

1

PUBL. DETR
FD

Nº 066/81

REVISÃO 1

DETR.PD 066/81
Revisão 1

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES

MEDIDA DO COMPRIMENTO DE DIFUSÃO PARA
NÊUTRONS TÉRMICOS NO D_2O
(MÉTODO DE ANÁLISE POR ATIVAÇÃO)

JOÃO B.S.M.POMBO

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES

MEDIDA DO COMPRIMENTO DE DIFUSÃO PARA
NÊUTRONS TÉRMICOS NO D_2O

João B.S.M.POMBO

PREPARADA PARA O ESTÁGIO DOS ALUNOS DO INSTITUTO
MILITAR DE ENGENHARIA NO DEPARTAMENTO DE
TECNOLOGIA DE REATORES DO CDTN
BELO HORIZONTE, 29.10.81

SÍMBOLOS UTILIZADOS

Δ	Definição da grandeza
i	Índice da instalação de contagem ($i=1, 2, \dots, 8$)
j	Índice do detetor e, eventualmente, do fluxo medido pelo detetor
λ	constante de desintegração correspondente à atividade induzida [min^{-1}]
σ	Seção de choque de ativação [cm^2]
$N_{o/m}$	Número de núclídeos alvo por unidade de massa [g^{-1}]
T	Duração da irradiação [min]
ϕ_j	Fluxo absoluto medido pelo detetor j [$\text{ncm}^{-2} \text{s}^{-1}$]
ϕ_j	Grandeza proporcional ao fluxo ϕ_j [cpm]
A_j	Atividade absoluta do detetor j no final de irradiação [dpm]
t_{ij}	Instante médio da contagem do detetor j na instalação i [min]
θ	duração da contagem [min]
N_{ij}	Contagem global do detetor j na instalação i
R_{bi}	"Background" da instalação i [cpm]
R_{ij}	Taxa líquida do detetor j na instalação i , no instante t_{ij} [cpm]
B_i	Eficiência própria da instalação i
β_i	Coefficiente proporcional a B_i (coeficiente da instalação i)
ϵ_j	Coefficiente de auto-absorção do detetor j
m_j	Massa do detetor j [g]
$\delta_j = \epsilon_j m_j$	Coefficiente absoluto do detetor j [g]
$\delta_o = \epsilon_o m_o$	Coefficiente absoluto de um detetor arbitrário de referência [g]
$d_j = \delta_j / \delta_o$	Coefficiente relativo do detetor j
λ_{tr}	Caminho médio livre de transporte [cm]
T	Meia-vida [min]
B_j^*	Eficiência global de detecção do detetor j

MEDIDA DO COMPRIMENTO DE DIFUSÃO PARA
NÊUTRONS TÉRMICOS NO D₂O

1. OBJETIVO

Medida do comprimento de difusão para nêutrons térmicos no D₂O, pelo método de análise por ativação com detectores de folha.

2. INTRODUÇÃO

O comprimento de difusão L é definido como a raiz quadrada de um sexto da distância quadrática média, entre o ponto onde o nêutron nasce como térmico e o ponto onde é absorvido (Figura 1).

$$L^2 \stackrel{\Delta}{=} \frac{1}{6} \bar{r}^2 \quad (1)$$

A variação do fluxo de nêutrons com a distância, na direção perpendicular a uma fonte plana infinita num meio material de dimensões infinitas é representado por:

$$\Phi(z) = Ae^{-z/L} \quad (2)$$

onde z é a distância medida a partir do plano da fonte e A é uma constante.

No caso de um meio material finito supõe-se que a equação (2) acima é válida para regiões não muito próximas das fronteiras e da fonte.

Para um cilindro com raio R e altura H , com uma fonte plana de nêutrons na sua base, a variação do fluxo ao longo do eixo do cilindro pode ser expressa por:

$$\Phi(z) = \text{cte.} e^{-\gamma z} \quad (3)$$

$$\text{ou } \frac{d \ln \phi(z)}{dz} = -\gamma \quad (4)$$

para pontos não muito próximos do plano da fonte ou do topo do cilindro. (Figura 2a)

O valor de γ pode ser determinado pela medida do fluxo de nêutrons (ou uma grandeza proporcional ao fluxo) a várias distâncias z da fonte, usando o método da ativação de folhas.

Se lançarmos $\ln \phi(z)$ contra z , a inclinação da parte linear da curva é igual a $-\gamma$.

