

BR 89 19458

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CÂMARA DE IONIZAÇÃO  
DE PLACAS PARALELAS EM CAMPOS PADRÕES  
DE RADIAÇÃO-X E GAMA**

**Marco Antonio Batistella e Linda V. Ehlin Caldas**

**PUBLICAÇÃO IPEN 207**

**1  
SETEMBRO/1988**

**SÃO PAULO**

**DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CÂMARA DE IONIZAÇÃO  
DE PLACAS PARALELAS EM CAMPOS PADRÕES  
DE RADIAÇÃO-X E GAMA**

**Marco Antonio Batistella e Linda V. Ehlin 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**

**ENERGY DEPENDENCE  
GAMMA RADIATION  
IONIZATION CHAMBERS  
X RADIATION**

---

**IPEN - Doc - 3075**

**Aprovado para publicação em 05/07/88.**

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

**DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CÂMARA DE IONIZAÇÃO DE PLACAS PARALELAS  
EM CAMPOS PADRÕES DE RADIAÇÃO-X E GAMA\***

Marco Antonio Batistella e Linda V. Ehlin Caldas

**RESUMO**

Foram determinadas as características de campos padrões de radiação-X de baixas energias e foi estudada a dependência energética de uma câmara de ionização do tipo superficial de placas paralelas e volume fixo, normalmente utilizada na dosimetria a nível de Radioterapia. A possibilidade de uma adaptação deste tipo de câmara para a dosimetria gama foi ainda verificada. Foram feitas e testadas diversas capas de equilíbrio eletrônico, com espessuras de Lucite variando entre 2,0 e 5,5 mm, em feixes de radiação gama. Tanto para o Césio-137 como para o Cobalto-60, este tipo de detector, com a capa de equilíbrio adequada, apresentou utilidade comparável com a da câmara de ionização do tipo dedal. Concluiu-se que, em vez de se utilizar um tipo de câmara para cada intervalo de energias média e alta, pode-se adaptar a câmara superficial, especialmente fabricada para detectar radiação-X de baixas energias, para medidas em campos de radiação gama.

**ENERGY DEPENDENCE OF AN IONIZATION CHAMBER WITH PARALLEL PLATES  
IN STANDARD GAMMA AND X-RADIATION FIELDS**

**ABSTRACT**

The characteristics of low energy X-radiation standard fields were determined and the energy dependence of an ionization chamber of the superficial type, with parallel plates and fixed volume, normally utilized in the dosimetry at the Radiotherapy level was studied. The possibility of adaptation of this chamber type for use in gamma radiation dosimetry was verified. Different thickness Lucite build-up caps, from 2.0 up to 5.5 mm, were produced and tested in  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  gamma radiation fields. This type of detector, with the adequate build-up cap, presented a performance comparable to that of the thimble type ionization chamber. It was concluded that it is not necessary to use different kinds of chambers for each high and mean energy interval. The superficial chamber, specially produced to detect low energy X-radiation, may be adapted to detect gamma radiation.

---

(\*) Trabalho parcialmente apresentado na 40ª Reunião Anual da SBPC, 1988

## INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração do IPEN possui um sistema de raios-X (60 kV) que deverá ser utilizado em irradiações de amostras dosimétricas e nas calibrações de dosímetros clínicos.

Para que se possa determinar a taxa de exposição fornecida por esse sistema, é importante utilizar-se uma câmara de ionização adequada ao intervalo de energia da radiação considerado. Para energias menores do que 50 keV, é comum empregar-se câmaras de ionização de placas paralelas do tipo superficial de paredes bem finas. Neste tipo de câmara, os eletrodos estão distanciados entre si de aproximadamente 5 mm. Isto garante que todos os íons produzidos dentro do volume sensível da câmara serão coletados, o que significa que mesmo para altas taxas de exposição obtém-se a saturação da corrente de ionização.

O objetivo do trabalho é caracterizar os campos padrões de radiação-X, estudar a dependência energética de uma câmara de ionização e verificar a possibilidade de se adaptar tal tipo de câmara para a determinação das taxas de exposição devido às radiações gama de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ .

