

- CDTN - LABRE - NT - 004 / 80.

BR 92 30349

TITULO

ROTEIRO PARA IRRADIAÇÕES NO REATOR TRIGA IPR-R1

NOTAS COPIADAS

OBJETIVO

Informar aos usuários internos e clientes externos o roteiro para irradiações no Reator TRIGA IPR-R1.

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO

RESUMO E CONCLUSÕES

- SUPED
- DEAD.PD
- DEAT.PD
- DERL.PD
- DETM.PD
- DETQ.PD
- DETR.PD
- DETS.PD
- DIQUI.PD
- LABRE.PD (3)
- SEDOE.PD

O objetivo da presente nota é fornecer detalhes sobre o reator, solicitação de irradiações, locais de irradiação, transporte de radioisótopos, blindagens, e condições de pagamento.

Todos os procedimentos necessários à solicitação de irradiações são aqui apresentados em todos os detalhes para que haja maior presteza no atendimento aos usuários.

ÍNDICE

1. Introdução
2. Características principais do Reator TRIGA IPR-R1
3. Locais de Irradiação
4. Recipientes de Irradiação
5. Procedimentos para Solicitação de Irradiações
6. Embalagens
7. Custos de Irradiação e Condições de Pagamento
8. Fórmula utilizada para o Cálculo de Atividade no Reator.
9. Bibliografia.

Nº COPIAS

AUTOR (ES)	VISTO	DATA	APROVAÇÃO	VISTO	DATA
Maretti Jr, Fausto	<i>[Assinatura]</i>	01/09/80	CHEFE DA DIVISÃO	<i>[Assinatura]</i>	01/09/80

CLASSIFICAÇÃO

1. INTRODUÇÃO :

O reator do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear é um reator de pesquisa do tipo TRIGA MARK I, com utilização voltada para a pesquisa, formação de pessoal, análise por nêutron ativação e produção de radioisótopos.

A presente Nota Técnica se destina a prestar, em linguagem simples para as pessoas não familiarizadas no ramo, informações detalhadas sobre as irradiações no reator TRIGA IPR-R1 e os procedimentos necessários para solicitação de radioisótopos.

São apresentados todos os procedimentos necessários para solicitação de irradiações no reator, tipos de blindagens utilizadas, normas para despacho terrestre e aéreo, condições de pagamento e lista de isótopos disponíveis com suas respectivas atividades de saturação.

2. O REATOR TRIGA IPR-R1 :

O reator TRIGA MARK I IPR-R1 do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/NUCLEBRAS S/A, foi construído pela Gulf General Atomic e opera atualmente até a potência de 100 kW.

O núcleo é composto por elementos combustíveis de urânio enriquecido a 20% e pelo refletor de grafita. O reator tem como moderador principal o hidreto de zirconio e como moderador adicional a água leve desmineralizada utilizada na refrigeração do núcleo.

A refrigeração do reator é feita através de um sistema trocador de calor acoplado a uma torre de refrigeração.

Três barras de carbeto de boro (BC_4) são utilizadas para o controle do reator. A configuração atual do núcleo consta de cinco anéis concentricos contendo 58 elementos combustíveis, com moderador e 27 elementos falsos de grafita.

São quatro os dispositivos de irradiação de amostras e produção de radioisótopos no reator: tubo central, mesa giratória, e dois terminais pneumáticos.

3. LOCAIS DE IRRADIAÇÃO :

Tendo como principais utilizações a análise por nêutron ativação e a produção de radioisótopos, o reator TRIGA IPR-R1, possui quatro locais de irradiações de amostras, a saber: Tubo Central, Mesa Giratória, e os Terminais Pneumáticos 01 e 02.

A tabela 01 apresenta os fluxos térmicos e rápidos dos locais de irradiação, e a figura 01 a distribuição do núcleo.

3.1. Tubo Central

O tubo central é composto por um tubo de alumínio que desce à região central do núcleo e que permite irradiações sob o fluxo de nêutrons térmicos máximo do reator, que é da ordem de $4,3 \times 10^{12} \text{ n. cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

No tubo central são comumente irradiadas amostras de Br 82 e Au 198 para aplicação industrial; P 32 para aplicação didática e Hf 181 para utilização em Laboratório de Correlação Angular.

É no tubo central que são irradiadas todas as amostras de meia vida longa e as de maior atividade, uma vez que o fluxo nesta região é 6,5 vezes maior que o da Mesa Giratória, que descreveremos no item seguinte.

3.2. Mesa Giratória

A mesa giratória está alojada entre o núcleo e o refletor de grafita, comportando 80 receptáculos de amostras em 40 posições distintas. Cada posição da mesa comporta duas amostras, uma sobre a outra, havendo uma diferença de fluxo de cerca de 30% entre as duas amostras. A amostra colocada em cima da outra é irradiada a um fluxo 30% menor.

Um "pick up" eletromagnético acoplado a um sistema de manivela permite colocar as amostras em cada uma das quarenta posições da mesa.

A mesa sofre rotação em torno do núcleo permitindo que

as amostras colocadas em seu interior sejam irradiadas sob um fluxo de nêutrons uniforme e da ordem de $6,6 \times 10^{11}$ n. $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na mesa giratória são irradiadas amostras para análise por ativação radioquímica de minérios, soluções, água, filtros, sangue, etc. Dado a facilidade de manipulação do sistema, são irradiadas também amostras para análise de meias vidas curtas.

3.3. Terminal Pneumático nº 1

Através da sucção de ar, o sistema pneumático nº 1, constituído de uma ventoinha e um sistema de válvulas apropriadas, permite introduzir e retirar rapidamente amostras no reator.

O terminal de irradiações se localiza no último anel do núcleo, mais precisamente no anel F, na posição F 12. (Fig. 1). É utilizado principalmente na dosagem de minério de urânio, embora eventualmente, seja utilizado para irradiação de meias vidas curtas.

O fluxo de nêutrons térmicos no terminal pneumático nº 1 é da ordem de $1,7 \times 10^{12}$ n. $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

O tempo de irradiação das amostras no terminal pneumático nº 1 foi otimizado para 50 segundos, controlado automaticamente por um sistema modular, o qual controla também o tempo de contagens de 40 segundos.

3.4. Terminal Pneumático nº 2

Com um funcionamento idêntico ao do terminal pneumático nº 1, esse terminal acha-se localizado junto à face externa do refletor de grafita, permitindo também a introdução e retirada rápida de amostras.

O fluxo de nêutrons térmicos no local é da ordem de $1,8 \times 10^{11}$ n. $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Na dosagem de minério de urânio, esse terminal apresenta vantagens sobre o outro, uma vez que as dosagens praticamente não sofrem interferência da presença de tório devido a baixa relação do fluxo de nêutrons rápidos, sobre os térmicos.

Esse terminal de contagens está acoplado a um sistema de microprocessadores que permite no caso de dosagem de minério de u r â n i o, conhecer-se imediatamente o resultado em ppm das amostras irradiadas, comparadas com um padrão.

O tempo de irradiação, espera e contagem do terminal são controlados pelo sistema de microprocessador, que poderão em caráter extraordinário serem alterados, pois o sistema também permite o controle manual da amostra.

4. RECIPIENTES DE IRRADIAÇÃO :

Todas as amostras irradiadas no reator, são colocadas em tubos de poliestileno, que por sua vez são colocadas em outra porta amostra apropriado.

O recipiente porta-amostra, poderá ser de alumínio ou de poliestireno, dependendo do local de irradiação e do tempo de irradiação. Os tubos de poliestileno utilizados nas irradiações são fornecidos aos usuários que necessitarem utilizar-se dos diversos locais de irradiação do reator. A manipulação e colocação dos materiais nos recipientes porta-amostras é competência exclusiva dos técnicos do reator.

O desenho detalhado dos tubos com suas medidas é mostrado nas Figuras 02 e 03. A Tabela 02 mostra o volume útil de cada tipo de tubo, e os locais onde podem ser utilizados.

Apresentamos a seguir a especificação do recipiente de irradiação para cada local de irradiação.

4.1. Tubo Central

Para irradiações no tubo central, as amostras são colocadas em um tubo de alumínio fechado com tampa também de alumínio. Quando se tratar de amostras líquidas, as mesmas são acondicionadas em um tubo de poliestileno (Fig. 02-I), seladas a fogo, testadas e colocadas no porta amostra de alumínio. Quando a amostra irradiada tiver que ser transportada para outro local, a irradiação do material deverá ser feita em tubo de poliestireno selados (Fig. 03-II). Esses tu

bos já foram testados sob vácuo e aprovados segundo as normas da Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA (1).

Os tubos de poliestileno (Fig. 02-I) utilizados nas irradiações de material líquido não poderão ser irradiados por períodos superiores a 12 horas, pois os mesmos se tornam muito frágeis e quebradiços.