Um tratamento teórico [1], [2], mostra que:

$$\frac{1}{L^2} = \gamma^2 - \left[\frac{2,405}{Re} \right]^2 \quad (5)$$

onde Re é o raio extrapolado do cilindro (Figura 2b):

$$Re = R + d \quad (6)$$

com $d = 0,71 (\lambda_{tr})_{D_2O} = 1,79$ cm

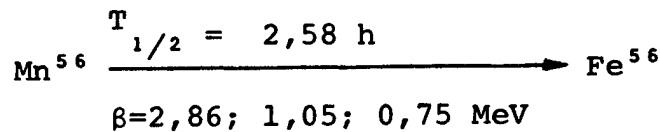
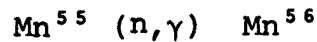
3. EXPERIÊNCIA

A nossa montagem experimental é a subcrítica CAPITU (Figura 3), atualmente carregada somente com D_2O .

É constituída basicamente por um tanque cilíndrico de raio $\approx 90,0$ cm montado sobre um pedestal de grafita e contendo D_2O . Como fonte de nêutrons utiliza-se um acelerador KAMAN modelo 1254 A com alvo de trítio alojado no centro do pedestal de grafita a cerca de 40 cm da base do tanque. A reação no alvo é: $H^3 (d,n) He^4$.

Os detetores de folha serão 8 detetores de Mn de 6mm de diâmetro e aproximadamente 0,1mm de espessura, montados sobre uma fita de "mylar" igualmente espaçados de modo a cobrirem toda a altura do D₂O. (Figura 4).

A ativação medida é a do Mn⁵⁶ correspondente a reação:



que ocorre com nêutrons térmicos e epitérmicos.

As atividades relativas são determinadas por contagem beta, sendo necessária a intercalibração prévia dos detetores de folha para atender simultaneamente as diferenças de massa e auto-absorção beta. Os detetores utilizados e seus coeficientes de intercalibração estão na Tabela 1.

Para a contagem dos detetores de folha utilizar-se-á o sistema de contagem "Adolphe" que comporta 8 sondas de cintilação montadas sobre um permutador circular de amostras.

O sistema permite a contagem simultânea de oito detetores que passam sucessivamente sob cada uma das sondas. No nosso experimento não utilizaremos a permutação. (Figuras 5 e 6)

O registro dos dados é feito automaticamente numa impressora "Friden" acoplada ao sistema.

Para atender as diferentes eficiências relativas das sondas, os dados deverão ser corrigidos mediante coeficientes β_i de cada sonda, obtidos com referência a uma sonda média. A Tabela 2 fornece esses coeficientes, bem como o tempo morto de cada sonda.

4. FUNDAMENTOS DO PROCESSAMENTO DOS DADOS

Ao se irradiar um detetor de folha sob um fluxo térmico Φ , obtém-se uma atividade induzida ao final da irradiação expressa por:

$$A = \sigma (N_0/m) m \Phi (1 - e^{-\lambda T}) \quad (7)$$

Num instante t , a partir do final da irradiação obtém-se, numa instalação de contagem, uma taxa líquida, dada por:

$$R = B^* A \exp(-\lambda t) \quad (8)$$

onde B^* - é a eficiência global de detecção
 A - é a atividade induzida na folha ao final da irradiação
 λ - constante de decaimento do isótopo formado

Para um conjunto de detetores j da mesma espécie, contados numa mesma instalação, pode-se escrever para cada detetor:

$$R_j = B_j^* A_j \exp(-\lambda t_j) \quad (9)$$

A eficiência global de detecção B_j^* pode ser expressa em termos de 2 fatores:

$$B_j^* = B_i \epsilon_j \quad (10)$$

onde: B_i = fator característico da instalação de contagem i (eficiência própria da instalação i)
 ϵ_j = fator característico do detetor particular j .

Chamando $\delta_j = \epsilon_j m_j$ (11) - coeficiente do detetor j , substituindo (10) e (11) em (9) e levando em conta (7):

$$R_{ij} = C B_i \delta_j \Phi_j \exp(-\lambda t_j) \quad (12)$$

onde $C = \sigma (N_0/m) (1 - e^{-\lambda T})$, constante para cada irradiação (13)

A determinação experimental de R_{ij} envolve uma medição prévia dos "backgrounds" R_{bi} das instalações i e uma medição das contagens globais N_{ij} dos detectores j durante um intervalo de contagem fixo θ .

$$R_{ij} = \frac{N_{ij}}{\theta} - R_{bi} = C B_i \delta_j \phi_j \exp(-\lambda t_j) \quad (14)$$

Os coeficientes dos detectores δ_j são obtidos em intercalibração prévia, tomando-se o coeficiente de um detector como referência (δ_0):

$$d_j = \frac{\delta_j}{\delta_0}, \text{ coeficiente relativo do detector } j \quad (15)$$

Analogamente obtêm-se os coeficientes das instalações β_i :

$$\beta_i = \frac{B_i}{B}, \text{ coeficiente proporcional a } B_i \quad (16)$$

substituindo (15) e (16) em (14) :

$$R_{ij} = C B \delta_0 \beta_i d_j \phi_j \exp(-\lambda t_j) \quad (17)$$

ou

$$\phi_j = CB\delta_0\beta_i d_j = \frac{\left(\frac{N_{ij}}{\theta} - R_{bi}\right) e^{\lambda t_j}}{\beta_i d_j} \quad (17')$$

Obs: Utilizando-se $\theta = 1$ minuto, não será necessário correção para o decaimento do detector dentro do intervalo de contagem porque $T_{1/2} \gg \theta$.