## PARTE EXPERIMENTAL

O sistema de raios-X é constituído por um gerador Rigaku Denki, tipo potencial constante, modelo Geiger-flex, Japão, e um tubo de raios-X Philips, modelo PW 2184/00, Holanda, com janela de 1mm de berílio e alvo de tungstênio. Ele pode ser operado entre 20 e 60 kV de tensão e entre 2 a 80 mA de corrente, com potência limite de 1,5 kW.

Como sistema monitor, foi utilizada a câmara de transmissão Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW), de grafite, modelo TCH 786/k, tipo 24390, Alemanha, conectada a um eletrômetro PTW, modelo DU4, que possui um contador eletrônico para a determinação da exposição total a que o sistema é submetido. A finalidade da câmara monitora é detectar possíveis alterações da tensão na rede elétrica, para a correção da taxa de

exposição, durante a operação do sistema de raios-X<sup>(2)</sup>.

Foram utilizadas duas câmaras de ionização de placas paralelas, do tipo superficial, com janela de Mylar e espessura de  $2,3 \text{ mg/cm}^2$ . Uma das câmaras, modelo 2536/3B, com volume sensível de  $0,3 \text{ cm}^3$ , foi associada a um eletrômetro modelo 2560, ambos da Nuclear Enterprises Ltd., Inglaterra, e constituem o padrão secundário para a radiação-X de baixas energias. A outra câmara, modelo 2532/3, com volume sensível de  $0,03 \text{ cm}^3$ , acoplada a um eletrômetro modelo 2502/3, ambos também da Nuclear Enterprises Ltd., foi calibrada em relação ao padrão secundário e por isso é considerada terciária. As câmaras foram posicionadas a 50 cm do foco do tubo de raios-X, conforme as especificações para a calibração deste tipo de instrumento<sup>(3,5)</sup>.

#### **CARACTERIZAÇÃO DO FEIXE DE RAIOS-X UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA TERCIÁRIA SUPERFICIAL**

A qualidade de um feixe de radiação-X é caracterizada pela diferença de potencial aplicada entre os eletrodos do tubo de raios-X, pela primeira camada semi-redutora (CSR), pelo coeficiente de homogeneidade e pela energia efetiva.

Um método indireto de se determinar o poder de penetração de um feixe de raios-X em alguns materiais foi empregado neste trabalho. Ele está relacionado com a determinação da camada semi-redutora e baseia-se na lei de atenuação da radiação-X através de um material.

A primeira camada semi-redutora é dada pela espessura de material absorvedor, que deve ser atravessada pelo feixe de raios-X para causar uma redução de 50% no valor da taxa de exposição obtida quando da não utilização deste mesmo material, enquanto que a segunda camada semi-redutora é dada pela espessura do material considerado, necessária para reduzir o valor da taxa de exposição, determinada na ausência do material absorvedor, em 75%. O coeficiente de homogeneidade é a razão entre a

primeira e a segunda camadas semi-redutoras. A determinação da camada semi-redutora foi feita através de medidas de taxas de exposição, interpondo-se absorvedores de alumínio de espessuras diferentes, que variaram entre 0,191 e 2,722 mm, na trajetória do feixe de radiação-X<sup>(5)</sup>. Os demais parâmetros geométricos, tais como a distância foco-absorvedor e a distância foco-câmara, foram mantidos constantes durante as medidas.

Os dados de taxas de exposição foram representados graficamente em função das espessuras dos absorvedores, para cada diâmetro de colimador. Para se determinar com a precisão requerida os valores das camadas semi-redutoras, foi necessário o ajuste dos dados experimentais, utilizando-se o método dos mínimos-quadrados<sup>(1)</sup>. Com isso, obteve-se, para cada diâmetro do colimador, um valor de camada semi-redutora. Posteriormente, determinou-se as camadas semi-redutoras independentes dos colimadores, utilizando-se a técnica de extrapolação para um campo de radiação de diâmetro nulo, resultando num valor único para cada par fixo de tensão e filtração adicional. Uma vez determinadas as camadas semi-redutoras, obtêm-se as energias efetivas dos feixes de radiação-X considerados, utilizando-se a relação:

$$\text{CSR} = \frac{\ln 2}{\mu/\rho} \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade do material absorvedor e  $\mu/\rho$ , o seu coeficiente de atenuação de massa total para uma energia tal que resulte num valor de CSR idêntica àquela de um feixe monoenergético. Os valores de energia são tabelados em função de  $\mu/\rho$ <sup>(4)</sup>. A Tabela I apresenta as qualidades dos feixes de radiação-X utilizados no presente trabalho e a Tabela II apresenta os resultados obtidos, ou seja, as suas características principais: a primeira e a segunda camadas semi-redutoras, o coeficiente de homogeneidade e a energia efetiva.

**TABELA I**  
**Qualidades dos feixes de radiação-X**

Qualidade (nº)	Tensão nominal (kV)	Corrente nominal (mA)	Filtração adicional (mmAl)
1	25	25	0,445 ± 0,005
2	40	25	0,682 ± 0,001
3	50	25	1,021 ± 0,002

**TABELA II**  
**Características dos feixes de radiação-X**

Qualidade (nº)	1ª Camada semi-redutora (mmAl)	2ª Camada semi-redutora (mmAl)	Coefficiente de homogeneidade	Energia efetiva (keV)
1	0,24 ± 0,07	0,34 ± 0,09	0,7 ± 0,3	14
2	0,51 ± 0,04	0,80 ± 0,02	0,64 ± 0,05	18
3	0,83 ± 0,01	1,38 ± 0,03	0,60 ± 0,01	21

#### **VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO COM A TENSÃO E A CORRENTE NOMINAIS**

Após a determinação dos valores das camadas semi-redutoras e introduzindo-se a filtração adicional correspondente aos valores de 25, 40 e 50 kV de tensão, foram feitas medidas de taxas de exposição variando-se a corrente de 2 a 40 mA. As medidas foram feitas com e sem a utilização de colimador; esta resposta da câmara está respectivamente representada nas Fig. 1 e 2. Observa-se que o comportamento é linear e a diferença entre os valores nos dois casos varia entre 0,4 e 6%. O desvio padrão percentual associado às medidas variou entre 0,3 e 2%.