Para os tubos de poliestireno (Fig. 03-II), utilizados em irradiações de material a ser transportado, esse limite é de 10 horas, não sendo permitidas irradiações acima desse limite pelas mesmas razões apresentadas para o outro tubo.

O preparo das amostras que são irradiadas no tubo central é também realizado pelos técnicos do reator.

4.2. Mesa Giratória

As amostras irradiadas na mesa giratória são colocadas em tubos de poliestileno (Fig. 02 - I e II) lacradas a fogo, que por sua vez são colocados em porta amostras de poliestireno (Fig. 03-II).

O fechamento das amostras a fogo é necessário para que não haja contaminação da mesa giratória. Eventualmente amostras sólidas poderão ser irradiadas diretamente nos recipientes porta amostras de alumínio (Fig. 03-I) comumente utilizados para irradiações no tubo central.

O limite de tempo de irradiação para os tubos de poliestileno e os porta amostras de poliestireno na mesa giratória é de aproximadamente 40 horas.

4.3. Terminais Pneumáticos 1 e 2

As amostras irradiadas nos terminais pneumáticos são colocadas em pequenos tubos de poliestileno (Fig. 02-III), que por sua vez são colocadas em outro tubo de poliestileno maior (Fig. 02-II). O espaço restante do tubo maior é preenchido com algodão para evitar a saída da tampa do tubo menor. Esse segundo tubo é então lacrado a fogo e colocado no recipiente porta amostra de poliestireno (rabbit) (Fig. 3-III)

A pesagem das amostras e o preparo inicial das mesmas são feitos pelos técnicos da Divisão de Química. O preparo final e a colocação das amostras nos recipientes porta amostras continua na competência dos técnicos do reator.

5. PROCEDIMENTOS PARA SOLICITAÇÃO DE IRRADIAÇÕES :

5.1. Solicitação

A solicitação de irradiação deve ser feita à Superintendência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear em Belo Horizonte, através de carta, telex ou telegrama, onde devem constar :

- . NOME DO INSTITUTO, ORÇÃO OU INSTITUIÇÃO REQUERENTE
- . NOME DO SOLICITANTE
- . DATA E NÚMERO DO REGISTRO NO DEPARTAMENTO DE INSTALAÇÕES NUCLEARES/CNEN.
- . FÓRMULA QUÍMICA DA SUBSTÂNCIA (ALVO) A SER IRRADIADO
- . ISÓTOPO DESEJADO.

Além do pedido formal através de carta, o solicitante deve incluir uma ficha de PEDIDO DE IRRADIAÇÃO (Figs. 04 e 05), preenchida com dados pertinentes à natureza da irradiação.

É da competência do solicitante o preenchimento dos campos 1 e 5 da ficha, que deverá ser anexada ao material a ser irradiado e entregue ao Laboratório do Reator, através do seguinte endereço:

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
Cidade Universitária - Pampulha
Belo Horizonte - MG - Brasil
CEP 30.000 - C.P. 1941
Telegrama - REATÔMICO
Telex 031-1173 - Tel.: 441-5422

5.2. Blindagem

O solicitante deve fornecer, quando pertinente, a blindagem de contenção para o isótopo solicitado. Essa blindagem deve

ser qualificada pela Divisão de Tratamento de Rejeito Radioativo conforme procedimentos descritos no item 6.

Quando o solicitante não possuir a blindagem, essa Divisão prestará as informações necessárias para a construção de uma que atenda às normas de segurança estabelecidas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

5.3. Transporte

O CDTN despachará o material irradiado para o solicitante, por via aérea ou terrestre, desde que atenda às normas de segurança da "REGULATIONS FOR THE SAFE TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS" (1) editada pela AIEA e adotadas no Brasil pela CNEN.

A responsabilidade do CDTN, quanto à entrega do material radioativo, cessa no momento da entrega do mesmo para o despacho.

Quando se tratar de despacho aéreo, o material deverá atender também as exigências contidas nas Normas da IATA para transporte aéreo de material radioativo (2) e a NOSER IAC-2223 do Ministério da Aeronáutica - Departamento de Aviação Civil, em vigor desde 01/10/74 (3).

6. EMBALAGENS

O CDTN, não fornece embalagens para o transporte de material irradiado no reator. As embalagens necessárias deverão ser providenciadas pelo solicitante obedecendo às normas do Safety Series nº 6 (1) para transporte de Material Radioativo.

Normalmente são utilizadas embalagens do tipo A ou então embalagens para material radioativo isento das prescrições contidas em (1).

6.1. Embalagens do Tipo A

As embalagens do tipo A são submetidas a uma série de testes específicas e realizadas pela Divisão de Tratamento de Rejeito Radioativo, do CDTN (4).

Quando o solicitante não possuir a embalagem esta Divisão poderá fornecer o detalhamento necessário para a sua construção.

As embalagens do tipo A não devem conter atividades maiores que as abaixo relacionadas:

- a. para fontes seladas - A1
- b. para qualquer tipo de material irradiado-A2

Os valores de A1 e A2, são dados na TABELA 03

6.1.1. Testes em embalagens do tipo A

Todas as embalagens utilizadas nos despachos de material irradiado, serão submetidas à seguinte sequência de testes (4).

1. TESTE DE "SPRAY" DE ÁGUA

Finalidade : Simular uma chuva de intensidade média.

2. TESTE DE QUEDA LIVRE

Finalidade : Simular a queda de uma embalagem desde o veículo até uma superfície resistente.

3. TESTE DE COMPRESSÃO

Finalidade : Simular as condições de sobrecarga, devido a outros volumes durante a estocagem e transporte da embalagem.

4. TESTE DE PENETRAÇÃO

Finalidade : Simular o choque da embalagem contra qualquer elemento pontiagudo do veículo.

5. TESTE PARA VERIFICAÇÃO DA INTEGRIDADE DA CONTENÇÃO

Finalidade : Verificar se a contenção retém seu conteúdo radioativo sob uma redução de pressão de até $0,25 \text{ Kg/cm}^2$ e se após os testes anteriores não houve perda ou dispersão do conteúdo radioativo e nem aumento do nível de radiação na superfície externa.

6. TESTE PARA VERIFICAÇÃO DA INTEGRIDADE DA BLINDAGEM

Finalidade : Verificar, com uma fonte de Ir-192 ou com o isótopo desejado, se houve ou não perda da capacidade da blindagem; caso haja, são feitas medidas que deverão ser comparadas com os valores estabelecidos pelas normas da AIEA.

6.2. Embalagens para Material Isento

As embalagens para material radioativo que não se enquadrarem dentro das especificações do item anterior, serão fornecidas pelo CDTN. Esses materiais serão despachados dentro de embalagens que satisfaçam as normas da AIEA.

7. CUSTOS DE IRRADIAÇÃO E CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

Obtida a devida autorização do Sr. Superintendente, poderá ser enviado por carta ou telefone o respectivo orçamento. Após a execução dos serviços os custos diretos de irradiações são elaborados pelo Laboratório do Reator, sendo então encaminhados à Divisão Financeira para a respectiva cobrança. São os seguintes os procedimentos para o pagamento das irradiações feitas no reator para clientes externos :

1. Emissão do Pedido de Serviço (PS)

O Pedido de Serviço para cliente externo é emitido pelo Laboratório do Reator mediante apresentação da ficha de irradiação devidamente preenchida e aprovada. O mesmo é então enviado à Divisão Financeira para ser processado.

2. Emissão da Ordem de Serviço (OS)

A Ordem de Serviço é emitida pela Divisão Financeira após emissão do PS pelo Laboratório do Reator. O pagamento da fatura/duplicata correspondente à OS, deverá ser feito à vista para os clientes não cadastrados e em 30 dias para os clientes cadastrados por esta Divisão.

Para os clientes que desejarem, poderá ser emitida uma OS inicial com um depósito superior ao das irradiações pedidas. O

custo das irradiações realizadas posteriormente serão debitadas automaticamente do saldo credor do cliente.

8. FÓRMULA UTILIZADA NO CÁLCULO DE ATIVIDADES NO REATOR

Para o cálculo das atividades desejadas ou o tempo de irradiação necessário, com o reator operando a 100 kW, utiliza-se a seguinte fórmula (5).:

$$A(t,100) = 1,07 \times 10^4 \frac{a.m.\sigma}{A} (1 - e^{-0,69 t/T}) \cdot L$$

ou : $A(t,100) = A_s \cdot m (1 - e^{-0,69 t/T}) \cdot L$

onde : A (t,100) - Atividade em mCi, após um tempo de irradiação a 100 kw.