5. PROCEDIMENTOS

1) Com as contagens, "background" de cada sonda e os valores tabelados, calcular os ϕ_j para todos os detetores. (Equação 17').

2) Lançar os valores de ϕ_j contra z em papel semi-log.

3) Obter graficamente o valor da inclinação (γ) da parte retilínea da curva. (Figura 7)

4) Fazer um ajuste por mínimos quadrados dos dados (usando programa da HP) obtendo o melhor valor da inclinação γ .

5) Obter o valor de L da equação (5).

6. CONCLUSÕES

Comparar o resultado obtido com o método de fonte pulsada de nêutrons.

Comparar o resultado com o valor teórico ($L=159,5\text{cm}$)

A que se pode atribuir, principalmente, a discrepância observada entre o valor experimental e teórico ?

BIBLIOGRAFIA

- [1] GLASSTONE, S. & SESONSKE, A. Nuclear Reactor Engineering - Van Nostrand Reinhold, CO., N.Y., 1967.
- [2] LAMARSH, J. R. Nuclear Reactor Theory - Addison Wesley, N.Y., 1966
- [3] CAMPOS, M. M & POMBO, J. B. S. M - Processamento de Dados do sistema de Contagem "Adolphe". NUCLE - BRÁS/IPR - Belo Horizonte, 13/03/75 [PAR/GNA 008/75]
- [4] CAMPAN, J. L. et alii - Determinação do Comprimento de Difusão da Água Pesada da CAPITU. CBTN-IPR, Belo Horizonte, 10/11/73 [GNA-13/73]

TABELA 1

Detetores de Mn ($\phi = 6\text{mm}$) e Coeficientes d_j

DETETOR nº	z (cm)	d_j
43	20	1,0010
51	40	1,0119
55	60	1,0004
23	80	1,0014
27	100	1,0185
30	120	1,0125
32	140	1,0183
34	160	1,0125

TABELA 2

Coeficientes β_i e tempo morto das instalações

INSTALAÇÃO nº	β_i	τ (μseg)
1	0,9822	14,5
2	0,9980	13,5
3	0,9975	15,0
4	1,0090	13,5
5	1,0388	16,5
6	1,0082	12,0
7	0,9875	15,5
8	0,9800	11,5
	VALOR MÉDIO	(14 \pm 2)

