

BR8818764

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**DETERMINAÇÃO DE FATORES DE TRANSMISSÃO PARA  
RADIAÇÃO BETA SOB CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS  
DIFERENTES**

**Maria da Penha Pereira Albuquerque e Linda Viola Ehlin Caldas**

**PUBLICAÇÃO IPEN 139**

**JUNHO/1988**

**SÃO PAULO**

**DETERMINAÇÃO DE FATORES DE TRANSMISSÃO PARA RADIAÇÃO  
BETA SOB CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DIFERENTES**

**Maria da Penha Pereira Albuquerque e Linda Viola Ehlín Caldas**

**DEPARTAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

**INIS Categories and Descriptors**

**E41.10**

**BETA DETECTION  
IONIZATION CHAMBERS  
RADIATION SOURCES  
TRANSMISSION**

---

IPEN - Doc - 3005

Aprovado para publicação em 10/05/88.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

**DETERMINAÇÃO DE FATORES DE TRANSMISSÃO PARA RADIAÇÃO BETA  
SOB CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DIFERENTES \***

Maria da Penha Pereira Albuquerque e Linda V. Ehlin Caldas

**RESUMO**

Durante a determinação dos fatores de transmissão no ar da radiação beta, utilizando-se uma câmara de ionização de volume variável (câmara de extrapolação), acoplada a um eletrômetro digital, e o sistema padrão secundário constituído pelas fontes de  $^{90}\text{Sr}$  +  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  e  $^{147}\text{Pm}$ , é fundamental o posicionamento das camadas absorvedoras de material equivalente ao tecido, em relação ao detector e às fontes de radiação. No presente trabalho os absorvedores foram colocados tanto à frente das fontes quanto à frente da câmara, em experiências diferentes, e os dados foram comparados.

**DETERMINATION OF TRANSMISSION FACTORS FOR BETA RADIATION  
AT DIFFERENT EXPERIMENTAL CONDITIONS**

**ABSTRACT**

During the transmission factors determination of beta radiation in air, using an ionization chamber with variable volume (extrapolation chamber), connected to a digital electrometer, and the secondary standard system constituted by the  $^{90}\text{Sr}$  +  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  and  $^{147}\text{Pm}$  sources, the positioning of absorber materials equivalent to tissue, in relation to the detector and to the radiation sources is fundamental. In this work the absorbers were positioned in front of the sources, as well in front of the chamber, in different experiments, and the data were compared.

**INTRODUÇÃO**

Com o aumento da utilização de fontes de radiação beta na pesquisa e em especial, na Medicina e Indústria, o problema da avaliação exata das doses beta vem se tornando cada vez mais importante nos últimos dez anos.

---

(\*) Trabalho apresentado no XI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, realizado em Caxambú, M.G., de 9 a 13 de maio de 1988.

A determinação da taxa de dose absorvida na camada basal da epiderme (sob uma camada de tecido de  $7 \text{ mg/cm}^2$  <sup>(4)</sup>), relativa a uma radiação beta, constitui um dos objetivos da Proteção Radiológica. Se a superfície da pele estiver protegida, por exemplo por uma luva, é necessário determinar-se a taxa de dose absorvida sob uma camada de absorvedor de espessura ainda maior.

A absorção da radiação beta depende muito das condições experimentais e os dados de vários autores apresentam grandes diferenças entre si. Os métodos exatos de cálculo de doses de radiação beta só têm validade para meios homogêneos e infinitos, que na prática da Proteção Radiológica não são encontrados.

Uma determinação exata da taxa de dose absorvida no ar é possível com câmaras de ionização de paredes extremamente finas <sup>(5)</sup>. Elas são, entretanto, mecanicamente muito sensíveis e portanto impróprias para a monitoração na Proteção Radiológica; só existem em laboratórios de padronização primária.

As câmaras de extrapolação de volume, ou simplesmente câmaras de extrapolação, que são câmaras de ionização de volume variável, de placas paralelas, constituem os detectores de referência para a radiação beta, em laboratório. São utilizadas em laboratórios de padronização secundária.

A padronização assim como os principais métodos para a dosimetria e a calibração da radiação beta foram desenvolvidos principalmente por Böhm <sup>(1)</sup>. A necessidade da dosimetria beta na monitoração pessoal foi largamente examinada por Regulla <sup>(6)</sup>.