- a - Fração de abundância isotópica
- m - Massa do elemento alvo (g)
- σ - Seção de choque de ativação do isótopo alvo (b)
- A - Número de massa do isótopo alvo
- t - Tempo de irradiação
- T - Meia vida do isótopo formado
- A_s - Atividade específica saturada na Mesa Giratória a 100 kW (mCi/g) (Tabela 4)
- L - Fator de fluxo para cada local de irradiação :
 - MG - 1,0
 - TC - 6,6
 - PN - 1,7 (Tabela 1)

Quando ocorre desintegração do isômero superior X com a formação de um isômero inferior radioativo Y, tem-se :

$$\frac{dX}{dt} = N\sigma_1\phi - \lambda_1 X ; \frac{dY}{dt} = N\sigma_2\phi + \lambda_1 X - \lambda_2 Y$$

onde N é o número de átomos de isótopo alvo.

As atividades dos isômeros são :

$$A_1 = \lambda_1 X = N\sigma_1\phi(1 - e^{-\lambda_1 t}) = A_{s1}(1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad e$$

$$\lambda_2 Y = N\theta(\sigma_1 + \sigma_2)(1 - e^{-\lambda_2 t}) + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} N\sigma_1\theta(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad \text{ou}$$

$$A_2 = \lambda_2 Y = (As_1 + As_2)(1 - e^{-\lambda_2 t}) + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} As_1 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

1º Caso: $\lambda_1 \gg \lambda_2$

$$A_1 = As_1 (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad \text{e} \quad A_2 = (As_1 + As_2)(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

2º Caso: $\lambda_2 \gg \lambda_1$

$$A_1 = As_1(1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad \text{e} \quad A_2 = As_1(1 - e^{-\lambda_1 t}) + As_2(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

3º Caso: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$

$$A_1 = As_1 (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{e} \quad A_2 = (As_1 + As_2)(1 - e^{-\lambda t}) - As_1 \lambda t e^{-\lambda t}$$

9. BIBLIOGRAFIA

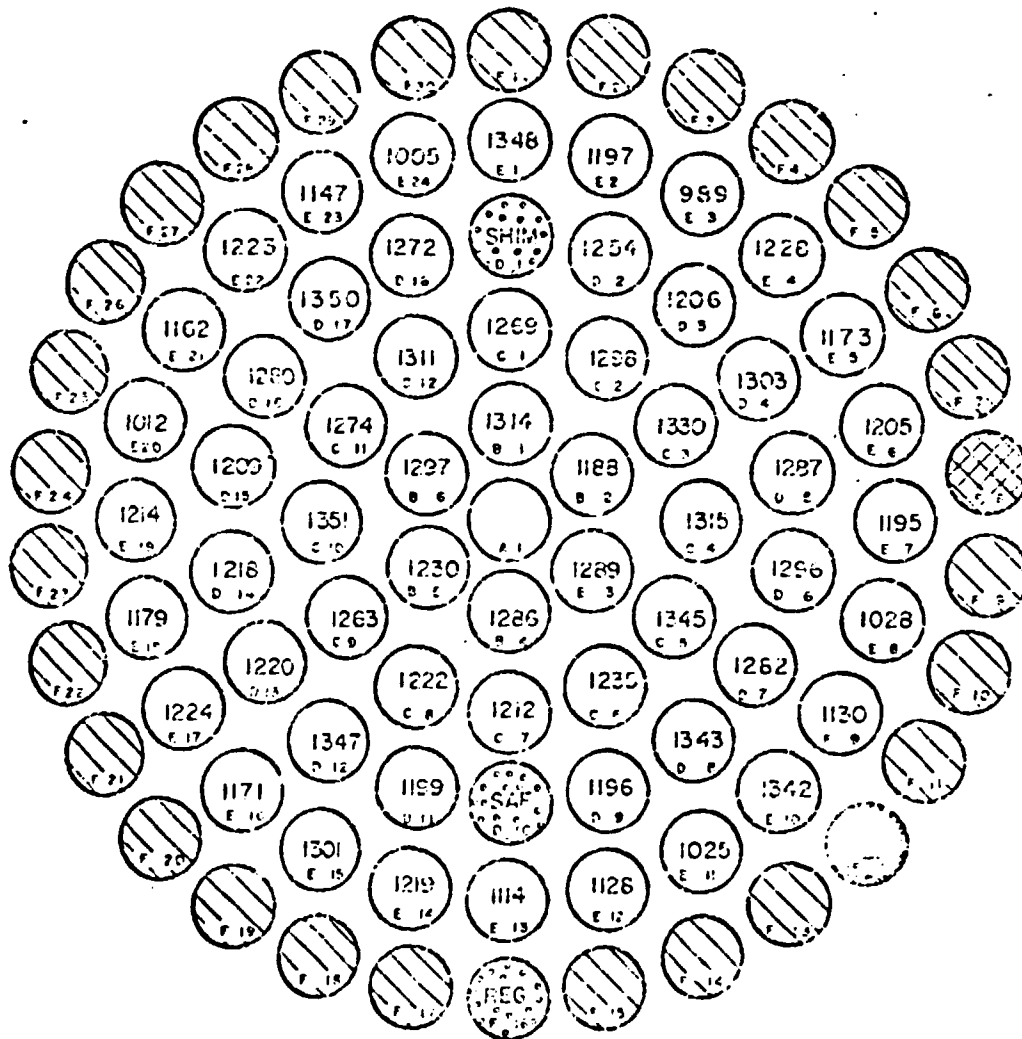
- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna. Regulation for the safe transport of radioactive materials, rev. ed., " Vienna, 1973. (IAEA, Safety series nº 6).
- [2] INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, Geneva. Seventeenth Edition IATA Restricted Articles Regulations. Geneva, 1974/June.
- [3] MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA/DEPTO DE AVIAÇÃO CIVIL (DAC), " Transporte de artigos considerados restritos, em aeronaves civis, NOSEF. IAC-2223, 1974.
- [4] SANTOS, Paulo Oliveira et MOURÃO Rogério Pimenta. Projeto e Construção de embalagem tipo A, Belo Horizonte CDTN, 1979 44 p. Nota Técnica DITRR 003/79.
- [5] ANDRADE E SILVA, Virgílio Mattos de. Fórmula para cálculo de atividades no reator IPR-R1 a 100 kW, Belo Horizonte. IPR, 1975, 2 p. Publicação interna do Reator.
- [6] ANDRADE E SILVA, Virgílio Mattos de. Irradiações no Reator IPR-R1, Belo Horizonte, IPR, 1975. 6 p. Nota Técnica R-01/75.
- [7] RODRIGUES, Clovis Walter. Aspectos de radioproteção e segurança nuclear relativos à ampliação da potência do reator IPR-R1. Belo Horizonte, IPR, 1972, 174 p.

DIAGRAMA DO NÚCLEO DO REATOR

CORE LOADING DIAGRAM ON DECEMBER 31 st, 1979

(IPK - R1 REACIÖR)