FIGURA 1
TRAJETÓRIA DE UM NÊUTRON DURANTE A DIFUSÃO
DESDE A EMISSÃO ATÉ A ABSORÇÃO

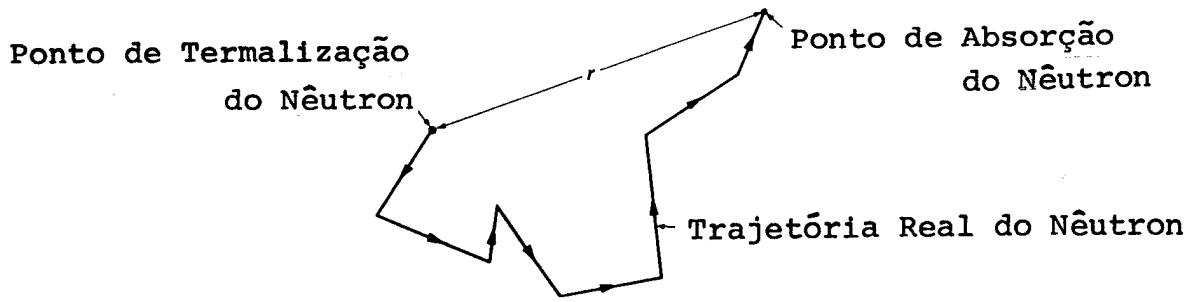


FIGURA 2

