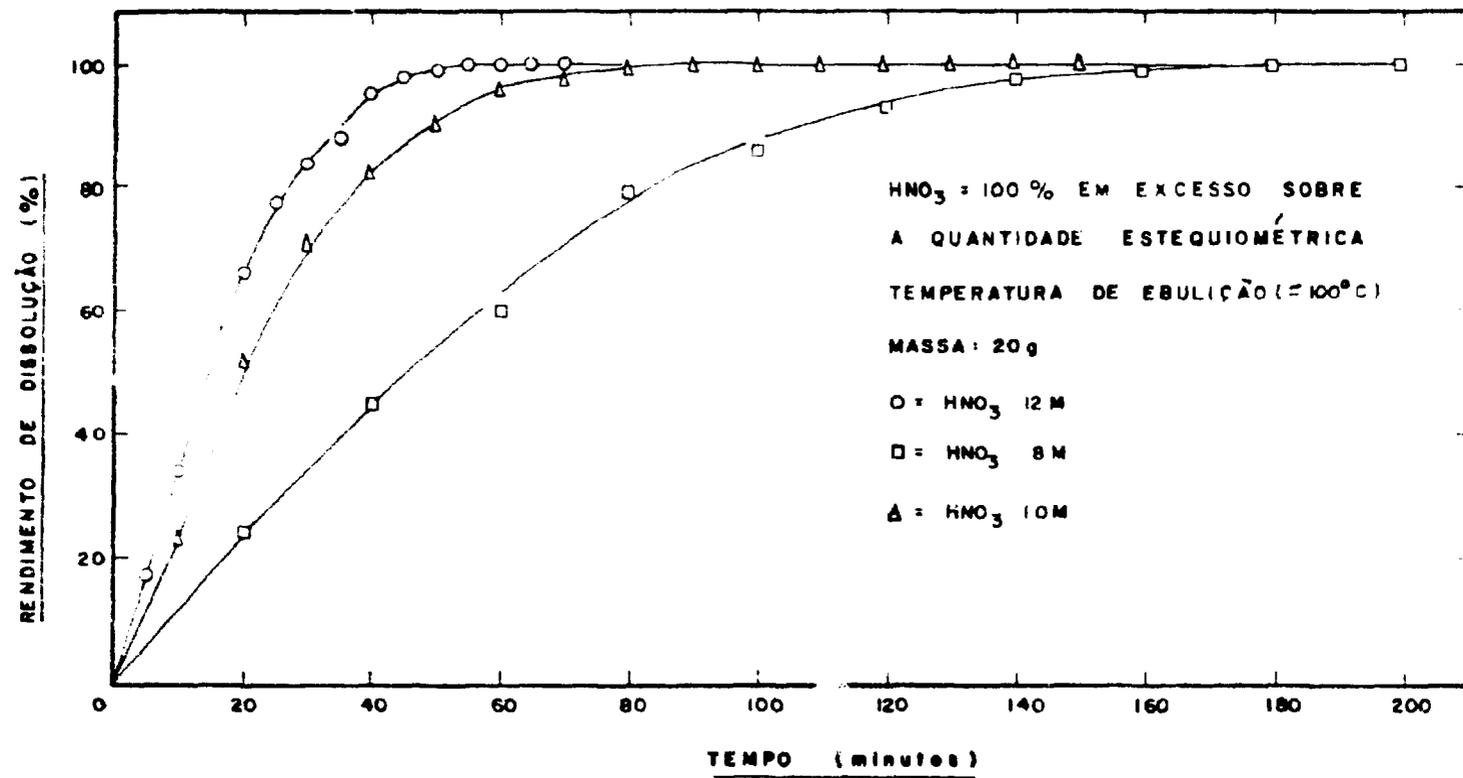


Figura 5 - Rendimento de Dissolução de Pastilhas de UO_2

ABSTRACT

Dissolution studies of UO_2 and U_3O_8 particles and pellets in nitric acid were carried out to find the best flowsheet conditions for treatment of irradiated materials. All experiments were accomplished with unirradiated oxides at room- and boiling point temperature of the nitric acid solutions; the acid molarity ranging from 1 up to 12M in stoichiometric and 100% up to 300% excess conditions. The UO_2 (10 g) and U_3O_8 (10 g) are easily dissolved (10 and 50s), respectively, at boiling point of 6M nitric acid solution. At the same conditions compacted pellets are dissolved in 29 min ($U_3O_8 = 5g$) and in 330 min ($UO_2 = 20g$).

V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARENDREGT, T. J. & COMPRIMO, N. V. Fuel dissolving and off-gas treatment. In: INSTITUT FOR ATOMENERGI. *Reprocessing of fuel from present and future power reactors: advanced course organized by the Netherland's-Norwegian Reactor School at . . . Norway 21st August - 1st September 1967*. Kjeller, s.d.l. p.74-86. (KR-126).
2. BLAINE, A. T. *Dissolution of power reactor fuel ores*. Richland, Wash., Hanford Atomic Products Operation, Aug. 1960. (HW-66320).
3. BRODDA, B. C. *Alkalimetrise Uranbestimmung bei Potentiometrische Indizierung*. Julich, Kernforschungsanlage, 1973. (Relatório interno).
4. FLAGG, J. F., ed. *Chemical processing of reactor fuels*. New York, N. Y., Academic, 1961.
5. KANEVSKII, E. A. & FILIPPOV, A. P. Factors determining oxidizing activity of nitric acid during the reaction with uranium dioxide. *Radiokhimiya*, 6A:732-7, 1964.
6. LONG, J. T. *Engineering for nuclear fuel reprocessing*. New York, N. Y., Gordon and Breach, 1967.
7. SHABIR, M. & ROBINS, R. G. Kinetics of the dissolution of uranium dioxide in nitric acid. I. *J. appl. Chem. (London)*, 18:129-34, May 1968.
8. SHABIR, M. & ROBINS, R. G. Kinetics of the dissolution of uranium dioxide in nitric acid. II. *J. appl. Chem. (London)*, 19:52-6, Feb. 1969.
9. URIARTE, A. L. & RAINEY, R. H. Dissolution of high density UO_2 , PuO_2 and PuO_2/UO_2 pellets in inorganic acids. *Trans. Am. nucl. Soc.*, 6:410-1, 1963.
10. URIARTE HUEDA, A.; BERBERAMA EZMENDI, M.; RAINEY, R. H. *Dissolution of nuclear fuels*. Madrid, Junta de Energia Nuclear, 1958. (JEN-201-DMA/1 22).
11. WHATLEY, M. E.; HAAS, P. A.; HORTON, R. W.; RYON, A. D.; SUDDATH, J. C.; WATSON, C. D. *Chemical Technology Division. United Operations Section monthly progress report for June 1960*. s.l.l., s.d.l., Oct. 1960. (CF-60-6-11) apud *Nucl. Sci. Abstr.*, 15(5):4801, Mar. 1961.



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal, 11049 - Pinheiros
CEP 05508
01000 - São Paulo - SP

Telefone: 211-6011
Endereço Telegráfico - IEATOMICA
Telex - 011-23592 IENA BR