Os objetivos do presente trabalho são o estudo do comportamento da resposta de uma câmara de extrapolação, submetendo-a à radiação beta sob condições experimentais diferentes em relação a absorvedores, e a determinação dos fatores de transmissão no tecido para cada caso. O conhecimento destes fatores é essencial em Radioterapia, para se ter a dose profunda no tecido.

## PARTE EXPERIMENTAL

As medidas de corrente de ionização foram realizadas utilizando-se uma câmara de extrapolação modelo M 23391A, da Physikalisch-Technische Werkstätten, República Federal da Alemanha, acoplada a um eletrômetro digital Keithley Instruments Inc., modelo 616, EUA. Para a aplicação da tensão entre os eletrodos da câmara foi utilizada uma fonte de tensão Fluke, modelo 450B, EUA, e para o controle desta tensão, um multímetro digital Triel, modelo MTR 4410, EUA. Durante todas as medidas de corrente de ionização foi mantido o campo elétrico constante de 10 V/mm entre os eletrodos da câmara.

A janela de entrada (diâmetro de 60 mm) da câmara é de Mylar grafitado internamente, com densidade superficial de 2,83 mg/cm<sup>2</sup>. A profundidade desta câmara pode ser variada entre 0,5 e 25mm, graças a um parafuso micrométrico externo. No presente trabalho as medidas foram realizadas, mantendo-se constante o volume máximo da câmara, ou seja, a distância entre os eletrodos de 25 mm, para se ter uma sensibilidade máxima na resposta.

Para as irradiações, o sistema padrão secundário da Buchler & Co., RFA, com certificado de calibração do laboratório alemão de padronização primária, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, RFA, foi empregado. Este sistema é constituído por quatro fontes radioativas, um porta-fonte e uma unidade de controle de tempo de irradiação. Nas Tabelas I e II têm-se as características deste sistema padrão.

**Tabela I :** Características dos radionuclídeos

Radionuclídeo	Meia-vida (anos)	Energia máxima do espectro beta (MeV)	Outros tipos de radiação
<sup>147</sup> Pm	2,62 ± 0,02	0,225	0,121 MeV 0,01% Radiação γ de Sm
<sup>204</sup> Tl	3,78 ± 0,04	0,763	Radiação γ de Hg
<sup>90</sup> Sr + <sup>90</sup> Y	28,5 ± 0,8	0,546 e 2,274	- -

TABELA II

Características do sistema padrão secundário

Radionuclídeo	$^{147}\text{Pm}$	$^{204}\text{Tl}$	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$
Atividade nominal (MBq)	518	18,5	74	1850
Espessura do invólucro de prata mg/cm	$5 \pm 1$	$20 \pm 3$	$50 \pm 5$	$50 \pm 5$
Energia média da radiação beta (MeV)	0,06	0,24	0,80	0,80
Taxa de dose absorvida no ar $\dot{D}_c$ ( $\mu\text{Gy/s}$ )	0,2132	0,2544	1,707	518,4
Taxa de dose absorvida no tecido $\dot{D}_t$ ( $\mu\text{Gy/s}$ )	0,2452	0,2898	1,896	575,9
Fator de conversão	1,150	1,139	1,111	1,111
Distância de calibração (cm)	20	30	30	11
Data de referência	12/01/81	09/01/81	12/01/81	04/02/81

Tendo-se verificado que a corrente de ionização variava entre  $1,77 \times 10^{-16}$  e  $3,89 \times 10^{-12}$  A, não foi possível a medida direta da corrente. Foi, portanto, necessário utilizar-se o método de medida de carga elétrica acumulada durante intervalos curtos de tempo. As medidas de carga foram realizadas até um total de 300s, em intervalos de 30s, para ambas polaridades da tensão aplicada e tomando-se o valor médio.

O estabelecimento do campo padrão e as propriedades do conjunto de detector de referência utilizados foram relatados na Ref. 2.

Para a determinação dos fatores de transmissão no tecido, foi mantida fixa a distância entre a fonte e o detector em cada experiência. Para a fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ , as medidas foram realizadas para as distâncias de 11, 30 e 50 cm, enquanto que para as fontes de  $^{204}\text{Tl}$  e  $^{147}\text{Pm}$ , a distância foi de 11 cm.