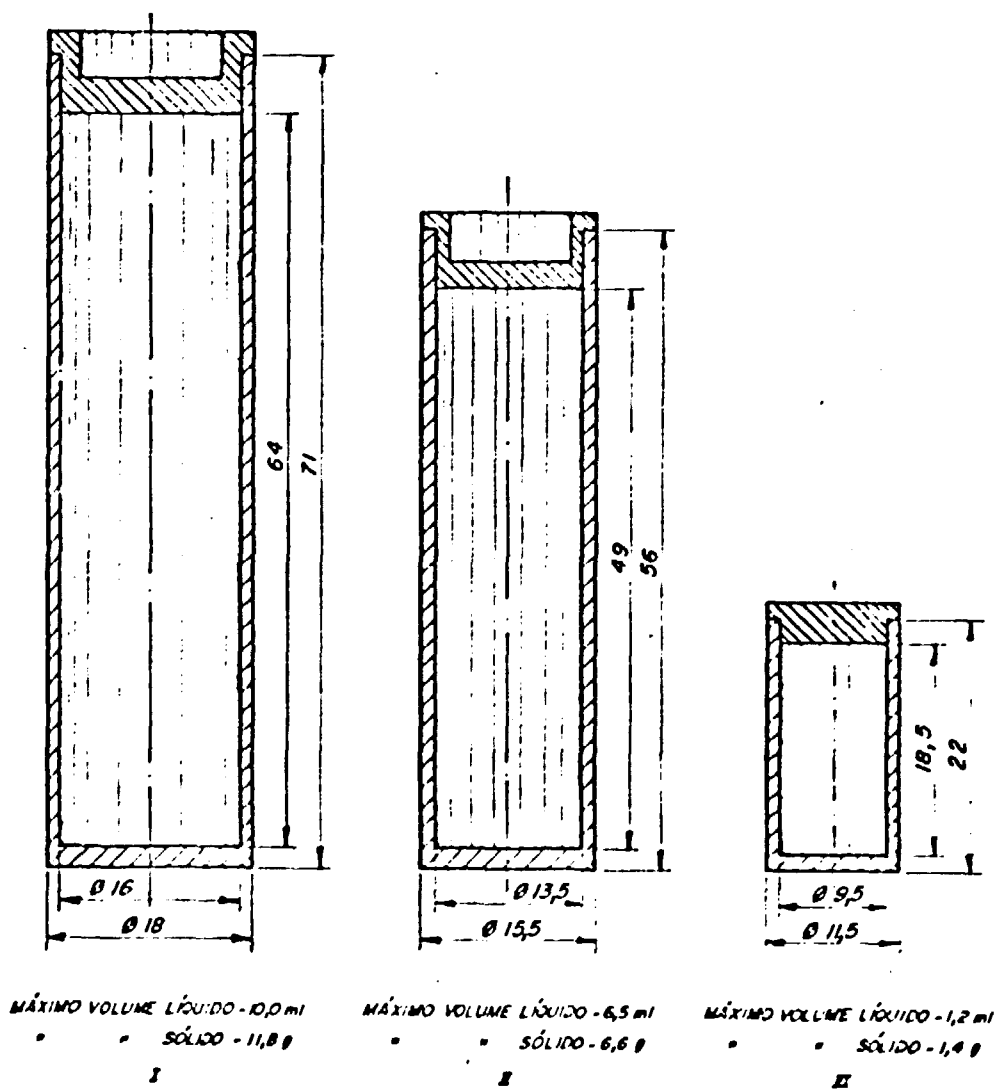
○ ROTARY-SPECIMEN-RACK DRIVE SHAFT



- CONTROL ROD
- SOURCE ELEMENT
- PNEUMATIC SYSTEM
- FULL ELEMENT
- GRAPHITE ELEMENT

FIGURA 01

TUBOS PARA IRRADIAÇÃO DE AMOSTRAS



OBS: PARA AMOSTRAS LÍQUIDAS, AS TAMPAS DOS TUBOS DE POLIETILENO DEVERÃO SER LACRADAS A FOGO

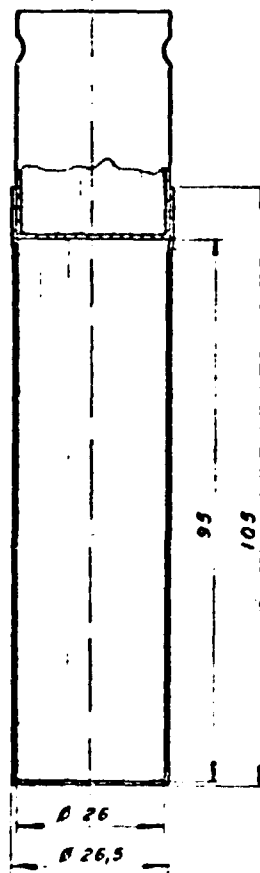
FIGURA 02

PORTA AMOSTRA

TUBO CENTRAL

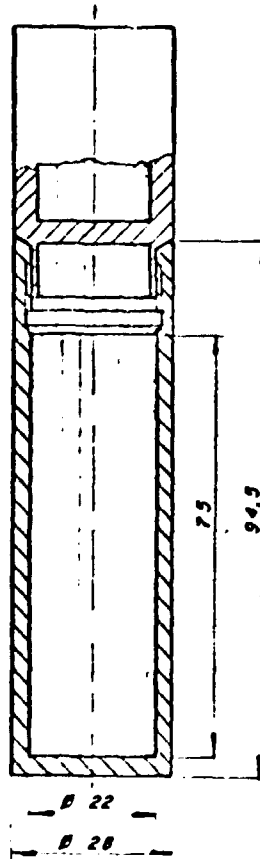
MESA GIRATORIA

TERMINAL PNEUMÁTICO



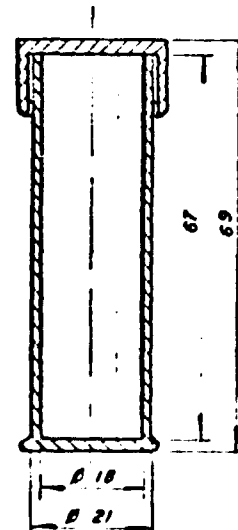
TUBO DE ALUMÍNIO

I



TUBO DE POLIESTIRENO

II



TUBO DE POLIESTIRENO

III

FIGURA 03

NUCLEBRÁS

Empresas Nucleares Brasileiras SA

PEDIDO DE IRRADIAÇÃO

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
Cidade Universitária - Pampulha
Belo Horizonte - MG - Brasil
CEP: 31200 - CP: 1141
Telegrama - REATÔMICO
Telex 031-1173 - Tel. 441-5422

1. PARA USO DO SOLICITANTE

Alvo Isótopo desejado

substância Meia vida

Massa elemento Atividade

Número de amostras

Estado físico

Uso do radioisótopo

Tempo de irradiação previsto

Observações:

..... Data

Solicitante

2. PARA USO DO LABORATÓRIO DO REATOR

Frasco Potência

Recipiente Tempo

Fechamento Atividade calculada

Local de irradiação

Outras atividades

Observações:

RS nº

Visto

3. PARA USO DA DIVISÃO DE RADIOPROTEÇÃO

Radintoxidez Classe

Entrega autorizada? Autorização nº

Observações:

Visto

4. PARA USO DO SUPERVISOR DO REATOR

Colocação de amostra Data Hora

Retirada Data Hora

Observações:

Visto

Em / / 19

Alvo Isótopo desejado

Número de amostras

Atividade

Data de irradiação

Data de devolução

Observações:

.....

.....

.....

.....

FICHA DE PEDIDO DE IRRADIAÇÃO - FRENTE

FIGURA 04

"FLUXOS TÉRMICOS E RÁPIDOS NOS LOCAIS DE IRRADIAÇÃO"

LOCAL DE IRRADIAÇÃO	FLUXO TÉRMICO (n Cm ⁻² . s ⁻¹)	FLUXO RÁPIDO (n Cm ⁻² . s ⁻¹)
Tubo Central	4,3 x 10 ¹²	1,4 x 10 ¹²
Mesa Giratória	1,6 x 10 ¹¹	4,7 x 10 ¹⁰
Terminal Pneumático 01	1,7 x 10 ¹²	-
Terminal Pneumático 02	1,8 x 10 ¹¹	-

TABELA 01

VOLUME ÚTIL DOS TUBOS E PORTA AMOSTRAS
DE IRRADIAÇÃO

TUBO	VOLUME SÓLIDO	VOLUME LÍQUIDO
Poliétileno I	11,8 g	10,0 ml
Poliétileno II	6,6 g	6,5 ml
Poliétileno III	1,4 g	1,2 ml
PORTA AMOSTRA	VOLUME SÓLIDO	VOLUME LÍQUIDO
Alumínio I	55 g	Não se aplica
Poliestireno II	34 g	Não se aplica
Poliestireno III	22 g	Não se aplica

TABELA 02

VALORES DAS ATIVIDADES A_1 e A_2 PARA RADIONUCLÍDEOS

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	A_1 (Ci)	A_2 (Ci)	Specific activity (Ci/g)
^{228}Ac	Actinium (89)	1000	0.003	7.2×10^5
^{227}Ac		10	4	2.2×10^6
^{108}Ag	Silver (47)	40	40	3.1×10^6
^{110m}Ag		7	7	4.7×10^7
^{111}Ag		100	100	1.6×10^7
^{241}Am	Americium (95)	8	0.008	3.2
^{243}Am		8	0.008	1.9×10^{-1}
^{39}Ar (compressed or uncompressed)	Argon (18)	1000	1000	1.0×10^5
^{41}Ar (uncompressed)		20	20	4.3×10^7
^{41}Ar (compressed)		1	1	
^{75}As	Arsenic (33)	1000	400	2.4×10^6
^{76}As		20	20	1.0×10^5
^{77}As		10	10	1.6×10^6
^{77}As		300	300	1.1×10^6
^{211}At	Astatine (85)	200	7	2.1×10^6
^{197}Au	Gold (79)	200	200	9.3×10^5
^{198}Au		30	30	1.2×10^5
^{199}Au		40	40	2.5×10^5
^{199}Au		200	200	2.1×10^5
^{137}Ba	Barium (56)	40	40	8.7×10^6
^{138}Ba		40	10	4.0×10^7
^{140}Ba		20	20	7.3×10^6
^9Be	Beryllium (4)	300	300	3.5×10^5
^{209}Bi	Bismuth (83)	5	5	9.9×10^6
^{210}Bi	Bismuth (cont.)	10	10	0.6×10^7
^{212}Bi (RaF)		100	4	1.2×10^5
^{212}Bi		6	6	1.5×10^7
^{247}Bk	Berkelium (97)	1000	1	1.8×10^7
^{81}Br	Bromine (35)	6	6	1.1×10^6
^{12}C	Carbon (6)	1000	100	4.6
^{45}Ca	Calcium (20)	1000	40	1.9×10^6
^{47}Ca		20	20	5.9×10^5
^{109}Cd	Cadmium (48)	1000	70	2.6×10^5
^{115m}Cd		30	30	2.6×10^6
^{113}Cd		80	80	5.1×10^5
^{139}Ce	Cerium (58)	10	100	6.5×10^7
^{140}Ce		300	200	2.8×10^6
^{142}Ce		60	60	6.6×10^5
^{144}Ce		10	7	3.2×10^5
^{251}Cf	Californium (98)	2	0.002	3.1

