

BR8817378

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

CAMPO DE RADIAÇÃO BETA DE UMA FONTE DE  $^{85}\text{Kr}$

Linda V. Ehlin Caldas e Josef David

IPEN - PUB - 128

PUBLICAÇÃO IPEN 128

DEZEMBRO/1987

SÃO PAULO

**PUBLICAÇÃO IPEN 128**

**DEZEMBRO/1987**

**CAMPO DE RADIAÇÃO BETA DE UMA FONTE DE  $^{85}\text{Kr}$**

Linda V. Ehlín Caldas e Josef David

**DEPARTAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

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

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

C55.00

ISODOSE CURVES  
RADIATION DOSES  
BETA SOURCES  
BREMSSTRAHLUNG  
RADIATIONS

# CAMPO DE RADIAÇÃO BETA DE UMA FONTE DE DE $^{85}\text{Kr}$

Lirida V. Ehlin Caldas e Josef David\*

## RESUMO

O campo de radiação beta de uma fonte de  $^{85}\text{Kr}$  (3,7 GBq) utilizada em aplicações industriais foi determinado, utilizando-se filmes de gamagrafia, um detector de cintilação, uma câmara de extrapolação e dosímetros termoluminescentes (TL) de  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ . Entre outras características, foram obtidas experimentalmente as curvas de isodose tanto de radiação beta como da radiação Bremsstrahlung.

## BETA RADIATION FIELD OF A $^{85}\text{Kr}$ SOURCE

## ABSTRACT

The beta radiation field of a  $^{85}\text{Kr}$  (3,7 GBq) source utilized in industrial applications was determined, with the use of gammagraphy films, a scintillation detector, an extrapolation chamber and thermoluminescent (TL) dosimeters of  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ . Among other characteristics, the isodose curves of beta radiation and Bremsstrahlung radiation were obtained experimentally.

## INTRODUÇÃO

As fontes de  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{85}\text{Kr}$  são muito utilizadas em sistemas de medição e controle de espessura, em escala industrial. Um instrumento deste tipo, dotado de um emissor radioativo embutido de  $^{85}\text{Kr}$ , de atividade 3,7 GBq foi estudado neste trabalho. Para isso ele foi montado numa armação especial, com quatro espaçadores, como pode ser visto no esquema da Figura 1. Desta forma o sistema tem 64 cm de altura e cerca de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  de base. Apresenta um cabeçote, dentro do qual encontra-se a fonte radioativa, voltada para baixo. Quando em funcionamento, nas indústrias, os materiais a serem examinados passam através do instrumento, que possui duas placas metálicas côncavas.

A finalidade principal deste trabalho foi a determinação dos valores da taxa de dose absorvida no ar para a obtenção das curvas de isodose, tanto para a radiação beta como para a radiação Bremsstrahlung da fonte em questão, a diversas distâncias, na região onde se localizam os operadores do instrumento.

O sistema de referência para a radiação beta é a câmara de extrapolação<sup>(1,2,10)</sup>. Vários tipos de detectores termoluminescentes têm sido amplamente utilizados em estudos envolvendo dosimetria beta<sup>(1,3,4,5,6,8,9,10)</sup>.

(\*) "Institut für Strahlenschutz, GSF Neuberberg, Alemanha Federal".

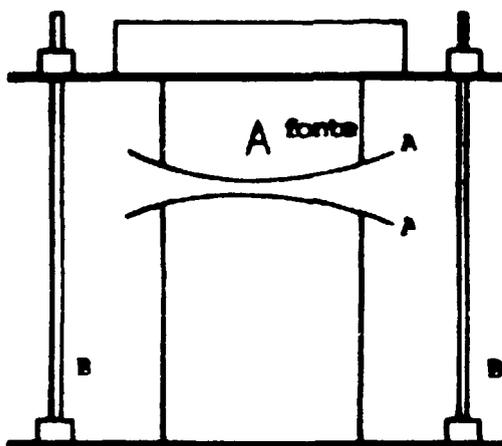


Figura 1 – Esquema do Instrumento. A: Placas metálicas; B: Espaçadores; Fonte:  $^{85}\text{Kr}$  (3,7 GBq)