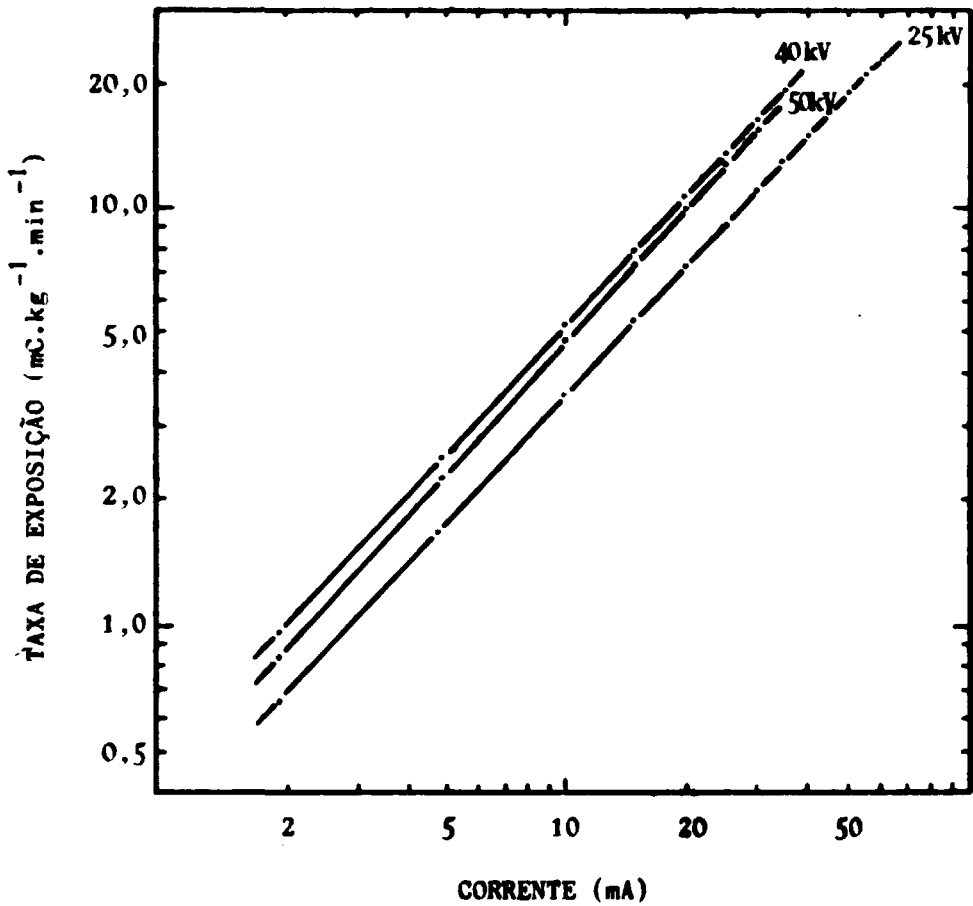


Figura 1: Variação da taxa de exposição com a corrente nominal, com a utilização de colimador com 1,97 cm de diâmetro. Medidas realizadas com a câmara terciária superficial.

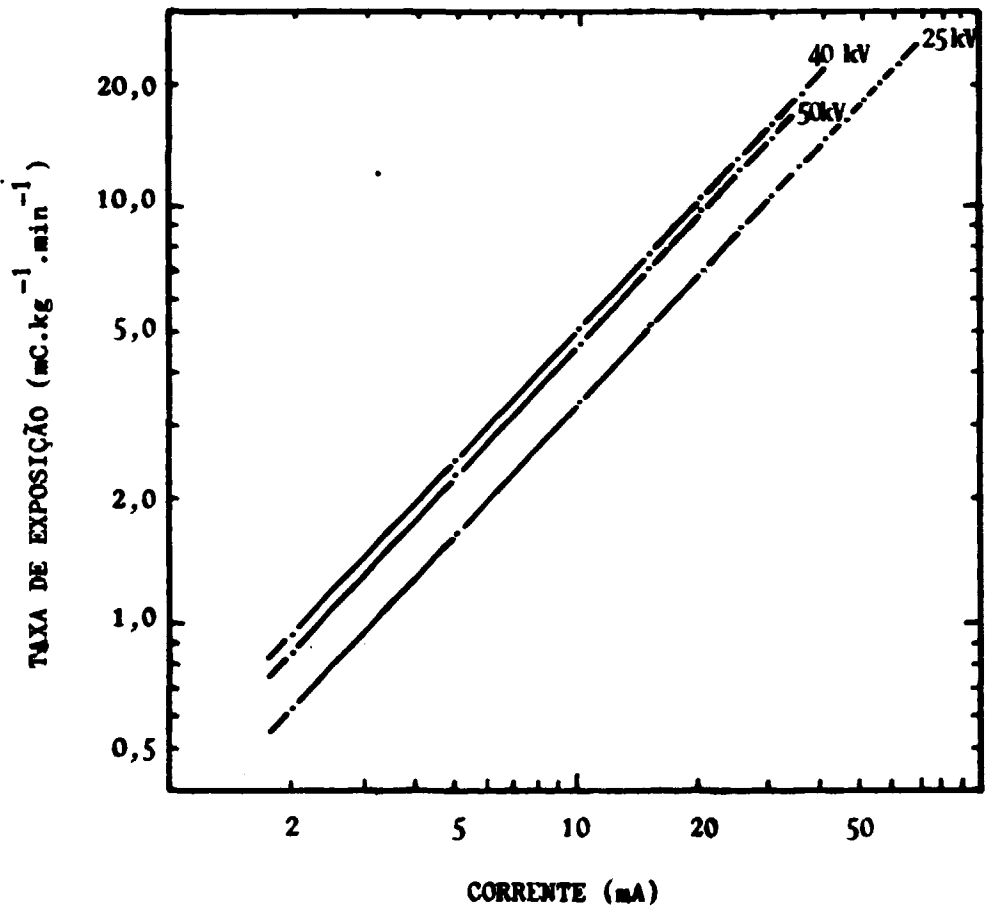


Figura 2: Variação da taxa de exposição com a corrente nominal, sem a utilização de colimador. Medidas realizadas com a câmara terciária superficial.

### DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DA CÂMARA TERCIÁRIA SUPERFICIAL

O estudo da dependência energética tem por finalidade verificar como a câmara terciária superficial responde em relação à energia do feixe de radiação incidente. O valor da taxa de exposição foi obtido a partir de medidas com a câmara superficial padrão secundário. O fator de calibração é obtido pela razão entre a taxa de exposição e a leitura do instrumento.

Na Tabela III tem-se os valores do fator de calibração obtidos para diferentes qualidades de radiação-X.

TABELA III

Dependência energética da câmara terciária superficial  
em feixes de radiação-X

Qualidade nº	Taxa de exposição $\text{mC.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	Fator de calibração $\text{mC.kg}^{-1}.\text{(u.e.)}^{-1}$
1	10,9	$0,264 \pm 0,002$
2	16,2	$0,264 \pm 0,002$
3	15,3	$0,262 \pm 0,002$

Comparando-se estes valores de fator de calibração com os de Jacomini<sup>(3)</sup>, obtidos com o mesmo sistema de raios-X mas localizado em outro laboratório do IPEN, em 1982, tem-se uma diferença máxima menor que 3,5% (caso do campo de radiação-X de energia mais baixa, qualidade nº 1). Estes resultados constituem um teste de controle de qualidade tanto da resposta da câmara de ionização como do estabelecimento dos campos padrões de radiação em questão.

Como a utilização de câmaras de ionização do tipo superficial é recomendada para a radiação-X de baixas energias, os usuários de dosíme-

tros clínicos têm, necessariamente, que adquirir duas câmaras, sendo uma para baixas energias e a outra para médias e altas energias.

Com o objetivo de verificar a possibilidade de se adaptar a câmara superficial para a medida de radiação gama, foram projetadas e construídas diversas capas de Lucite com espessuras variando entre 2,0 e 5,5 mm.

A câmara superficial terciária foi testada em feixes de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$  às distâncias de 45,0 e 40,5 cm respectivamente, utilizando-se todas as capas. Nas Fig. 3 e 4 pode-se observar a resposta da câmara em função da espessura da capa de Lucite, quando em campos de radiação gama de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ : o equilíbrio eletrônico ocorre para as espessuras de 3,0 e 2,5 mm de Lucite respectivamente.

Na Tabela IV tem-se os valores do fator de calibração, obtidos a partir das respostas máximas da câmara das Fig. 3 e 4, para radiação gama.

TABELA IV

Dependência energética da câmara terciária superficial em feixes de radiação gama

Fonte	Atividade TRq	Taxa de exposição $\text{mC.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	Fator de calibração $\text{mC.kg}^{-1}.\text{(u.e.)}^{-1}$
$^{60}\text{Co}$	15,7	11,7	$0,2534 \pm 0,0003$
$^{137}\text{Cs}$	38,7	8,88	$0,2504 \pm 0,0002$

### CONCLUSÕES

O estudo da variação da resposta da câmara terciária superficial em função da tensão e da corrente nominais mostram que existe linearidade da resposta da câmara em função da corrente aplicada ao tubo.

