

ENRIQUECIMENTO DE BORO-10

Célia Maria Campos Coutinho  
João Soares Rodrigues Filho  
Kiyoe Umeda  
Marcus Vinicius Echternacht

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR/DEPARTAMENTO DE QUÍMICA.

SUMÁRIO

O boro-10 é utilizado na indústria nuclear como absorvedor de neutrons, e nos medidores de fluxo de neutrons. O boro natural apresenta um teor de  $^{10}\text{B}$  de fração atômica 19,6%.

Foi projetada no IEN uma usina piloto de separação isotópica constituída por cinco colunas de troca iônica ligadas em série e órgãos anexos.

As colunas são carregadas com uma resina aniônica forte na forma básica.

O composto de boro utilizado é o ácido bórico que é introduzido em solução nas colunas até atingir um comprimento da banda suficiente para se obter uma determinada concentração isotópica de  $^{10}\text{B}$ .

O deslocamento da banda de ácido bórico é realizado pela injeção de uma solução diluída de ácido clorídrico, que desloca o ácido bórico ao longo das colunas. O percurso de equilíbrio da banda é proporcional ao comprimento estabelecido para a mesma.

O boro enriquecido em  $^{10}\text{B}$  se situa na fronteira final da banda e o boro empobrecido se acumula na parte inicial da zona de absorção (banda).

20 (CGM)

## ENRICHMENT OF BORON-10

### ABSTRACT

Boron-10 is used in nuclear industry as a neutron absorber and as neutron flux measurer. Natural boron presents atomic fraction 19,6% in boron-10.

A isotopic separation pilot plant with five ion exchange columns interconnected in series were designed and built in the IEN. The columns are charged with a strong anionic resin in its alkaline form.

The boric acid solution is introduced in the separation columns until it reaches a absorbing zone length which is sufficient to obtain the desired boron-10 isotopic concentration.

The boric acid absorbing zone movement is provided by the injection of a diluted hydrochloric acid solution, which replace the boric acid throughout the columns. The absorbing zone equilibrium length is proportional to its total length.

The enriched boron-10 and the depleted boron are located in the final boundary and in the initial position of the absorbing zones, respectively.

## INTRODUÇÃO

O boro natural é formado por dois isotopos estáveis de número de massa 10 e 11, cujas concentrações isotópicas são respectivamente iguais a 19,61% e 80,39%. (1)

A separação dos isotopos,  $^{10}\text{B}$  e  $^{11}\text{B}$ , tem importância considerável, na energia nuclear pelo fato de  $^{10}\text{B}$  apresentar uma seção de choque de neutrons térmicos da ordem de 4.000 barns, enquanto que a do  $^{11}\text{B}$  é inferior a 0,05 barns. (2) O  $^{10}\text{B}$  é utilizado principalmente, como elemento absorvedor de neutrons das barras de controle dos reatores. Como as dimensões dessas barras são limitadas devido à geometria dos elementos combustíveis, não se pode utilizar o boro natural que exigiria espessuras muito grandes para as mesmas. Daí a necessidade de se empregar o boro enriquecido em  $^{10}\text{B}$ .

O boro sob a forma de solução de ácido bórico também é empregado na água do circuito primário de arrefecimento dos reatores, para diminuir a reatividade inicial dos elementos combustíveis por ocasião da carga e recarga.

Uma outra utilização do boro enriquecido em  $^{10}\text{B}$  na indústria nuclear é na confecção de medidores de neutrons.

Na medicina nuclear, uma nova técnica terapêutica está sendo utilizada em alguns países, com vantagens para pacientes com tumores cerebrais malignos. Esta nova técnica denomina-se boro-neutronterapia e consiste em injetar um composto químico de boro-10 que tem afinidade com o tecido doente. A seguir, faz-se a incidência de um feixe de neutrons térmicos, focalizados no tumor, acarretando a produção de partículas alfa que destruirão as células doentes. (3)

O objetivo do nosso trabalho consiste na separação de isotopos de boro-10 por cromatografia de troca iônica em sistemas de colunas carregadas com resina aniônica forte.