TABELA 03

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	$A_1(Cl)$	$A_2(Cl)$	Specific activity (Ci/g)
^{32}Cl		7	0.007	1.3×10^3
^{34}Cl		2	0.002	6.6×10^3
^{36}Cl	Chlorine (17)	300	30	3.2×10^{-3}
^{38}Cl		10	10	1.3×10^3
^{248}Cm	Curium (96)	200	0.2	3.3×10^3
^{247}Cm		9	0.009	4.2×10^3
^{246}Cm		10	0.01	8.2×10^3
^{245}Cm		6	0.006	1.0×10^{-1}
^{244}Cm		6	0.006	3.6×10^{-1}
^{60}Co	Cobalt (27)	5	5	3.0×10^3
^{60}Co		90	90	8.5×10^3
^{60m}Co		1000	1000	5.9×10^3
^{57}Co		20	20	3.1×10^3
^{60}Co	Cobalt (cont.)	7	7	1.1×10^3
^{52}Cr	Chromium (24)	600	600	9.2×10^3
^{137}Cs	Caesium (55)	1000	1000	1.0×10^5
^{134m}Cs		1000	1000	7.4×10^5
^{134}Cs		10	7	1.2×10^3
^{132}Cs		1000	60	8.6×10^{-4}
^{131}Cs		7	7	7.4×10^3
^{137}Cs		30	9	9.8×10^3
^{64}Cu	Copper (29)	80	80	3.8×10^3
^{165}Dy	Dysprosium (66)	100	100	8.2×10^3
^{164}Dy		1000	200	2.3×10^3
^{169}Er	Erbium (68)	1000	300	8.2×10^3
^{167}Er		60	60	2.4×10^3
^{152m}Eu	Europlum (63)		30	2.2×10^3
^{152}Eu		20	20	1.0×10^3
^{154}Eu		10	5	1.5×10^3
^{153}Eu		400	90	1.4×10^3
^{19}F	Fluorine (9)	20	20	9.3×10^3
^{59}Fe	Iron (26)	6	6	7.3×10^3
^{59}Fe		1000	1000	2.2×10^3
^{57}Fe		10	10	4.9×10^3
^{71}Ge	Gallium (31)	7	7	3.1×10^3
^{153}Gd	Gadolinium (64)	200	100	3.6×10^3
^{155}Gd		300	300	1.1×10^3
^{76}Ge	Germanium (32)	1000	1000	1.6×10^3
3H	Hydrogen (1) see T-Tritium			
^{181}Hf	Hafnium (72)	30	30	1.6×10^3

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	A ₁ (Ci)	A ₂ (Ci)	Specific activity (Ci/g)
²⁰¹ Hg	Mercury (80)	200	200	6.6 x 10 ⁵
¹⁹⁹ Hg		200	200	2.5 x 10 ⁵
²⁰³ Hg		80	80	1.4 x 10 ⁶
¹⁶⁴ Ho	Holmium (67)	30	30	6.9 x 10 ⁵
¹³¹ I	Iodine (53)	1000	70	1.7 x 10 ⁶
¹²⁵ I		40	10	7.8 x 10 ⁶
¹²⁷ I		1000	2	1.6 x 10 ⁶
¹²³ I		40	10	1.2 x 10 ⁵
¹²² I		7	7	1.1 x 10 ⁷
¹³⁰ I		30	30	1.1 x 10 ⁶
¹³² I		8	8	2.7 x 10 ⁷
¹²⁹ I		10	10	2.6 x 10 ⁶
^{113m} In	Indium (49)	60	60	1.6 x 10 ⁷
^{116m} In		20	20	2.3 x 10 ⁶
¹¹³ In		100	100	6.1 x 10 ⁶
¹⁹² Ir	Iridium (77)	10	10	6.2 x 10 ⁶
¹⁹⁴ Ir		20	20	9.1 x 10 ⁵
¹⁹⁶ Ir		10	10	8.5 x 10 ⁵
⁴⁰ K	Potassium (19)	10	10	6.0 x 10 ⁶
⁸⁵ Kr (uncompressed)	Krypton (36)	100	100	8.4 x 10 ⁶
⁸⁵ Kr (compressed)		3	3	8.0 x 10 ⁶
⁸¹ Kr (uncompressed)		1000	1000	4.0 x 10 ⁷
⁸¹ Kr (compressed)		5	5	4.0 x 10 ⁷
⁶⁷ Kr (uncompressed)		30	20	2.8 x 10 ⁷
⁶⁷ Kr (compressed)		0.6	0.6	
¹⁴⁰ La	Lanthanum (57)	30	30	5.6 x 10 ⁵
LLS	Low-level solid radioactive material see Section I, para. 120			
LSA	Low specific activity material see Section I, para. 121			
¹⁷⁷ Lu	Lutetium (71)	300	300	1.1 x 10 ⁵
MFP	Mixed fission products 10 0.4			
²⁴ Mg	Magnesium (12)	6	6	5.2 x 10 ⁶
⁵⁴ Mn	Manganese (25)	5	5	4.4 x 10 ⁶
⁵⁴ Mn		20	20	8.8 x 10 ⁵
⁵⁶ Mn		5	5	2.2 x 10 ⁷
⁹⁹ Mo	Molybdenum (42)	100	100	4.7 x 10 ⁵
²³ Na	Sodium (11)	8	8	6.3 x 10 ⁵
²⁴ Na		5	5	8.7 x 10 ⁵
^{93m} Nb	Niobium (41)	1000	200	1.1 x 10 ⁷
⁹⁰ Nb		20	20	3.9 x 10 ⁶
⁹¹ Nb		20	20	2.6 x 10 ⁷

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	A ₁ (Ci)	A ₂ (Ci)	Specific activity (Ci/g)
¹⁴⁷ Nd	Neodymium (60)	100	100	2.0 x 10 ⁶
¹⁵⁰ Nd		30	30	1.1 x 10 ⁷
¹⁵¹ Nd		1000	900	8.1 x 10 ⁻³
¹⁵² Nd	Nickel (28)	1000	100	4.6 x 10 ²
¹⁵³ Nd		10	10	1.9 x 10 ³
¹⁵⁴ Nd		1000	100	4.6 x 10 ²
²³⁷ Np	Neptunium (93)	5	0.005	6.9 x 10 ⁻⁴
²³⁹ Np		200	200	2.3 x 10 ⁵
¹⁹⁴ Ce	Osmium (76)	20	20	7.3 x 10 ³
¹⁹⁶ Ce		600	400	4.6 x 10 ⁶
^{197m} Ce		200	200	1.2 x 10 ⁶
¹⁹⁸ Ce		100	100	5.3 x 10 ⁵
³² P	Phosphorus (15)	30	30	2.9 x 10 ³
²³⁰ Pa	Protactinium (81)	20	0.2	3.2 x 10 ⁶
²³¹ Pa		2	0.002	4.5 x 10 ⁻¹
²³² Pa		100	100	2.1 x 10 ⁶
²¹⁰ Pb	Lead (82)	100	0.2	8.8 x 10 ⁶
²¹¹ Pb		5	5	1.4 x 10 ⁶
¹⁰³ Pd	Palladium (46)	1000	700	7.5 x 10 ⁶
¹⁰⁵ Pd		100	100	2.1 x 10 ⁶
¹⁴⁷ Pm	Promethium (61)	1000	80	2.4 x 10 ³
¹⁴⁹ Pm		100	100	4.2 x 10 ⁵
²¹⁰ Po	Polonium (84)	200	0.2	4.6 x 10 ³
¹⁴⁹ Pr	Praseodymium (59)	10	10	1.2 x 10 ⁶
¹⁵¹ Pr		300	200	6.6 x 10 ⁶
¹⁹⁵ Pt	Platinum (78)	100	100	2.3 x 10 ⁵
¹⁹⁷ Pt		200	200	
^{198m} Pt		300	300	1.2 x 10 ³
¹⁹⁹ Pt		300	300	8.8 x 10 ⁵
²³⁸ Pu	Plutonium (94)	3	0.003	1.7 x 10 ⁶
²³⁹ Pu		2	0.002	6.2 x 10 ⁻¹
²⁴⁰ Pu		2	0.002	2.9 x 10 ⁻¹
²⁴¹ Pu		1000	0.1	1.1 x 10 ³
²⁴² Pu		3	0.003	3.9 x 10 ⁻³
²²⁶ Ra	Radium (88)	50	0.2	5.0 x 10 ⁶
²²⁸ Ra		6	0.5	1.6 x 10 ⁵
^{228m} Ra		10	0.05	1.0
²²⁶ Ra + ²²⁶ Ac		10	0.05	2.3 x 10 ³
⁸⁵ Rb	Rubidium (37)	30	30	8.1 x 10 ⁶
⁸⁷ Rb		Unlimited	Unlimited	6.6 x 10 ⁻³
Rb (natural)		Unlimited	Unlimited	1.8 x 10 ⁻⁸