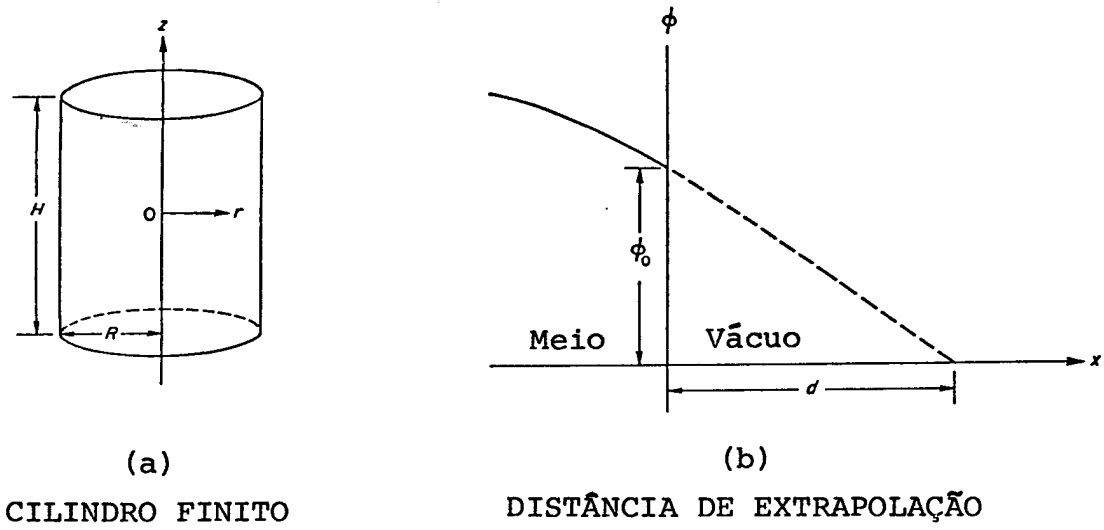


FIGURA 3
PERFIL DA SUBCRÍTICA CAPITU

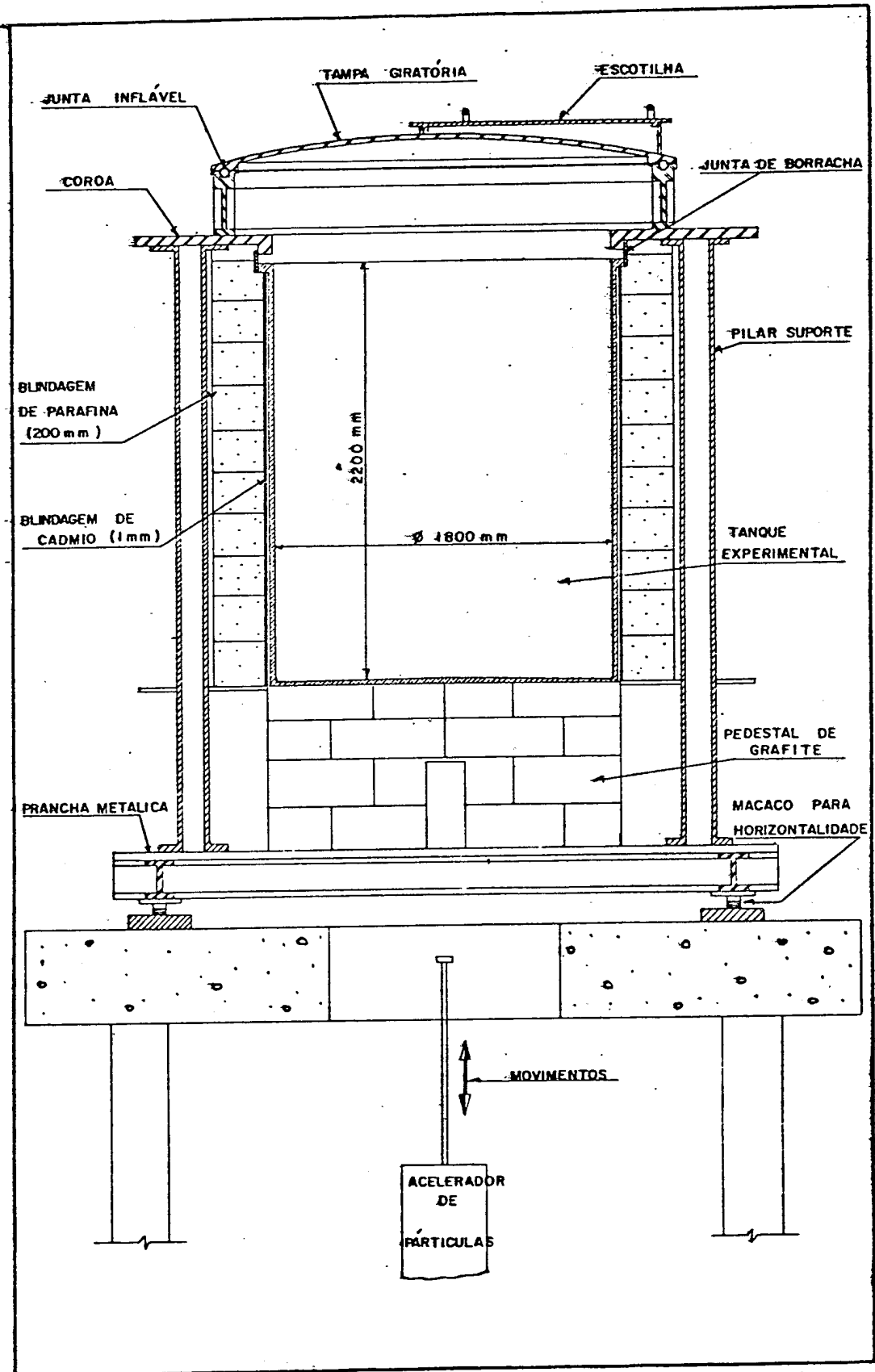
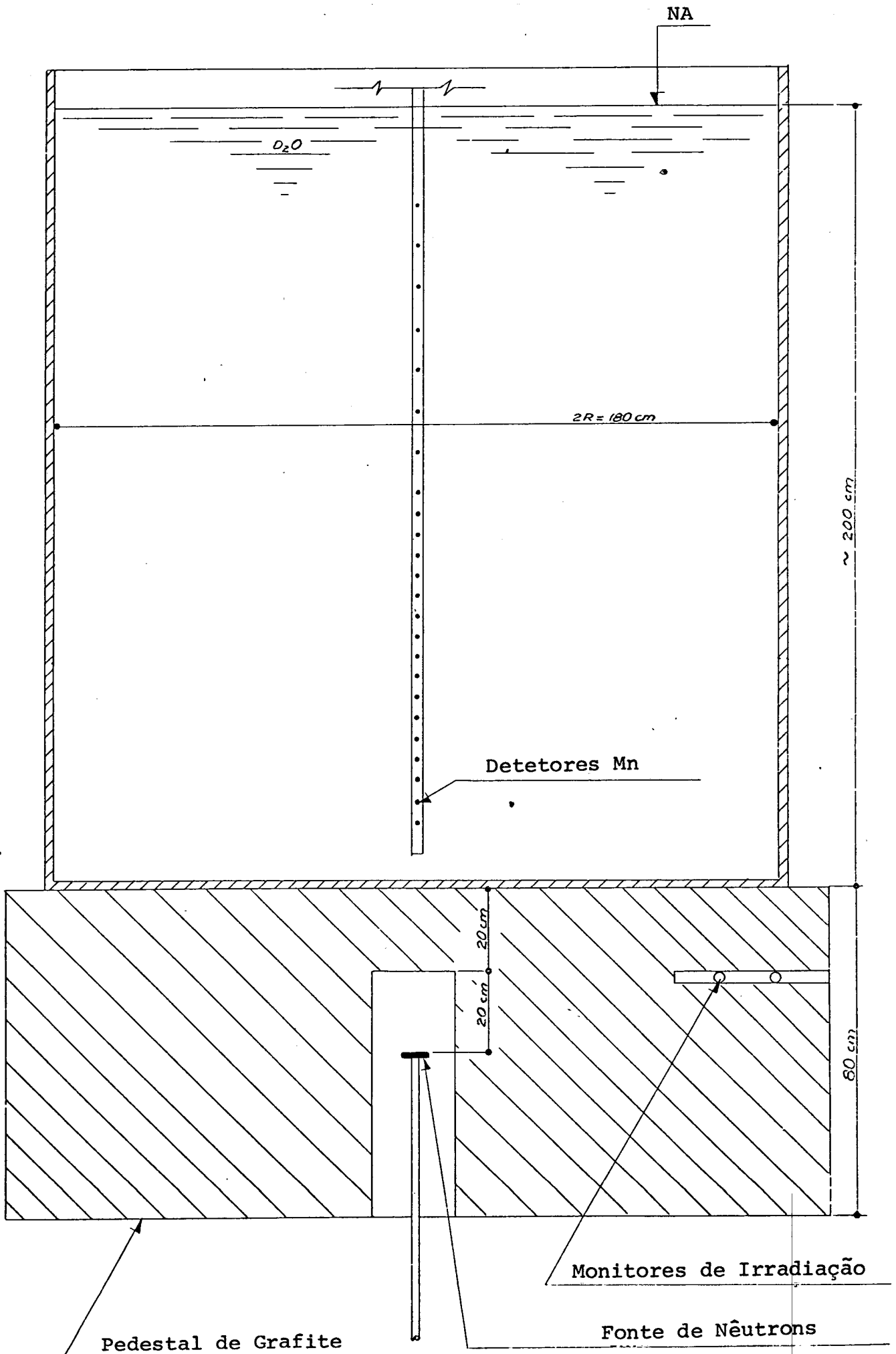