O processo adotado permitirá obter-se no país compostos de boro

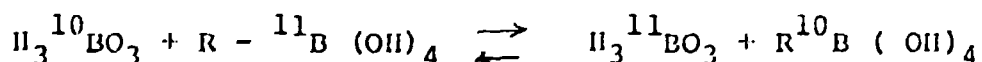
enriquecido. Atualmente todo o boro, mesmo natural, é importado, pois não há produção nacional desse elemento, sob qualquer forma ou composto. <sup>(4)</sup> O êxito dessa pesquisa, levando à sua produção, irá permitir ao Brasil a independência da importação de <sup>10</sup>B, de valor bastante elevado em relação ao boro natural, concorrendo, dessa forma, para o desenvolvimento do programa nuclear autônomo.

A separação de <sup>10</sup>B no IEN está sendo realizada numa usina piloto que foi construída, tomando-se como base os estudos da separação do <sup>10</sup>B desenvolvidos no CENA (Centro de Energia Nuclear para a Agricultura) em Piracicaba. <sup>(5)</sup>

#### UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO BÓRICO ENRIQUECIDO

A unidade é constituída de cinco colunas de diâmetro interno de 78 mm e altura de 1.300mm, ligadas em série e alimentadas por um sistema de recipientes pressurizados, conforme fluxograma anexo, figura 1. A resina utilizada é do tipo aniônica forte (Dowex -1 x -8 100-200 mesh).

A separação é baseada na diferença da constante de ionização destes dois isótopos em presença de resina. A reação pode ser representada por :



Assim, o <sup>10</sup>B fica preferencialmente retido na coluna.

O fator de separação depende da concentração do ácido bórico e da temperatura. <sup>(6)</sup>

A unidade foi desenvolvida com base na literatura <sup>(5)</sup>, utilizando-se como solução de alimentação ácido bórico 0,1 molar, eluente ácido clorídrico 0,05 molar em HCl e a temperatura ambiente. O comprimento médio da banda de absorção é de 3 metros e a velocidade média de deslocamento da banda de 1 cm/h.

## RESULTADOS

Através de resultados de análises isotópicas feitas nos espectrômetros de massa do IEN e IPEN/CNEN, em amostras retiradas podemos acompanhar o enriquecimento isotópico de boro-10 ao longo das colunas em função da localização na zona de absorção (banda) de boro.

A figura 2 apresenta curvas de enriquecimento de boro-10 obtidas em função da distância percorrida da banda, sendo plotado o tamanho da zona de absorção, onde 0% corresponde ao final e 100% ao início da banda, contra a concentração isotópica de  $^{10}\text{B}$  (atômica).

As tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mostram os valores correspondentes às curvas da figura 2.

O boro natural também foi analisado isotopicamente obtendo-se como resultado 20% (atômica) para o boro-10.

TABELA 1 : Curva 1

DISTÂNCIA PERCORRIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % $^{10}\text{B}$
7,58	50,0	20,05
8,13	30,0	20,04
8,85	10,0	20,76
10,57	1,0	46,39

TABELA 2 : Curva 2

DISTÂNCIA PERCORRIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % $^{10}\text{B}$
18,45	19,0	20,17
18,79	10,0	23,05
19,06	1,0	51,94
19,06	40,0	20,03
19,79	88,5	16,18

TABELA 3 : Curva 3

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % $^{10}_B$
24,99	4,0	42,78
24,99	40,0	20,04
25,11	1,2	68,28
25,11	37,0	20,06
25,57	20,0	20,27
25,57	59,0	20,01
25,57	96,0	5,71
25,99	83,0	17,95