A câmara e a fonte foram de forma independente recobertas sucessivamente por absorvedores constituídos por folhas finas de densidades superficiais controladas, posicionadas tão próximo quanto possível da janela de entrada da câmara ou da fonte, conforme o caso. Foram utilizados absorvedores de plástico Hostaphan, com espessuras entre 2,5 e 300 $\mu\text{m}$ , e placas de Lucite, com espessuras entre 1,00 e 6,05 mm.

A resposta da câmara foi representada graficamente em função da espessura de absorvedor total e o valor da corrente de ionização para uma espessura nula foi obtido por extrapolação. Todos os valores encontrados para as diferentes espessuras foram divididas pelo valor referente à espessura nula. Estas razões representam os fatores de transmissão.

Todas as irradiações foram realizadas de modo frontal em relação à janela de entrada da câmara de extrapolação.

## RESULTADOS

Nas Fig. 1, 2 e 3 pode-se observar o comportamento do fator de transmissão em função da espessura de material absorvedor equivalente ao tecido no caso da fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  para três diferentes distâncias: 11, 30



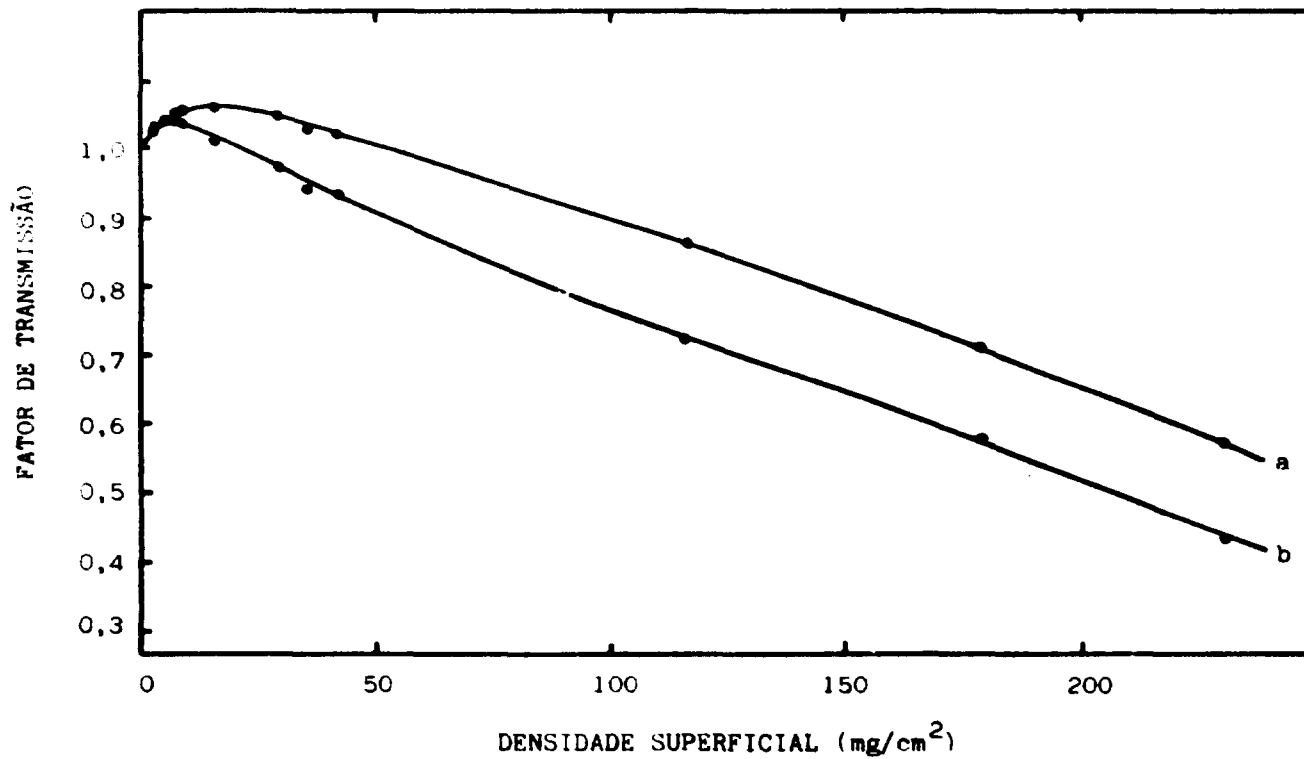


FIG. 1 : Fatores de transmissão para a fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  em camadas de material absorvedor equivalente a tecido, à distância de 11 cm.