O método utilizado mostrou-se eficiente para a determinação dos campos de radiação e pode ser aplicado para fontes com aplicações tanto industriais como médicas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados quatro sistemas de medida:

- a) Câmara de extrapolação;
- b) Dosímetros termoluminescentes;
- c) Filmes de gamagrafia;
- d) Detector de cintilação.

A câmara de extrapolação é uma câmara de ionização especial, de placas paralelas. Seu volume ativo (ou sensível) é uma região pequena em forma de disco, entre a folha de entrada e o eletrodo coletor, que é circundado por um anel de guarda. Este anel de guarda tem dois objetivos: impedir a fuga de corrente e definir o volume dentro da câmara de ionização no qual os íons podem alcançar o eletrodo coletor. O eletrodo frontal consiste de uma folha muito fina segura por anel riço, e o espaçamento entre os eletrodos pode ser variado com precisão entre 0,70 e 25,00 mm, por meio de um parafuso micrométrico, com possibilidade de leitura de 0,001 mm.

O potencial é aplicado ao eletrodo fixo, enquanto que o eletrodo coletor é ligado a um sistema de medida de corrente de ionização, composto essencialmente por um amplificador e um eletrômetro. O eletrodo coletor e o anel de guarda são feitos de material equivalente ao tecido.

Variando-se a distância entre os eletrodos, em intervalos de 0,25 cm, mede-se a corrente de ionização, obtendo-se a curva de extrapolação. O coeficiente angular da reta assim obtida é proporcional à taxa de dose absorvida no ar.

A fim de se ter um campo elétrico sempre constante entre os eletrodos no decorrer de cada experiência, toda vez que a profundidade da câmara é variada, também é preciso alterar o valor da tensão. Foi mantido o valor de 10 V/mm entre os eletrodos.

Tendo-se verificado que neste caso o valor da corrente de ionização variava em geral entre  $10^{-15}$  e  $10^{-13}$  A, não foi possível a medida direta da corrente com o eletrômetro digital, pois seu limite inferior de medida estava ao redor de  $10^{-14}$  A. Foi, portanto, necessário usar o método de medida de carga elétrica acumulada durante um determinado intervalo de tempo<sup>(1)</sup>. As medidas de carga foram feitas até um total de 300 segundos, em intervalos de 30s, para ambas as polaridades da tensão aplicada. Os valores da corrente de ionização são obtidos, dividindo-se a diferença de carga elétrica pelo respectivo intervalo de tempo: têm-se dois valores médios correspondendo às duas polaridades. A média entre estes valores fornece a corrente de ionização real. Estes valores de corrente foram sempre normalizados para as condições normais de temperatura e pressão.

O instrumento foi montado num banco óptico em frente à câmara de extração à distância de 30 cm, que é a distância de calibração da radiação beta. Esta distância é definida pelo certificado de calibração que acompanha as fontes radioativas do sistema de padronização secundária de radiação beta, pertencente ao Institut für Strahlenschutz, GSF, Alemanha Federal, onde foi realizado o presente trabalho.

Termoluminescência (TL) é o fenômeno físico caracterizado pela emissão de luz por um material em processo de aquecimento. A termoluminescência pode ser induzida na amostra por radiação; este fenômeno pode também ser observado quando o material é submetido a outros tratamentos, como choques mecânicos, campos elétricos ou pressões elevadas.