TABELA 4 : Curva 4

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % $^{10}_B$
38,10	4,0	61,48
38,10	40,0	20,07
38,10	80,0	19,15
38,47	28,0	20,18
38,47	64,0	19,90
38,93	90,0	9,16

TABELA 5 : Curva 5

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % $^{10}_B$
56,93	18,0	24,71
57,36	39,0	19,58
57,56	31,0	20,03
58,17	10,0	47,47
58,51	5,7	84,66
60,90	78,0	14,20
61,39	62,0	19,89

TABELA 6 : Curva 6

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÂTOMO % $^{10}_B$
69,46	7,2	86,26
69,46	75,8	13,48
69,82	30,0	20,58
70,28	20,0	23,88
71,48	56,4	20,02
71,48	89,4	2,84
71,80	10,0	57,07

TABELA 7 : Curva 7

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÂTOMO % $^{10}_B$
83,44	35,0	20,23
83,76	70,0	13,81
83,76	30,0	20,58
83,94	25,0	21,19
83,94	60,0	18,82
84,32	15,0	39,01
84,46	80,0	8,56
84,46	10,0	74,11
84,46	8,6	82,23
84,71	39,0	20,35
85,38	19,7	26,00
85,38	85,0	4,93
86,56	90,0	1,93

TABELA 8 : Curva 8

DISTÂNCIA PERCOR- RIDA DA BANDA (m)	% DA BANDA A PARTIR DO FINAL	ÁTOMO % <sup>10</sup> B
108,51	16,53	49,60
108,51	13,77	65,82
108,75	11,30	82,56
108,75	9,89	87,31
108,75	9,18	90,40

RETIRADA DO PRIMEIRO PRODUTO DA UNIDADE DE SEPARAÇÃO DE BORO-10

Foram retirados os produtos enriquecidos e empobrecidos após a atingir 131,6 metros de percurso da zona de absorção de boro. A quantidade de produto enriquecido foi de 25 gramas em ácido bórico com teor médio de 93,5% em átomos de boro-10.

Foi injetado no sistema uma quantidade de ácido bórico natural correspondente aos produtos retirados.

Há previsão de retiradas de novos produtos após o boro atingir novamente a concentração isotópica desejada. Com os resultados das análises isotópicas dos produtos, pode-se prever a capacidade da usina e obter dados para projetos de novas colunas conforme a demanda de boro-10.



## AGRADECIMENTOS

Ao grupo do espectrômetro de massa do IPEN e do IEN pela contribuição nas análises isotópicas, para o acompanhamento do trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

1. BENEDICT M.; PIGFORD, T.H.; LEVI, H.W. - Nuclear Chemical Engineering - Mc Graw-Hill Book Company, New York, Second Edition, 1981, pg. 941.
- 2 - HUGHES D.J.; J.A.HARVEY - Neutron Cross Section - Mc Graw-Hill Book Company, New York, Second Edition, 1955, pg 3.
- 3 - Boletim de Informações nº 068, junho de 1988, IPEN; CNEN, São Paulo, Brasil.
- 4 - MELLOR, J.W. - A comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry, Longman, New York, First Edition, 1980, volume V.
- 5 - MORTATTI, J; CARNEIRO Jr. F; VICTORIA, R.L. - Enriquecimento de Boro-10, Relatório Técnico Científico, CENA/USP, 1985.
- 6 - RUIZ SAENZ DE MIERA, A.; URGELL COMAS; M.M.; IGLESIAS LOPEZ, J. - Separacion de los isotopos estables del boro por Cromatografia de intercâmbio iônico.1 - Determinacion de factores de separación.  
IN: Junta de Energia Nuclear, 580(1):3-11,1985.