FIGURA 4

CORTE VERTICAL DO ARRANJO EXPERIMENTAL



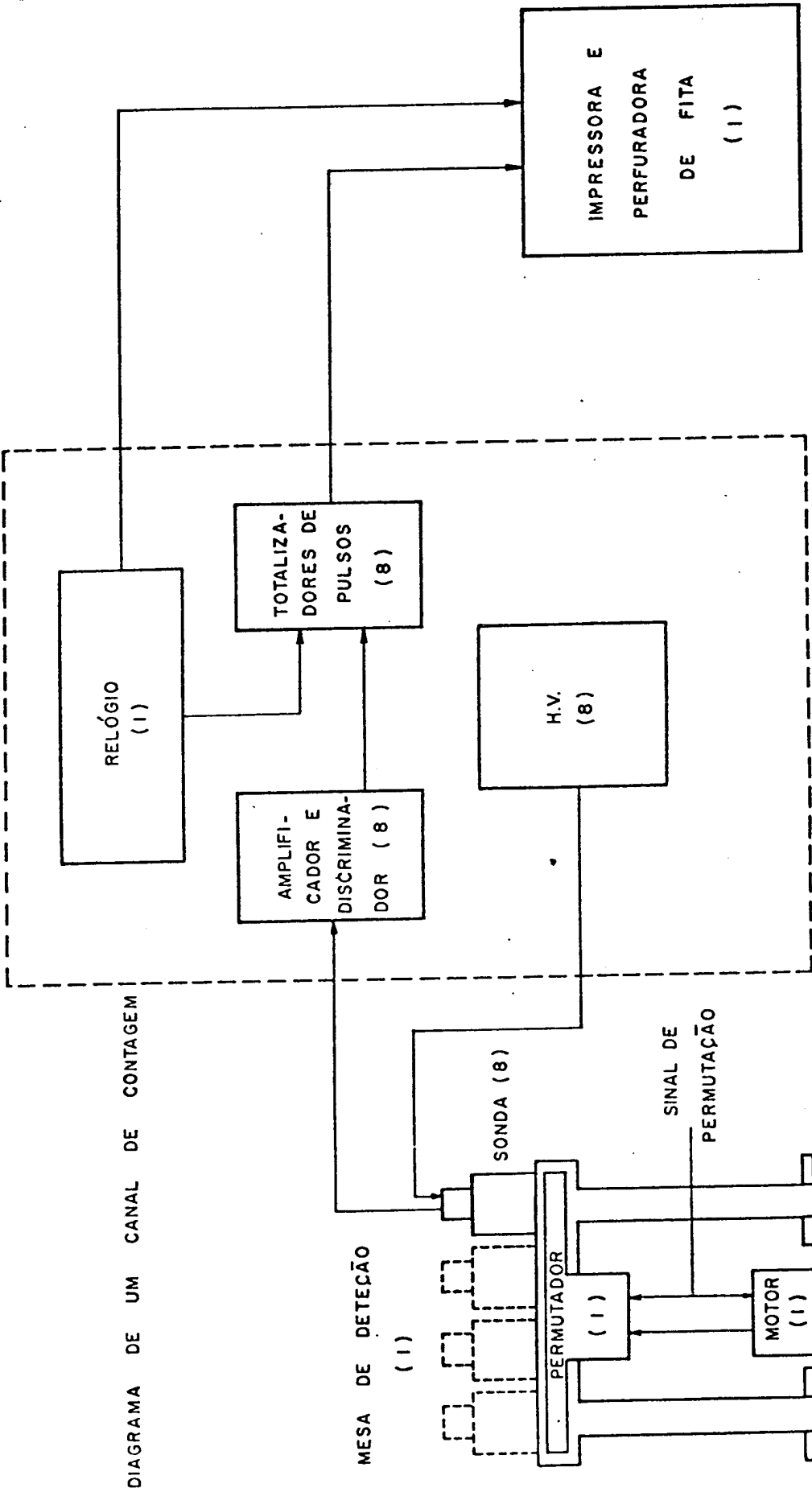


FIGURA 5
SISTEMA DE CONTAGEM
"ADOLPHE"