Os materiais termoluminescentes são, em geral, cristais iônicos, nos quais a banda de valência se encontra repleta e a de condução vazia, ambas separadas por uma faixa de estados energéticos não permitidos aos elétrons e denominada banda proibida. A maioria dos cristais iônicos, como por exemplo os halogenetos alcalinos, é transparente na região que vai do ultra-violeta ao infravermelho. Por outro lado, a incorporação de impurezas ou a formação de defeitos na rede cristalina introduz níveis de energia metaestáveis localizados na banda proibida, denominadas armadilhas. Elas podem ou não estar associadas a centros de cor, que constituem uma configuração eletrônica responsável pelas bandas de absorção na região normalmente transparente do cristal.

Durante uma exposição à radiação ionizante são produzidos no cristal pares elétrons-lacunas, que migram através do mesmo até se recombinarem ou serem capturados em armadilhas. Aquecendo-se posteriormente a amostra, os elétrons, absorvendo energia térmica, escapam das armadilhas, indo para a banda de condução. Podem, então, movimentar-se livremente no cristal até se recombinarem com uma lacuna armadilhada, eventualmente emitindo luz.

A quantidade de luz emitida é mensurável, aumentando sua intensidade com a população de elétrons armadilhados. Esta última cresce com a exposição até atingir um máximo. Desta forma, a luz medida na emissão TL depende da população de elétrons que, por sua vez, depende da exposição recebida pela amostra. Este é o princípio da dosimetria termoluminescente.

A curva de emissão é a melhor característica de uma amostra termoluminescente. Representa a luz emitida pelo cristal como função da temperatura ou do tempo de aquecimento e consiste, em geral, de vários picos. Cada um deles está associado a uma determinada armadilha de profundidade E, sendo caracterizado pela temperatura em que ocorre o máximo de emissão. A formação de um pico de emissão termoluminescente está relacionada com a probabilidade de escape do elétron da armadilha correspondente, isto é, quando a temperatura da amostra é menor que a do pico considerado, poucos elétrons são liberados, e a luz emitida é fraca. Aquecendo-se o cristal, a probabilidade de escape aumenta, causando um aumento na emissão, que é máxima à temperatura do pico. A intensidade decresce, em seguida, devido à redução do número de elétrons armadilhados.

Neste trabalho foram utilizadas amostras de  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ , com espessura de  $60\mu\text{m}$ , envoltas em folhas de plástico Makrofol ( $1,22\text{ mg/cm}^2$ ) durante as irradiações.

Os filmes de gamagrafia, do tipo comum, foram utilizados com o mínimo de material envolvente, para permitir uma imagem nítida do campo de radiação beta da fonte de  $^{85}\text{Kr}$ .

Os detectores de cintilação, ou cintiladores, são constituídos por materiais fluorescentes, que têm a propriedade de emitir luz quando absorvem radiação. Desde o aparecimento das válvulas fotomultiplicadoras em 1947, que podem contar cintilações, este processo de detecção da radiação tornou-se muito importante. Os cintiladores possuem muitas vantagens sobre os detectores a gás: eles indicam não somente a presença de partículas, mas também registram a energia destas partículas. A radiação incidente interage com o detector, resultando a ionização e excitação do mesmo, e portanto a produção de luz. Esta é transmitida eficientemente para o fotocátodo da válvula fotomultiplicadora, diretamente ou por reflexão, e causa a emissão de elétrons do fotocátodo. Estes são, por sua vez, acelerados e focalizados para os dinodos da válvula através de um campo elétrico produzido por uma diferença de potencial aplicada à válvula fotomultiplicadora. Cada elétron arranca de 3 a 5 novos elétrons, portanto o ganho da corrente para uma válvula típica de 10 estágios é da ordem de  $10^6$ .