a : Absorvedores em frente à câmara

b : Absorvedores em frente à fonte

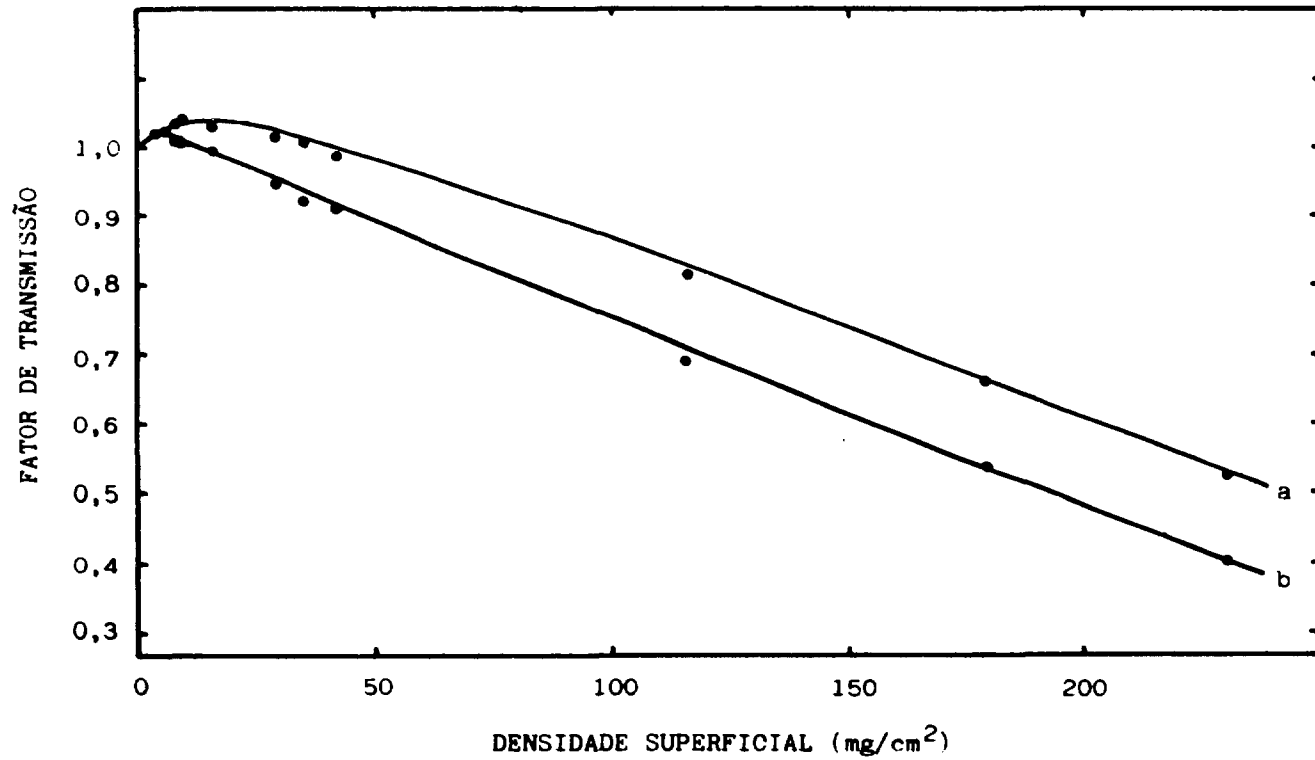


FIG. 2 : Fatores de transmissão para a fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  em camadas de material absorvedor equivalente a tecido, à distância de 30 cm.