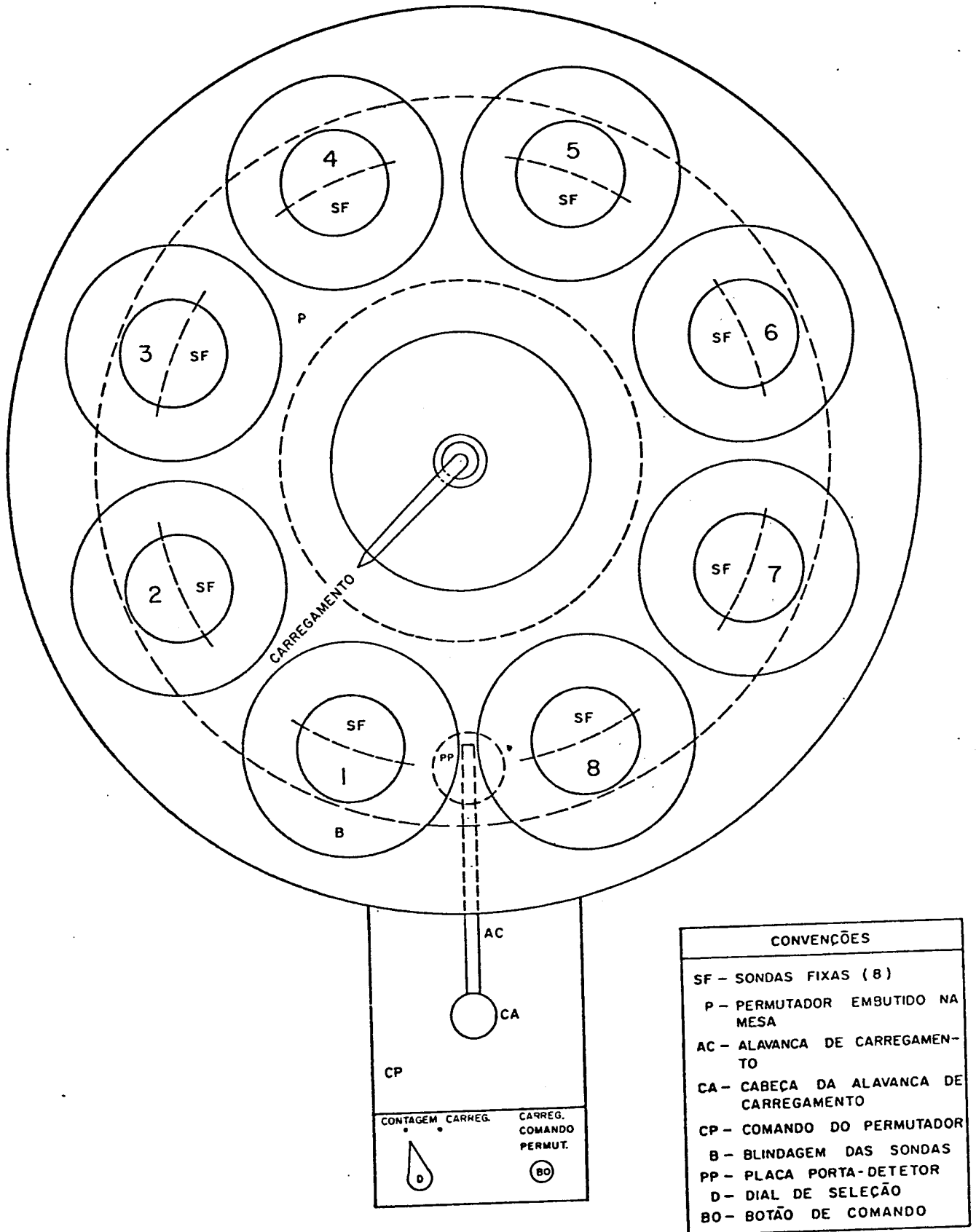
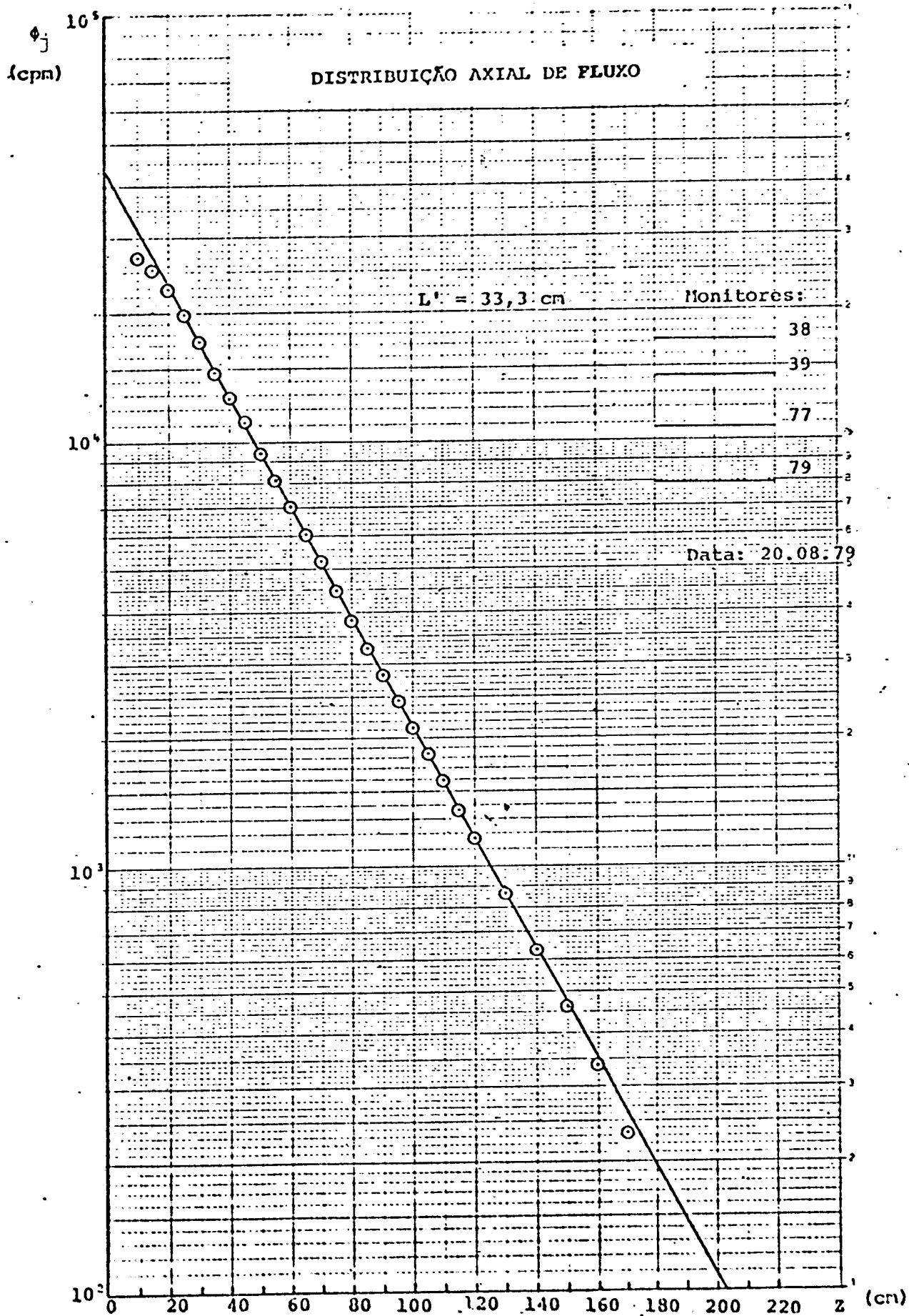