A calibração do detector de cintilação deste trabalho foi realizada através dos dosímetros termoluminescentes de  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ , mesmo porque ele só foi utilizado em medidas relativas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### a) Câmara de Extrapolação

A câmara de extrapolação permitiu a determinação da taxa de dose absorvida no ar  $\dot{D}$  a 30 cm da fonte, atrás de uma camada de  $5,7 \text{ mg/cm}^2$  de densidade superficial de material equivalente a tecido (material da janela de entrada da câmara), obtendo-se o valor:

$$\dot{D} = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ Gy/h}$$

Para isso foram utilizados o coeficiente angular da curva de extrapolação e o fator de calibração obtido através de uma interpolação numa tabela de fatores de calibração em função dos valores da energia máxima das fontes de  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  e  $^{147}\text{Pm}$ .

A variação com a distância da intensidade desta radiação foi determinada entre 20 e 60 cm: Figura 2. Tem-se aproximadamente uma reta no gráfico logarítmico, sem, entretanto, seguir apenas a lei do inverso do quadrado da distância. Neste caso tem-se para o parâmetro distância a potência 3,6. Para esta experiência a profundidade da câmara e a tensão foram mantidas fixas em 1,00 mm e 10 V respectivamente.

Durante a experiência realizada para a determinação dos fatores de transmissão, a distância entre a fonte e a câmara foi de 21 cm. A câmara foi recoberta sucessivamente com folhas plásticas Hostaphan com espessuras entre 2,5 e 300  $\mu\text{m}$  e placas de Plexiglas de 1,0 e 1,5 mm. A corrente de ionização foi representada em função da densidade superficial destas camadas absorvedoras adicionais. Uma extrapolação para densidade superficial nula possibilitou a determinação dos dados para a curva da Figura 3, onde foram representados os fatores de transmissão em função da camada absorvedora, em unidades de  $\text{mg/cm}^2$ . Pode-se observar um comportamento decrescente. Desta figura foram obtidos os valores de fatores de transmissão representados na Tabela I.

### b) Dosímetros Termoluminescentes

Com o objetivo de se obter um perfil do comportamento vertical da intensidade da radiação, os dosímetros termoluminescentes de  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  foram expostos à radiação à distância de 26 cm da fonte, variando-se a altura em relação à base do instrumento em estudo entre 7 e 70 cm. O resultado pode ser visto na Figura 4, onde foram representados os valores da taxa de dose absorvida no ar em função da altura. Foi marcada a posição do centro da abertura (31 cm de altura), que não coincide com a posição da taxa de dose máxima, devido à situação geométrica da fonte dentro do instrumento.

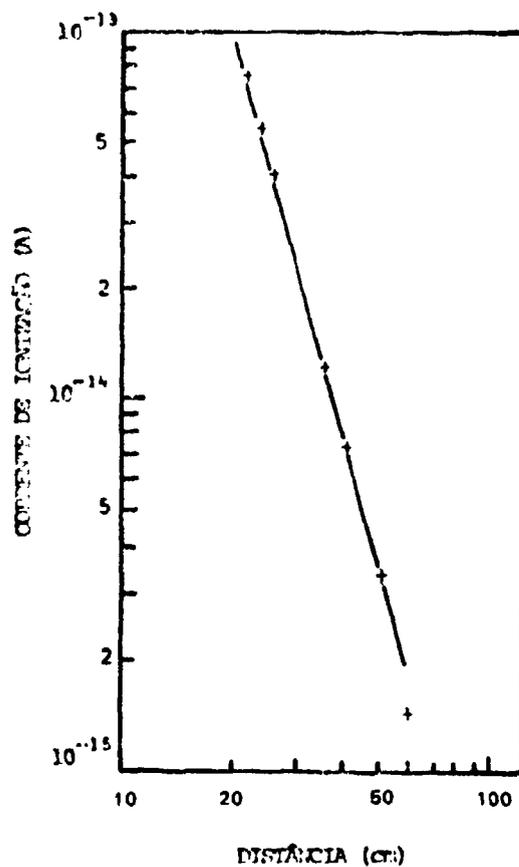


Figura 2 – Variação da Corrente de Ionização com a Distância Entre a Câmara de Extrapolação e a Fonte de  $^{85}\text{Kr}$  do Instrumento.