Das Figuras 1 e 2 pode-se observar a influência da área irradiada

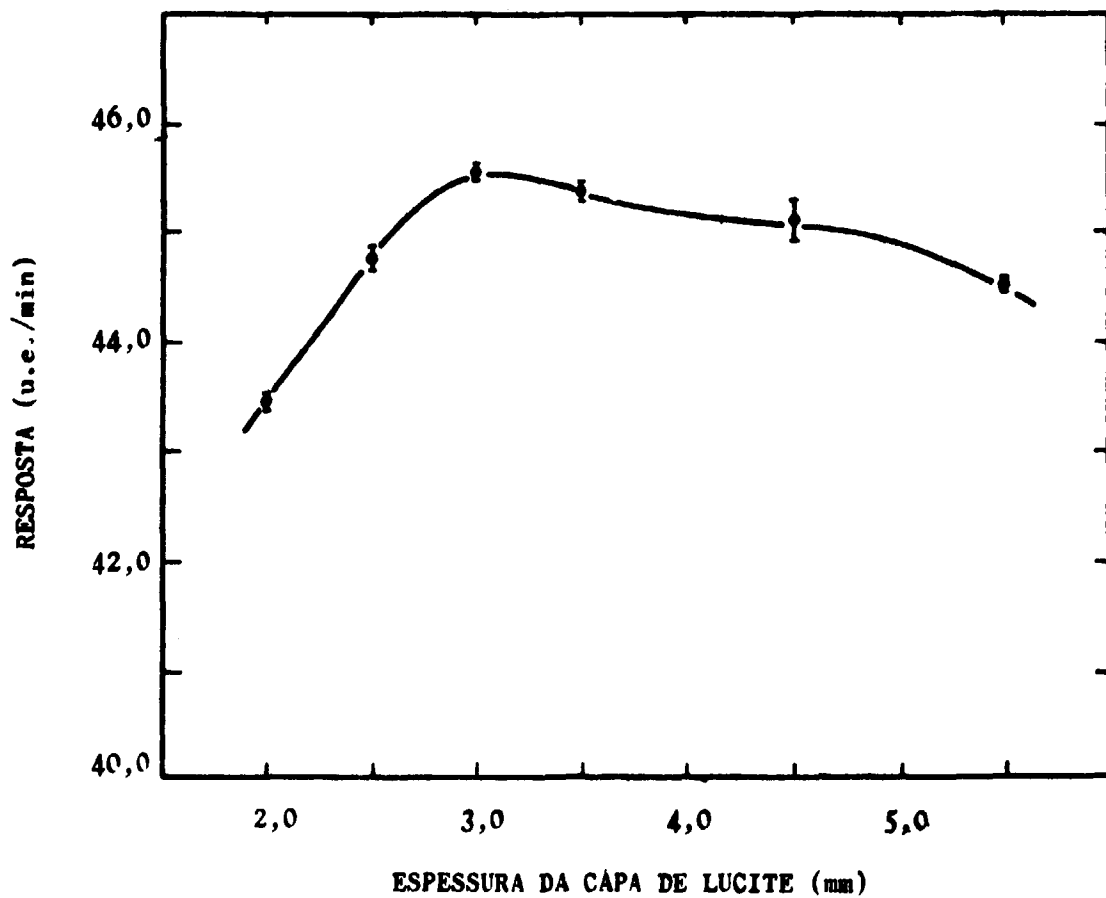


Figura 3: Comportamento da câmara terciária superficial, submetida à radiação gama de  $^{60}\text{Co}$ , em função da espessura da capa de Lucite.