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	A ₁ (Ci)	A ₂ (Ci)	Specific activity (Ci/g)
¹⁸⁶ Re	Rhenium (75)	100	100	1,9 x 10 ³
¹⁸⁷ Re		Unlimited	Unlimited	3,8 x 10 ⁻³
¹⁸⁸ Re		30	30	1,0 x 10 ⁴
Re (natural)		Unlimited	Unlimited	2,4 x 10 ⁻³
^{103Rh}	Rhodium (45)	1000	1000	3,2 x 10 ³
¹⁰⁴ Rh		200	200	8,2 x 10 ³
²²² Rn	Radon (86)	10	2	1,5 x 10 ³
¹⁰⁶ Ru	Ruthenium (44)	80	80	3,5 x 10 ³
¹⁰⁰ Ru		30	30	3,2 x 10 ⁴
¹⁰¹ Ru		20	20	6,0 x 10 ⁴
¹⁰² Ru		10	7	3,4 x 10 ³
³² S	Sulphur (16)	1000	300	4,3 x 10 ⁴
¹²³ Sb	Antimony (51)	30	30	3,0 x 10 ⁴
¹²⁴ Sb		5	5	1,8 x 10 ⁴
¹²⁵ Sb		40	30	1,4 x 10 ³
⁴⁴ Sc	Scandium (21)	8	8	3,4 x 10 ⁴
⁴⁷ Sc		200	200	8,2 x 10 ³
⁴⁶ Sc		5	5	1,8 x 10 ⁴
⁷⁶ Se	Selenium (34)	40	40	1,4 x 10 ⁴
²⁸ Si	Silicon (14)	100	100	3,9 x 10 ⁷
¹⁴⁷ Sm	Samarium (62)	Unlimited	Unlimited	2,0 x 10 ⁻³
¹⁵¹ Sm		1000	80	2,6 x 10
¹⁵³ Sm		300	300	4,4 x 10 ³
¹¹⁹ Sn + ^{117m} In	Tin (50)	60	60	1,0 x 10 ⁴
¹²⁵ Sn		10	10	1,1 x 10 ³
^{88m} Sr	Strontium (38)	80	80	3,2 x 10 ⁷
⁸⁹ Sr		30	30	2,4 x 10 ⁴
^{87m} Sr		80	80	1,2 x 10 ⁷
⁸⁹ Sr		100	40	2,9 x 10 ⁴
⁹⁰ Sr		10	0,4	1,5 x 10 ³
⁹¹ Sr		10	10	3,6 x 10 ⁴
⁹⁰ Sr		10	10	1,3 x 10 ⁷
T (uncompressed)	Tritium (1)	1000	1000	9,7 x 10 ³
T (compressed)		1000	1000	
T (activated luminous paint)		1000	1000	
T (adsorbed on solid carrier)	Tritium (cont.)	1000	1000	
T (tritiated water)		1000	1000	
T (other forms)		20	20	
¹⁸² Ta	Tantalum (73)	20	20	6,2 x 10 ³
²³² Th	Thorium (90)	20	20	1,1 x 10 ⁴

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	A ₁ (Ci)	A ₂ (Ci)	Specific activity (Ci/g)
^{99m} Tc	Technetium (43)	1000	1000	3.8 x 10 ³
⁹⁹ Tc		6	6	3.2 x 10 ³
^{99m} Tc		1000	200	1.5 x 10 ⁴
^{99g} Tc		10000	400	1.4 x 10 ⁻³
^{99m} Tc		100	100	5.2 x 10 ³
⁹⁹ Tc		1000	80	1.7 x 10 ⁻³
^{130m} Te	Tellurium (52)	1000	100	1.8 x 10 ⁴
^{131m} Te		300	40	4.0 x 10 ⁴
¹³¹ Te		300	300	2.6 x 10 ³
^{130m} Te		30	30	2.8 x 10 ⁴
¹³⁰ Te		100	100	2.0 x 10 ³
^{130m} Te		30	30	8.0 x 10 ³
¹³² Te		7	7	3.1 x 10 ³
²³¹ Th		Thorium (90)	200	0.2
²³⁰ Th	6		0.008	8.3 x 10 ³
²³⁰ Th	3		0.003	1.9 x 10 ⁻³
²³¹ Th	1000		1000	5.3 x 10 ³
²³² Th	Unlimited		Unlimited	1.1 x 10 ⁻³
²³⁴ Th	30		30	2.3 x 10 ⁴
Th (natural)	Unlimited		Unlimited	(see Table VIII)
Th (irradiated - considered as mixed fission products)	30		0.4	
²⁰³ Tl	Thallium (81)	20	20	5.8 x 10 ³
²⁰⁵ Tl		200	200	2.2 x 10 ⁴
²⁰⁷ Tl	Thallium (cont.)	40	40	5.4 x 10 ⁴
²⁰⁸ Tl		300	30	4.3 x 10 ³
¹³² Tm	Thulium (69)	300	40	6.0 x 10 ³
¹⁷¹ Tm		1000	100	1.1 x 10 ³
²³⁸ U	Uranium (92)	100	0.1	2.7 x 10 ⁴
²³⁵ U		30	0.03	2.1 x 10
²³⁴ U		300	0.3	9.5 x 10 ⁻³
^{234m} U		100	0.1	6.2 x 10 ⁻³
²³⁵ U		100	0.2	2.1 x 10 ⁻³
²³⁸ U		200	0.2	6.3 x 10 ⁻³
²³⁸ U		Unlimited	Unlimited	3.3 x 10 ⁻⁷
U (natural)		Unlimited	Unlimited	(see Table VIII)
U (enriched) { <20% 20% or greater		Unlimited 100	Unlimited 0.1	(see Table VIII)
U (depleted)		Unlimited	Unlimited	(see Table VIII)
U (irradiated - considered as mixed fission products)	30	(0.4)		
⁵¹ V	Vanadium (23)	6	6	1.7 x 10 ³
¹⁸⁷ W	Tungsten (74)	200	100	5.0 x 10 ³

Symbol of radionuclide	Element and atomic number	$A_1(\text{Ci})$	$A_2(\text{Ci})$	Specific activity (Ci/g)
^{184}W		1000	100	9.7×10^{-3}
^{187}W		40	40	7.0×10^5
$^{135\text{m}}\text{Xe}$ (compressed)	Xenon (54)	10	10	1.0×10^5
$^{135\text{m}}\text{Xe}$ (uncompressed)		100	100	1.0×10^5
^{133}Xe (uncompressed)		1000	1000	1.9×10^5
^{133}Xe (compressed)		5	5	1.9×10^5
^{135}Xe (uncompressed)		70	70	2.5×10^5
^{135}Xe (compressed)		2	2	5.3×10^5
^{90}Y	Yttrium (39)	10	10	5.3×10^5
$^{91\text{m}}\text{Y}$		30	30	4.1×10^7
^{91}Y		30	30	2.5×10^4
^{90}Y	Yttrium (cont.)	10	10	9.5×10^6
^{91}Y		10	10	3.2×10^6
^{176}Yb	Ytterbium (70)	400	400	1.8×10^5
^{65}Zn	Zinc (30)	30	30	8.0×10^5
$^{65\text{m}}\text{Zn}$		40	40	3.3×10^6
^{69}Zn		300	300	5.3×10^7
^{90}Zr	Zirconium (40)	1000	200	3.5×10^{-8}
^{95}Zr		20	20	2.1×10^4
^{97}Zr		20	20	2.0×10^6

FONTE: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
SAFETY SERIES Nº 6 - 1975

ATIVIDADES ESPECÍFICAS SATURADAS, EM mCi/g, NA MG,
A 100 KW, PARA ISÓTOPOS DE MEIAS-VIDAS ENTRE
1 SEGUNDO E 100 ANOS.

Ref. 1 - BNL - 325 Neutrons Cross Sections, 3rd. ed. Vol. 1.
June 1973.

Ref. 2 - Lederer, Hollander, Perlman, Table of Isotopes,
6th ed. January 1967.