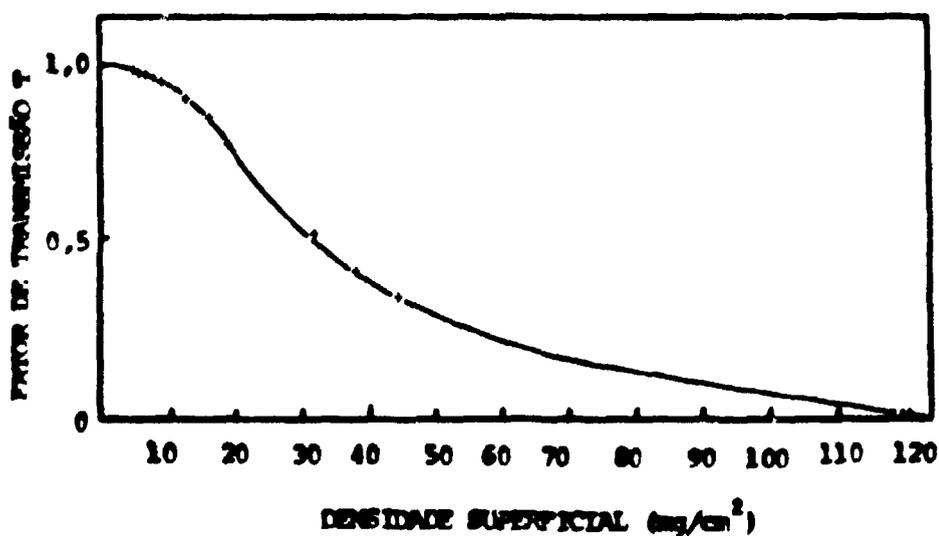


Figura 3 – Fatores de Transmissão para a Fonte de  $^{85}\text{Kr}$  do Instrumento, em Camada Absorvedora Equivalente a Tecido, Utilizando-se a Câmara de Extrapolação.

Tabela I

Fator de Transmissão, Fonte de  $^{85}\text{Kr}$ ; Distância Fonte-detector: 21 cm.

ESPESSURA DE TECIDO		FATOR DE TRANSMISSÃO
mm	mg/cm <sup>2</sup>	
0,01	1	1,000
0,03	3	0,999
0,05	5	0,990
0,07	7	0,980
0,10	10	0,940
0,20	20	0,735
0,50	50	0,285
1,00	100	0,065

A constatação da radiação ser beta foi realizada, recobrando-se as amostras termoluminescentes com placas de Plexiglas de 10 mm de espessura.

Variando-se a distância entre os dosímetros termoluminescentes e a fonte entre 25 e 100 cm, foi observado o mesmo comportamento que com a câmara de extrapolação.

A taxa de dose absorvida no ar, determinada à distância de 30 cm, como no caso da câmara de extrapolação, apresentou o valor:

$$\dot{D} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ Gy/h}$$

Comparando-se os dois valores, pode-se notar uma diferença de apenas 7,5%, que está perfeitamente dentro do erro experimental do tipo de arranjo em questão. Esta concordância foi portanto considerada excelente.

#### c) Filmes de Gamagrafia

Os filmes de gamagrafia foram expostos à radiação da fonte de  $^{85}\text{Kr}$  à distância de 25 cm, nas mesmas condições que os dosímetros termoluminescentes. As medidas de densidade óptica destes filmes permitiram obter o mesmo resultado mostrado na Figura 4.

#### d) Detector de Cintilação

Tendo-se em vista a determinação das curvas de isodose, as medidas com o detector de cintilação foram feitas às distâncias de 25, 50, 75 e 100 cm da fonte e às alturas de 7, 31 e 65 cm. Para cada uma destas posições foram realizadas quatro medidas: com fonte aberta e fechada, com e sem placa absorvedora de radiação beta, de Plexiglas de 10 mm de espessura. Nestas condições foi variado o ângulo em relação a uma posição fixa do instrumento, entre 0 e 360°, em intervalos de 30°.