a : Absorvedor em frente à câmara

b : Absorvedor em frente à fonte

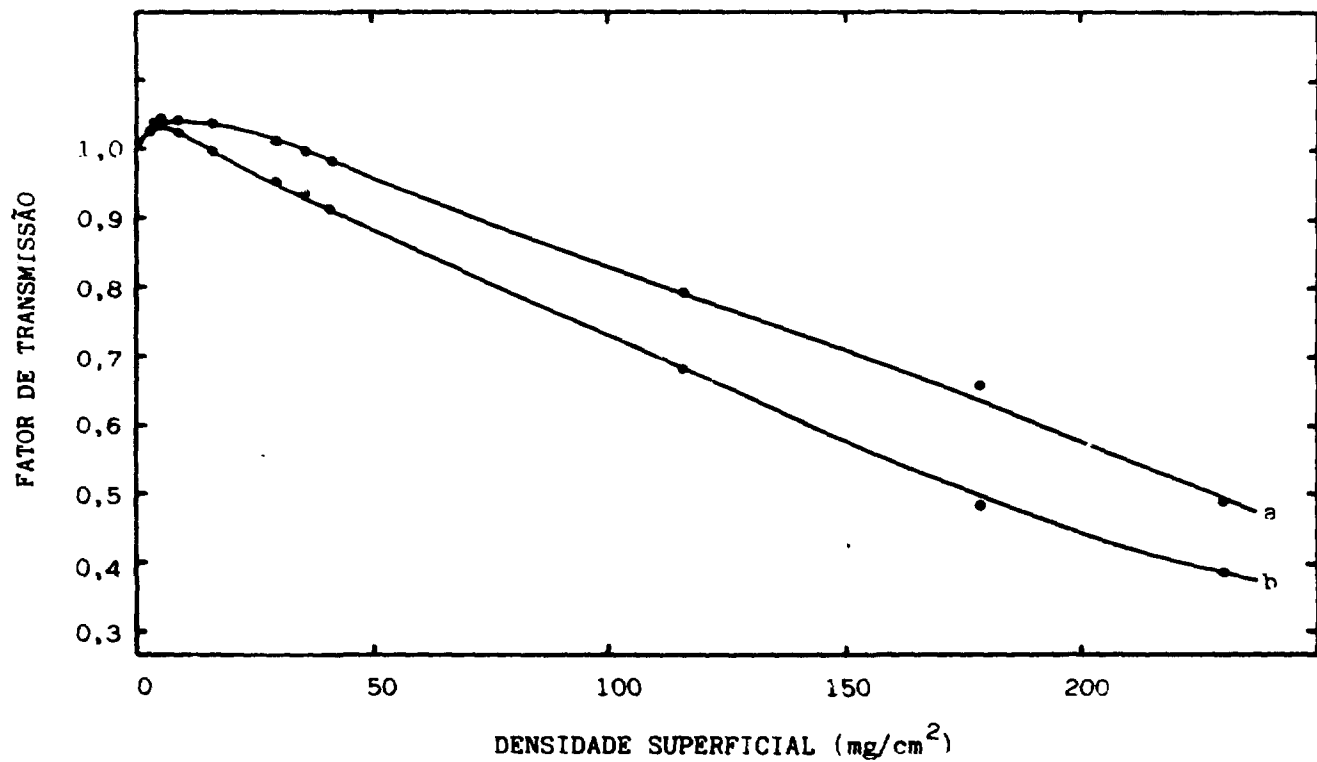


FIG. 3 : Fatores de transmissão para a fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  em camada de material absorvedor equivalente a tecido, à distância de 50 cm.

a : Absorvedores em frente à câmara

b : Absorvedores em frente à fonte

e 50 cm, respectivamente. As curvas a representam o caso em frente à câmara de extrapolação e as curvas b, em frente à fonte radioativa. Nos dois casos pode-se verificar que inicialmente o comportamento é crescente, atinge um valor máximo, apresentando-se a seguir decrescente. Este fato demonstra claramente a ocorrência de equilíbrio eletrônico. Observa-se uma diferença marcante entre as curvas a e b, sendo que a resposta sempre foi maior no caso a do que no caso b. O desvio padrão relativo apresentou-se sempre inferior a 3,7%.

Os fatores de transmissão, no caso da fonte de  $^{204}\text{Tl}$ , foram representados na Fig. 4. Não ocorre equilíbrio eletrônico; o comportamento é decrescente em função da densidade superficial do material absorvedor. O desvio padrão relativo apresentou-se sempre inferior a 3,8%.

Em relação aos fatores de transmissão obtidos para a fonte de  $^{147}\text{Pm}$ , pode-se observar um comportamento decrescente, bem mais rápido do que no caso de  $^{204}\text{Tl}$ . O desvio padrão relativo revelou valores sempre inferiores a 2,6%. Neste caso foi perfeitamente possível distinguir-se uma diferença entre os comportamentos dos casos em que os absorvedores foram posicionados em frente à câmara e em frente à fonte: Fig. 5. Este fato não foi verificado por Heinzelmann <sup>(3)</sup>.