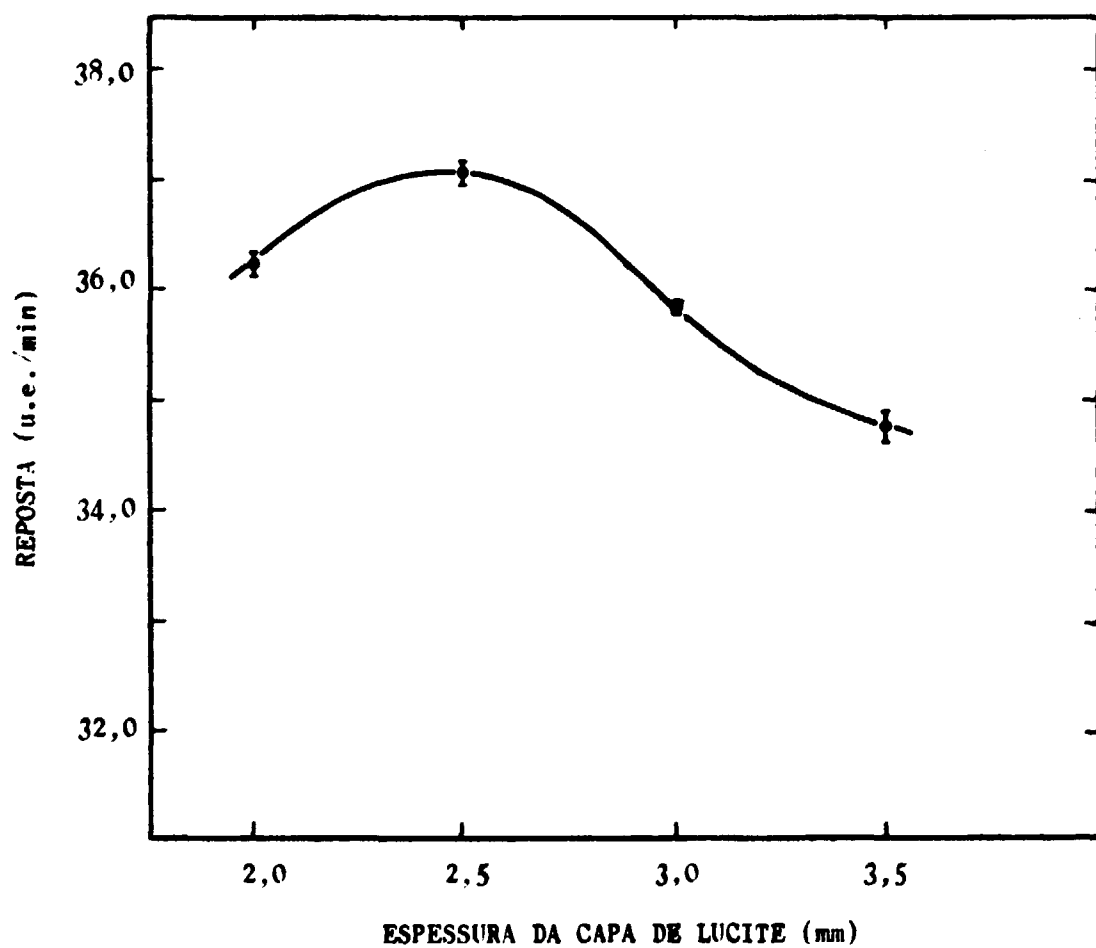


Figura 4: Comportamento da câmara terciária superficial, submetida à radiação gama de  $^{137}\text{Cs}$ , em função da espessura das capas de Lucite.

ao redor da câmara na resposta da mesma. Os valores obtidos sem colimador apresentaram um aumento de até 6% em relação àqueles conseguidos com o uso de colimador no feixe de radiação.

Das Figuras 3 e 4 conclui-se que é possível adaptar-se uma câmara superficial, normalmente utilizada para a dosimetria de feixes de radiação-X de baixas energias, para a medida das radiações gama de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , fazendo-se uso de capas de equilíbrio eletrônico de Lucite com espessura de 3,0 e 2,5 mm, respectivamente.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas Letícia Lucente Campos e Luiz Antonio Ribeiro da Rosa, pelas contribuições preciosas durante a elaboração do texto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HELENE, O.A.M. & VANIN, V.R. *Tratamento estatístico de dados em Física Experimental*. Ed. Edgar Blücher Ltda. São Paulo, 1981.
2. HENRY, W.H. & AITKEN, J.H. Monitoring ionization chamber for an X-ray generator. *Brit. J. Radiol.* 34:516-520, 1961.
3. JACOMINO, V.M.F. *Determinação das características de campos de raios-X de energia baixa*. São Paulo, 1982. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo).
4. JOHNS, H.E. & CUNNINGHAM, J.R. *The Physics of Radiology*. Springfield, Charles C. Thomas Publisher, Illinois, 1978.
5. MASSEY, J.B. *Manual of Dosimetry in Radiotherapy*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1970. (Technical Reports Series 110).