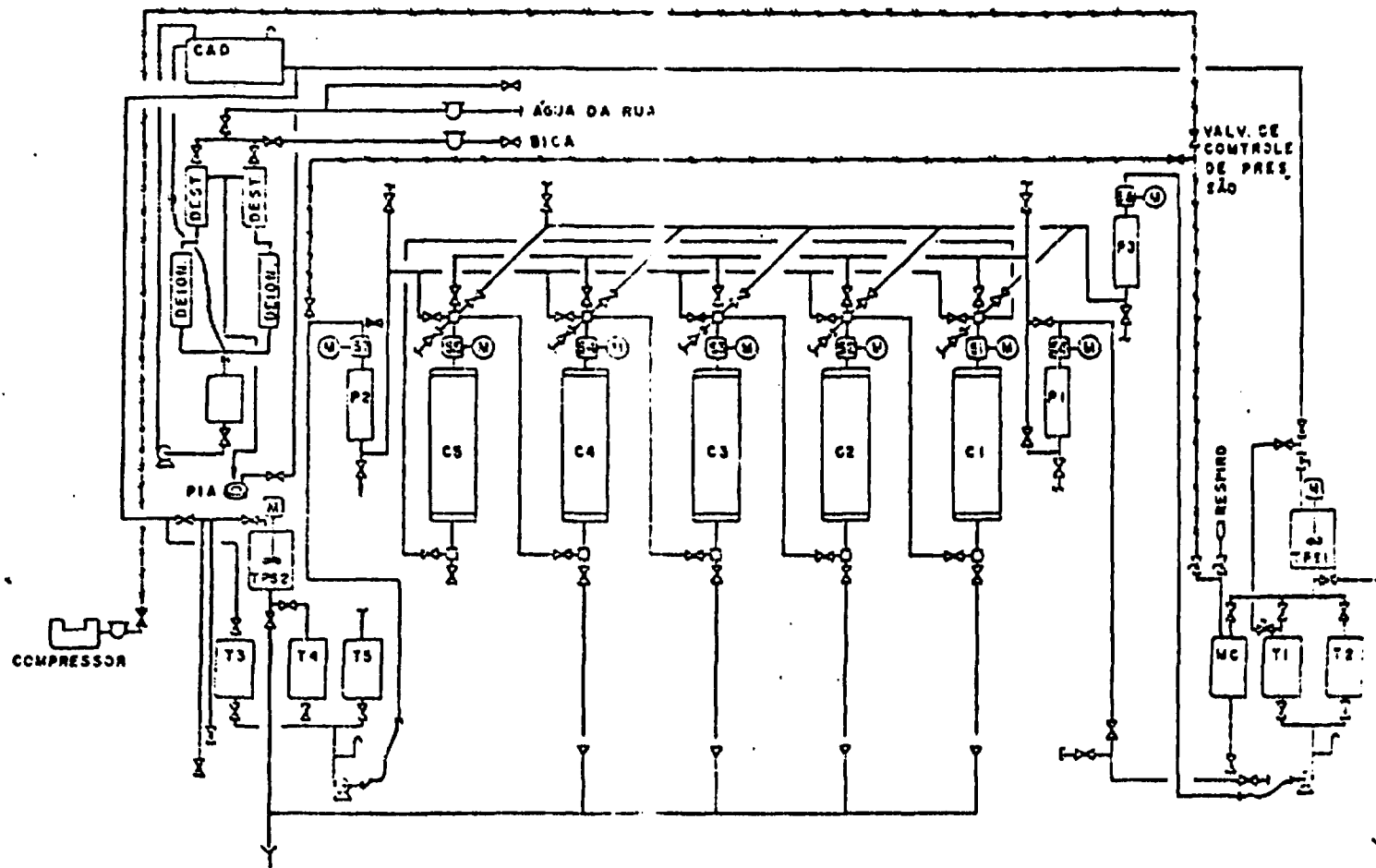


FIG.1: FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO ENRIQUECIMENTO DE B-10.