Nas Tabelas III, IV e V estão relacionados os fatores de transmissão para valores típicos (em Radioterapia) de espessura de tecido, sabendo-se que 1,00mm de tecido apresenta uma densidade superficial de  $100\text{mg}/\text{cm}^2$ .

Não foi possível comparar os resultados obtidos das curvas a com os da Ref. 2, porque as condições experimentais foram diferentes, principalmente em relação ao volume sensível da câmara de extrapolação.

A diferença encontrada entre os comportamentos do fator de transmissão (curvas a e b) pode ser atribuída ao fato de que a radiação, após interagir com o material absorvedor, sofre uma mudança no seu espectro de energia. Assim, se o absorvedor com número atômico baixo (como é o caso aqui) estiver posicionado em frente à fonte, até a radiação (com energia média mais baixa) chegar ao volume sensível da câmara de extrapolação,

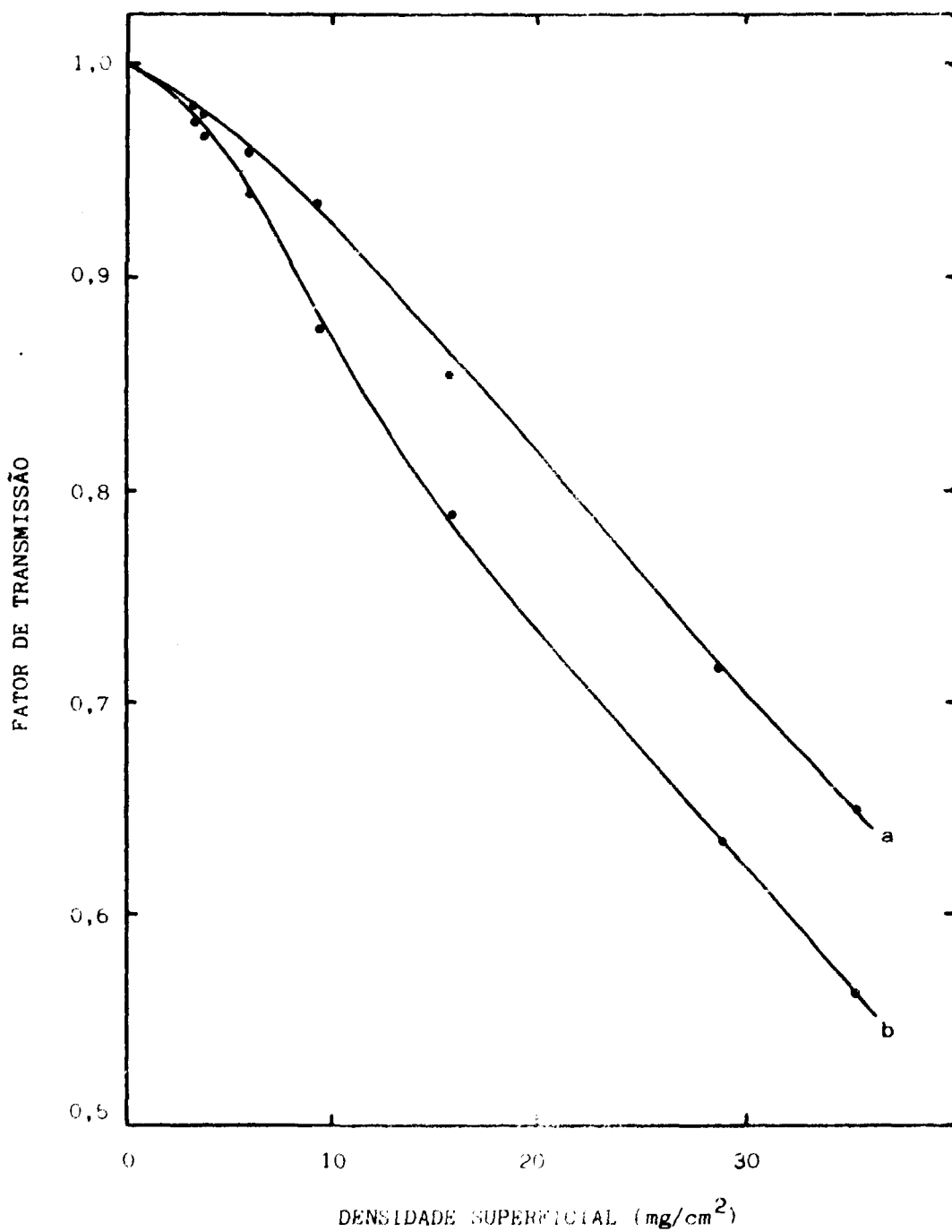


FIG. 4 : Fatores de transmissão para a fonte de <sup>204</sup>Tl em camadas de material absorvedor equivalente a tecido, à distância de 11 cm.  
a : Absorvedores em frente à câmara  
b : Absorvedores em frente à fonte

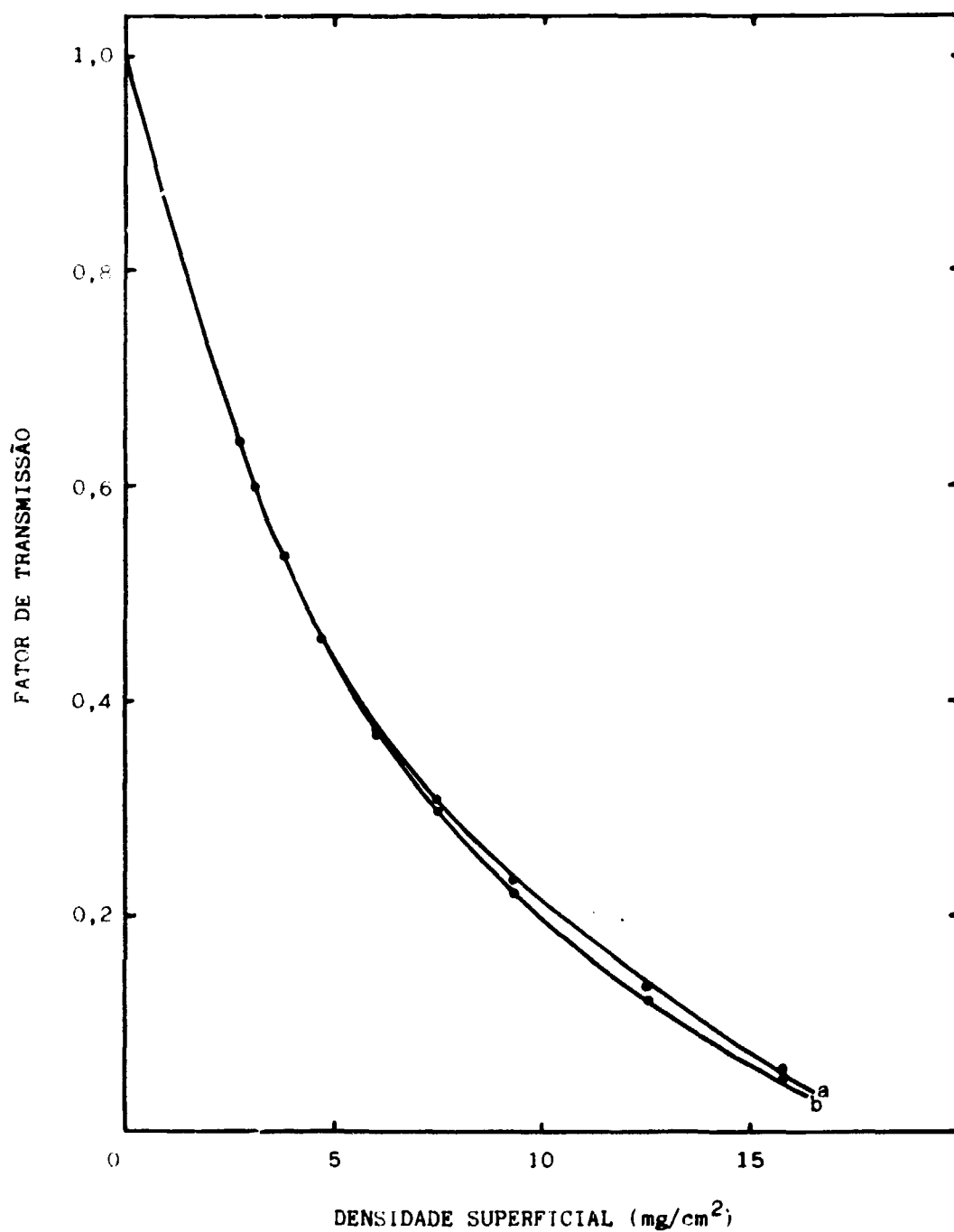


FIG. 5 : Fatores de transmissão para a fonte de  $^{147}\text{Pm}$  em camadas de material absorvedor equivalente a tecido, à distância de 11 cm.