Ref. 3 - U.S. Dept. of Health, ed. Welfare, Radiological
Health Handbook, Rev. ed. January 1970.

OBSERVAÇÕES

$$\cdot \bar{\Phi} = 6,6 \times 10^{11} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

. A atividade do isótopo é dada por grama do elemento irradiado. Para calculá-la, usar os valores grifados da seção de choque.

. IT = transição isomérica

IS = isômero superior

II = isômero inferior

IS β = isômero superior emissor β .

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
H-3	$5,4 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	12,3 a	
H-16	$2,4 \times 10^{-5}$	6×10^{-5}	7,2 s	
O-19	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	29 s	
F-20	$9,5 \times 10^{-3}$	5,35	11,4 s	
He-23	$4,8 \times 10^{-2}$	2,05	37,6 s	
He-24 m	<u>0,400</u> + <u>0,130</u>	246,57	15,0 h	IT, IS 20 ms
Mg-27	0,0382	1,72	9,5 min.	
Al-28	0,230	91,15	2,31 min.	
Si-31	0,107	1,18	2,62 h	
P-32	0,180	62,13	14,3 d	
S-35	0,240	3,19	88 d	
Cl-38 m	<u>0,005</u> + <u>0,428</u>	30,48	37,3 min.	IT, IS 0,74 s
Ar-41	0,660	175,84	1,83 h	
K-42	1,46	26,21	12,4 h	
Ca-45	1,0	5,01	165 d	
Ca-47	0,7	$5,4 \times 10^{-3}$	4,53 d	
Ca-49	1,1	0,44	8,8 min.	
Sc-46m	9,6	2.282,7	20 s	IT
Sc-46	<u>9,6</u> + <u>16,9</u>	6.301,1	83,9 d	
Ti-51	0,179	2,05	5,8 min.	
V-52	4,88	1.021,4	3,76 min	
Cr-51	15,9	146,65	27,8 d	
Cr-55	0,36	1,70	3,5 min.	
Mn-56	13,3	2.587	2,576 h	
Fe-55	2,25	25,94	2,6 a	
Fe-59	1,15	0,70	45 d	
Co-60 m	20	3.627,1	10,5 min.	IT
Co-60	<u>20</u> + <u>17</u>	6.710,17	5,26 a	
Ni-63	14,2	89,73	92 a	
Ni-65	1,49	2,73	2,56 h	
Cu-64	4,5	528,0	12,8 h	
Cu-66	2,17	110,4	5,1 min.	
Zn-65	0,78	63,76	245 d	
Zn-69 m	0,072	2,10	13,8 h	IT
Zn-69	0,072 + 1,0	29,17	57 min.	
Ga-70	1,68	157,35	21,1 min.	
Ga-72	<u>0,15</u> + <u>4,71</u>	291,30	14,1 h	IS 36 ms
Ge-71	<u>0,28</u> + <u>3,15</u>	98,36	11,4 d	IS 20 ms

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. i)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Ge-75 m	0,143	7,55	48 s	IT
Ge-75	<u>0,143 + 0,24</u>	20,21	82 min.	
Ge-77 m	0,092	1,01	54 s	IT 24%
Ge-77	<u>0,24x0,092 + 0,05</u>	0,79	11,3 h	
As-76	4,3	613,5	26,5 h	
Se-75	51,8	65,16	120,4 d	
Se-77 m	<u>21 + 64</u>	266,68	17,5 s	II nat.
Se-79 m	0,33	10,65	3,9 min.	II > 6,5x10 ⁴
Se-81 m	0,08	5,26	57 min.	IT
Se-81	<u>0,080 + 0,530</u>	34,85	18,6 min.	
Se-83 m	0,039	0,47	70 s	IS B
Se-83	$5,8 \times 10^{-3}$	0,07	25 min	
Br-80 m	2,6	177,97	4,38 h	IT
Br-80	<u>2,6 + 8,5</u>	581,84	17,6 min.	
Br-82 m	2,43	158,77	6,1 min.	IT 99%
Br-82	<u>0,99x2,43 + 0,26</u>	174,17	35,34 h	
Kr-79 m	0,21	0,10	55 s	IT
Kr-79	<u>0,21 + 4,50</u>	2,29	34,9 h	
Kr-81 m	<u>4,55 + 14,0</u>	13,81	13 s	IT, II 2,1x10 ⁵ a
Kr-83 m	<u>20,0 + 25</u>	301,69	1,86 h	IT, II nat.
Kr-85 m	0,09	6,53	4,4 h	IT 23%
Kr-85	<u>0,23x0,09 + 0,042</u>	4,55	10,76 a	
Kr-87	0,06	1,30	76 min.	
Rb-86 m	0,05	4,54	1,04 min.	IT
Rb-86	<u>0,05 + 0,41</u>	41,73	18,66 d	
Sr-85 m	0,55	0,39	70 min.	IT
Sr-85	<u>0,55 + 0,26</u>	0,57	64 d	IT 99%
Sr-87 m	<u>0,99 x 0,84</u>	10,20	2,83 h	II nat.
Sr-89	$5,8 \times 10^{-3}$	0,58	52 d	
Y-90 m	$1,0 \times 10^{-3}$	0,12	3,1 h	IT - 100%
Y-90	$1,0 \times 10^{-3} + 1,28$	153,60	64 h	
Zr-95	0,056	1,11	65 d	
Zr-97	0,017	0,05	17,0 h	
Nb-94 m	1,15	132,31	6,3 min.	IT 99%
				II 2 x 10 ⁴
Mo-93 m	$-4,5 \times 10^{-3}$	0,08	6,9 h	II 3 x 10 ³ a
Mo-99	0,13	3,37	67 h	

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Mo-101	0,199	2,06	14,6 min.	
Ru-97	0,25	1,54	2,9 d	
Ru-103	1,30	43,11	39,6 d	
Ru-105	0,47	8,99	4,44 h	
Rh-104 m	11	1.142,7	4,41 min.	IT 99%
Rh-104	$0,99 \times 11 + \underline{139}$	14.440	43 s	
Pd-103	4,8	4,83	17 d	
Pd-107 m	$\underline{0,013} + 0,292$	0,36	22 s	IT, II 7×10^6 a
Pd-109 m	<u>0,2</u>	5,29	4,7 min.	IT
Pd-109	$\underline{0,2} + \underline{12}$	322,69	13,47 h	
Pd-111 m	0,02	0,23	5,5 h	IT 55%
Pd-111	$0,55 \times 0,02 + \underline{0,20}$	2,42	22 min	
Ag-108 m	3,0	155,46	>5 a	IT 10%
Ag-108	$3,0 + \underline{37,2}$	1.927,7	2,42 min.	
Ag-110 m	4,5	2.284	253 d	IT 1,3%
Ag-110	$4,5 + \underline{89}$	4.209,3	24,4 s	
Cd-107	1	1,23	6,5 h	
Cd-109	1,1	0,96	453 d	
Cd-111 m	$\underline{0,10} + 11$	1,21	48,6 min.	IT, II nat.
Cd-115 m	0,036	0,98	43 d	IS B
Cd-115	$0,036 + \underline{0,300}$	8,13	53,5 h	
Cd-117 m	0,027	0,19	3,4 h	IS B
Cd-117	$0,027 + \underline{0,05}$	0,35	2,4 h	
In-114 m ₂	$\underline{3,1} + \underline{4,4} + 3,9$	30,40	50,0 d	IT ₁ 100%, IT ₂ 35% IS ₁ 42 ns
In-114	$3,1 + 0,96 \times 4,4 + \underline{3,9}$	15,81	72 s	
In-116 m ₁	92	8.193,5	2,16 s	IT
In-116 m ₂	$\underline{92} + \underline{65}$	13.892	54 min.	IS ₂ B
In-116	45	4.007,7	14 s	
Sn-113 m	0,35	0,32	20 min.	IT 91%
Sn-113	$\underline{0,91 \times 0,35} + \underline{0,8}$	1,02	115 d	
Sn-117	6×10^{-3}	0,08	14,0 d	
Sn-119	0,016	0,35	250 d	
Sn-121 m	1×10^{-3}	0,03	76 a	IS B
Sn-121	0,14	4,10	27 h	
Sn-123 m	1×10^{-3}	4×10^{-3}	40 min.	IS B
Sn-123	0,18	0,74	125 d	
Sn-125 m	0,13	0,67	9,7 min.	IT