FIGURA 6
MESA DE DETEÇÃO "ADOLPHE"

FIGURA 7



FOLHA DE DADOS

1 549

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{1/2} = 2,58 \text{ h} \\ \lambda = 4,48 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1} \\ \bar{\tau} = 2,3 \times 10^{-7} \text{ min} \end{array} \right.$$

Grupo: _____

Data: ____/____/____

Fim irradi.: _____ hs

Tempo irradi.: _____ min

$$(R_{ij_{\max}} / \bar{\tau}) \times 100 = \text{_____} \%$$

Instalação n°	Detetador n°	z (cm)	t _j (min)	N _{ij} (cont)	θ (min)	R _{ij} (cpm)	R _{bi} (cpm)	R _{ij} = R _{ij} - R _{bi} (cpm)	e ^{λt_j}	β _i	d _j	φ _j (cpm)
1										0,9822		
2										0,9980		
3										0,9975		
4										1,0090		
5										1,0388		
6										1,0082		
7										0,9875		
8										0,9800		

PARÂMETROS AJUSTADOS		PARÂMETROS CALCULADOS		COMPRIMENTO DE DIFUSÃO EXPERIMENTAL
φ _j (0) (cpm)	γ (cm ⁻¹)	L ² (cm ²)	L (cm)	L = (±) cm
	γ ² (cm ⁻²)	δL(*) (cm)		

(*) Estimativa da incerteza em L: Admitindo-se que |σ_γ| ≈ 2cm⁻¹ e |σ_{Re}| ≈ 0,1cm tem-se |δL/L| ≈ 7%

EXEMPLO DE DADOS DE SAÍDA DO SISTEMA DE CONTAGEM "ADOLPHE"

INTERVALO		S O N D A S N º							
TEMPO	CONTAGEM	1	2	3	4	5	6	7	8
h	$\frac{\text{min}}{10}$								
002	120	372	428	396	412	468	418	399	396
1	223	377	428	437	418	668	441	413	391
2	326	404	431	437	411	573	436	388	395
3	429	392	455	420	467	442	428	373	384
4	532	400	417	394	449	431	432	371	409
5	635	368	410	437	445	408	476	416	417
6	738	380	409	403	489	380	463	401	416
7	841	375	401	456	452	391	459	406	413