a : Absorvedores em frente à câmara

b : Absorvedores em frente à fonte

terá sido em grande parte já absorvida pelas camadas intermediárias de ar. Por outro lado, se o absorvedor estiver em frente à câmara, a radiação, mesmo sofrendo mudança em seu espectro de energia após interagir com o material, terá uma parte maior que no primeiro caso chegando ao volume sensível da câmara.

Tabela III

Fatores de transmissão para a fonte de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$

**a** : Absorvedores em frente à câmara

**b** : Absorvedores em frente à fonte

Espessura de tecido (mm)	d = 11 cm		d = 30 cm		d = 50 cm	
	a	b	a	b	a	b
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,02	1,028	1,028	1,017	1,017	1,027	1,020
0,04	1,040	1,037	1,032	1,019	1,037	1,033
0,05	1,047	1,047	1,037	1,023	1,041	1,037
0,07	1,055	1,043	1,040	1,017	1,045	1,033
0,10	1,057	1,035	1,042	1,007	1,047	1,023
0,20	1,059	1,001	1,033	0,977	1,037	0,985
0,50	1,000	0,909	0,960	0,873	0,967	0,949
1,00	0,902	0,773	0,827	0,703	0,830	0,713

**Tabela IV**Fatores de transmissão para a fonte de  $^{204}\text{Tl}$ **a** : Absorvedores em frente à câmara**b** : Absorvedores em frente à fonte  
distância : 11 cm

Espessura de tecido (mm)	a	b
0	1,000	1,000
0,02	0,990	0,985
0,04	0,978	0,960
0,05	0,969	0,943
0,07	0,956	0,915
0,10	0,925	0,868
0,20	0,800	0,740

**Tabela V**Fatores de transmissão para a fonte de  $^{147}\text{Pm}$ **a** : Absorvedores em frente à câmara**b** : Absorvedores em frente à fonte  
distância : 11 cm

Espessura de tecido (mm)	a	b
0	1,000	1,000
0,02	0,728	0,742
0,04	0,520	0,520
0,05	0,436	0,436
0,07	0,324	0,320
0,10	0,212	0,196
0,15	0,076	0,064



## CONCLUSÕES

Posicionando-se material absorvedor em frente a uma câmara de extra-polação ou em frente à fonte de radiação beta, foram obtidos comportamentos diferentes em relação a fatores de transmissão no tecido.

O conhecimento destes fatores e da diferença entre eles, dependendo das condições experimentais utilizadas, é essencial em Radioterapia, para se determinar doses absorvidas em tecido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOHM, J. Standardization and calibration in beta dosimetry. In: UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Beta dosimetry: proceedings of the international symposium... held in Washington, D.C. Feb. 15-18, 1983.* Washington D.C., 1984. p. 73-97 (NUREG/CP-0050).
2. CALDAS, L.V.E. Performance characteristics of an extrapolation chamber for beta radiation detection. *Appl. Radiat. Isot.*, 37 (9): 988-90, 1986.
3. HEINZELMANN, M. *Absorption von  $\beta$ -Strahlung für verschiedene Versuchsbedingungen.* Juelich, Kernforschungsanlage Juelich G.m.b.H., Juli 1975. (JUEL-1219).
4. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* Jan. 17, 1977. (ICRP Publication 26).
5. OWEN, B. Factors for converting beta-ray dose rates measured in air to dose rates in tissue. *Phys. Med. Biol.*, 18 (3): 355-68, 1973.
6. REGULLA, D.F. Need and practice of beta dosimetry in personnel monitoring. In: UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Beta dosimetry: proceedings of the international symposium... held in Washington, D.C., Feb. 15-18, 1983.* Washington D.C., 1984. p. 263-81. (NUREG/CP-0050).