% DA BANDA

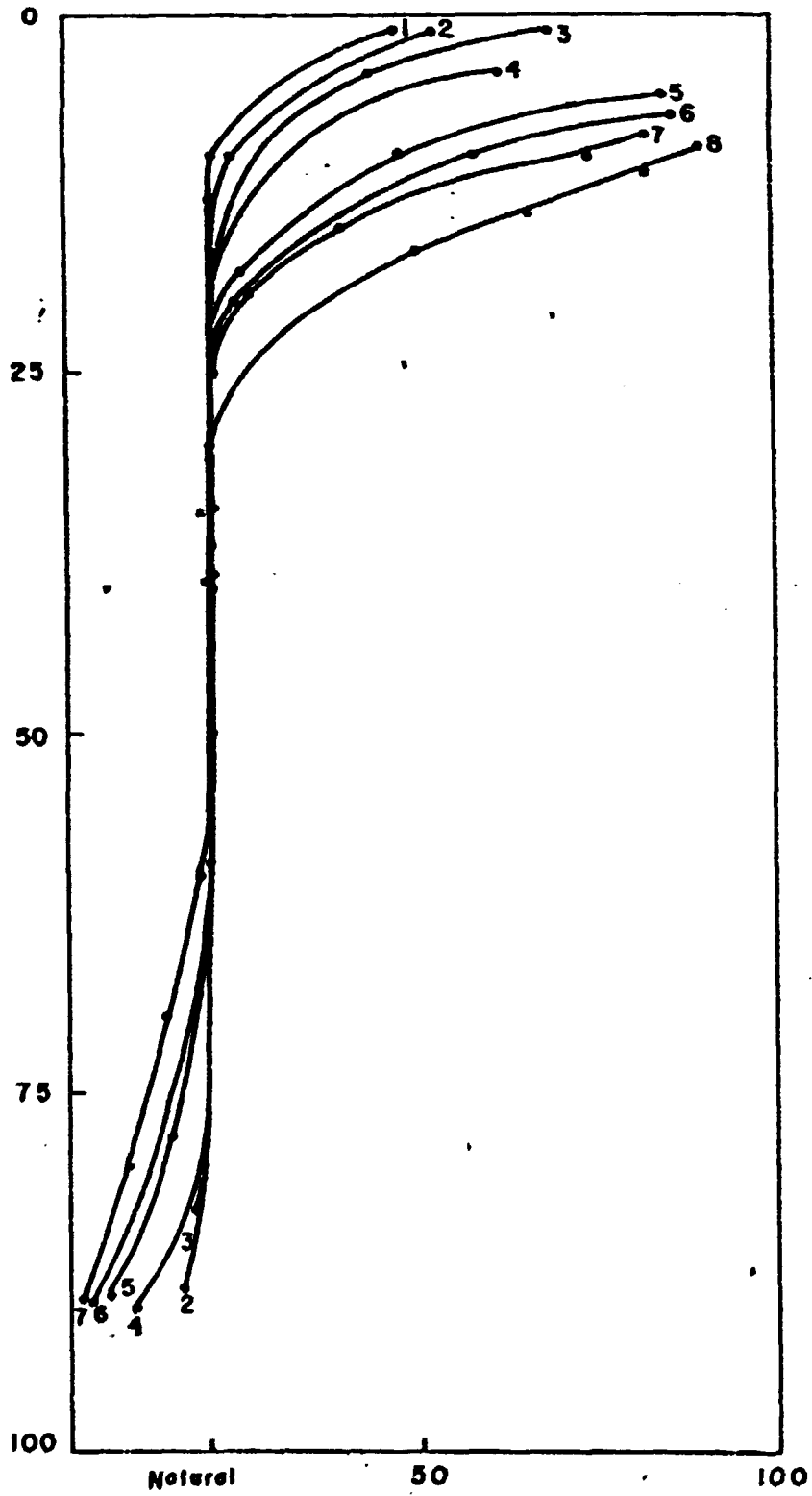


FIG. 2 - ENRIQUECIMENTO DE BORO-10 % B-10