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO. b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Sn-125	4×10^{-3}	0,021	9,4 d	
Sb-122 m	0,055	2,79	4,2 min.	IT
Sb-122	<u>0,055</u> + 6,2	316,92	2,8 d	
Sb-124 m ₁	0,011	0,41	21 min.	IT
Sb-124 m ₂	0,011 + <u>0,035</u>	1,30	93 s	IT 80%
Sb-124	<u>0,011</u> + <u>0,8x0,035</u> + 4,28	160,38	60 d	
Te-121 m	0,34	0,03	154 d	IT 90%
Te-121	0,34 + <u>2,0</u>	0,16	17 d	
Te-123 m	<u>1,1</u> + 1,7(Ref. 3)	2,37	117 d	II $1,2 \times 10^{13}$ _a
Te-125 m	<u>0,04</u> + 6,8	0,16	58 d	IT, II nat.
Te-127 m	0,135	2,15	109 d	IT 99%
Te-127	0,135 + <u>0,9</u>	14,3	9,4 h	
Te-129 m	0,015 (Ref. 3')	0,40	34 d	IT 64%
Te-129	0,015 + <u>0,199</u>	5,27	69 min.	
Te-131 m	0,02	0,57	30 h	IT 18%
Te-131	0,02 + <u>0,27</u>	7,65	25 min.	
I-128	6,2	522,36	25,0 min.	
Xe-125 m	22	1,82	55 s	IT ?
Xe-125	106	8,78	17 h	
Xe-127 m	0,26	0,02	75 s	IT
Xe-127	<u>0,26</u> + <u>3,74</u>	0,31	36,4 d	
Xe-129 m	<u>0,36</u> + 5	0,58	8 d	IT, II nat.
Xe-131 m	<u>0,42</u> + 6	1,41	11,8 d	II nat.
Xe-133 m	0,025	0,54	2,26 d	IT
Xe-133	<u>0,025</u> + <u>0,36</u>	8,39	5,27 d	
Xe-135 m	0,003	0,03	15,6 min.	IT 27%
Xe-135	<u>0,27x0,003</u> + <u>0,25</u>	2,08	9,2 h	
Cs-134 m	2,5	201,13	2,90 h	IT
Cs-134	<u>2,5</u> + <u>29</u>	2.534,2	2,05 a	
Ba-131 m	2,5	0,21	15 min.	IT 23%
Ba-131	0,23 x <u>2,5</u> + <u>8</u>	0,71	12 d	
Ba-133 m	0,68	0,05	38,9 h	IT
Ba-133	<u>0,68</u> + <u>8,5</u>	0,72	7,2 a	
Ba-135 m	<u>0,158</u> + 1,84	0,31	28,7 h	IT, II nat.
Ba-137 m	<u>0,01</u> + 0,39	0,06	2,55 min	IT, II nat.
Ba-139	0,35	19,44	82,9 min.	
La-140	9,0	692,19	40,22 h	

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHUQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Ce-137 m	0,95	0,14	34,4 h	IT 99,4 %
Ce-137	0,95 + <u>6,3</u>	0,95	9,0 h	
Ce-139 m	0,015	4×10^{-3}	55 s	IT
Ce-139	<u>0,015</u> + <u>1,1</u>	0,28	140 d	
Ce-141	0,57	38,54	33 d	
Ce-143	0,95	7,92	33 h	
Pr-142 m	3,9	295,95	14,6 min.	IT
Pr-142	<u>3,9</u> + <u>8,0</u> (Ref. 3)	903,82	19,2 h	
Nd-147	1,4	17,67	11,1 d	
Nd-149	2,5	10,36	1,8 h	
Nd-151	1,2	4,81	12 min.	
Sm-151	102	541,33	-87 a	
Sm-153	206	3.580	47 h	
Sm-155	5,5	86,79	23 min.	
Eu-152 m ₁	4	135,55 IT	96 min.	
Eu-152 m ₂	3.300	$1,12 \times 10^5$	9,3 h	IS ₂ B
Eu-152	<u>4</u> + <u>5.900</u>	$2,0 \times 10^5$	12 a	
Eu-154	390	$1,42 \times 10^4$	16 a	
Gd-153	85	11,97	242 d	
Gd-159	2,5	42,10	18,0 h	
Gd-161	0,77	11,28	3,7 min.	
Tb-160	25,5	$1,71 \times 10^3$	72,1 d	
Dy-157	- 3	0,11	8,1 h	
Dy-159	43	2,62	144 d	
Dy-165 m	1.700	$3,12 \times 10^4$	1,26 min.	IT 97,5%
Dy-165	<u>0,975</u> x <u>1.700</u> + <u>1.000</u>	$4,88 \times 10^4$	139,2 min.	
Ho-166	63	$4,09 \times 10^3$	26,9 h	
Er-163	19	1,71	75 min.	
Er-165	13	13,23	10,3 h	
Er-169	1,95	33,62	9,4 d	
Er-171	5,7	53,38	7,52 h	
Tm-170 m	<u>8,1</u> + <u>95</u>	$6,52 \times 10^3$	170 d	IT, IS 4 %S
Yb-169 m	?	?	46 s	IT
Yb-169	? + <u>3.470</u>	298,36	32 d	
Yb-175 m	<u>4,6</u> + <u>19</u>	1.272,7	101 h	IT, IS 67%S
Yb-177 m	?	?	6,5 s	IT
Yb-177	<u>?</u> + <u>2,4</u>	18,57	1,9 h	

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Lu-176 m	<u>16,4</u> + 7	976,8	3,7 h	ISB, II nat.
Lu-177 m	7	10,99	155 d	IT 22%
Lu-177 m	0,22x7+ <u>315</u> + <u>1.778</u>	3,29 x 10 ³	6,7 d	IT ₂ ,IS ₂ 163uS
Hf-175	390	42,68	70 d	
Hf-178	1,1	12,33	4,3 s	
Hf-179 m	<u>53</u> + 33	864,66	18,6 s	IT, II nat.
Hf-180 m	<u>0,34</u> + 40	2,79	5,5 h	IT, II nat.
Hf-181	12,6	263,34	42,5 d	
Ta-182 m	<u>0,01</u> + 21	0,59	16,5 min.	IT
Ta-182	<u>0,01</u> + <u>21</u>	1.242,0	115 d	
W-181	3,5	0,29	140 d	
W-183 m	20,7 ?	321,26	5,3 s	II nat.
W-185 m	0,002	0,04	1,6 min.	IT
W-185	<u>0,002</u> + <u>1,8</u>	32,43	75 d	
W-187	37,8	617,78	23,9 h	
Re-186	112	2.401,3	90 h	
Re-188 m	73	2.628,6	18,7 min.	IT
Re-188	<u>73</u> + 1,6	2.686,2	16,7 h	
Os-185	3.000	31,35	94 d	
Os-189	?	?	5,7 h	
Os-190 m	2,6 x 10 ⁻⁴	2,36 x 10 ⁻³	9,9 min.	IT, II nat.
Os-191 m	9,1	135,29	13 h	
Os-191	<u>9,1</u> + <u>3,9</u>	193,27	15 d	
Os-193	2,0	45,70	31 h	
Ir-192 m	0,38 + <u>300</u>	6,3 x 10 ³	1,4 min.	IT,IT,IS>5a
Ir-192	<u>300</u> + <u>624</u>	1,3 x 10 ⁴	74,2 d	
Ir-194 m	<u>5,8</u> + <u>110</u>	4,02 x 10 ³	17,4 h	IT,IS 32 ns
Pt-191	150	1,1	3,0 d	Incerteza σ = 100%
Pt-193 m	2,2	0,96	4,3 d	II < 500 a
Pt-195	0,09	1,63	4,1 d	
Pt-197 m	0,05	0,69	80 min.	IT 97%
Pt-197	0,97x <u>0,05</u> + <u>0,74</u>	10,88	18 h	
Pt-199 m	0,027	0,11	14,1 s	IT
Pt-199	<u>0,027</u> + <u>3,7</u>	15,88	30 min.	
Au-198	98,8	5,37 x 10 ³	64,75 h	
Hg-197 m	120	9,55	24 h	IT 94%
Hg-197	<u>0,94x120</u> + <u>3.080</u>	254,1	65 h	

ISÓTOPO	SEÇÃO DE CHOQUE DO ISÓTOPO ALVO, b (Ref. 1)	ATIVIDADE mCi/g	MEIA-VIDA (Ref. 2)	OBSERVAÇÕES (Ref. 2)
Hg-199 m	0,018	0,10	43 min.	IT, II nat.
Hg-203	4,9	77,35	46,9 d	
Hg-205	0,43	1,55	5,5 min.	
Tl-204	11,0	171,04	3,8 a	
Tl-206	0,10	3,68	4,19 min.	
Pb-209	$4,87 \times 10^{-5}$	$1,31 \times 10^{-3}$	3,30 h	
Bi-210	0,014	0,72	5,01 d	
Ra-227	11,5	544,47	41,2 min.	
Th-233	7,40	341,3	22,2 min.	
Pa-232	210	$9,72 \times 10^3$	1,31 d	
U-235	100,2	0,27	26,1 min.	IT
U-239	2,70	120,5	23,5 min.	

CONTINUAÇÃO DA TABELA 04