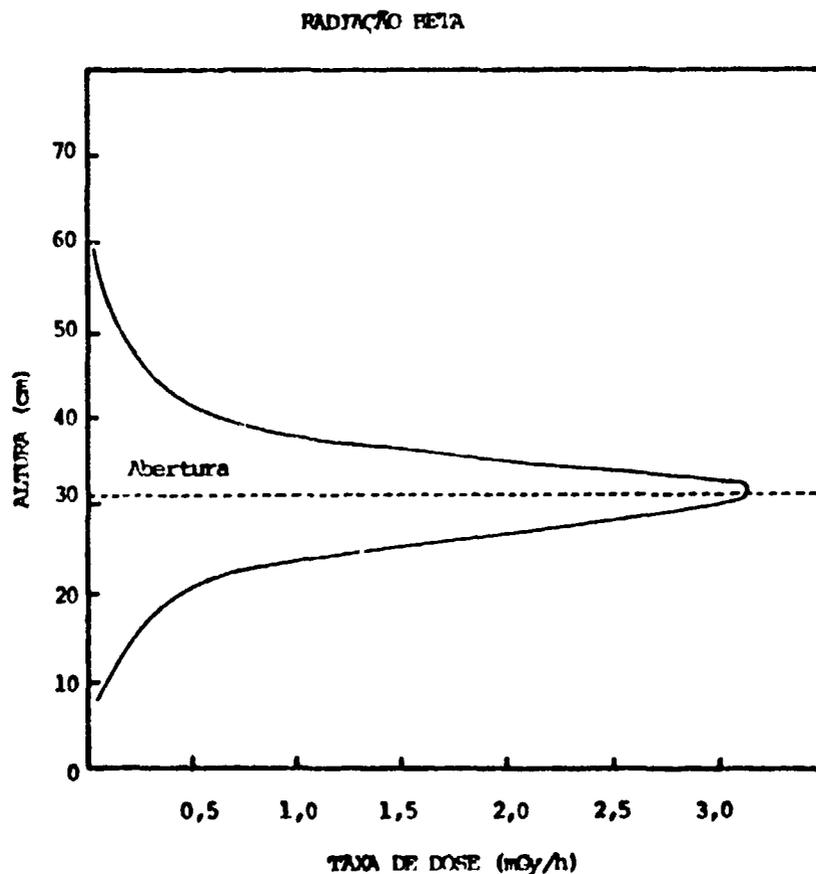


Figura 4 – Perfil da Taxa de Dose da Radiação Beta ( $^{85}\text{Kr}$ ). Medidas à Distância de 25 cm do Centro do Instrumento.

Na Figura 5 tem-se as curvas de isodose para as taxas de dose absorvida de 0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 mGy/h de radiação beta. Estes dados são obtidos no ar, atrás de uma camada absorvedora de  $7 \text{ mg/cm}^2$ , de modo que se possa equipará-los com a dose da pele do corpo. Destas medidas resultou um limite de controle<sup>(7)</sup>. Este limite corresponde à curva de isodose de  $72,0 \mu\text{Gy/h}$ , que leva a 150 mSv/ano, o que representa 3/10 da dose máxima permissível anual de 500 mSv para irradiação de extremidades de trabalhadores, em regime de trabalho de 40 horas por semana. Neste caso, as mãos, os antebraços e a pele podem ser expostos à radiação.

Com a fonte fechada não foi detectada radiação beta.

As curvas de isodose da radiação Bremsstrahlung estão representadas na Figura 6 para as taxas de dose absorvida no ar de 1,0, 2,0 e  $5,0 \mu\text{Gy/h}$ . Para a determinação do limite de controle<sup>(7)</sup> neste caso foi usada a dose para o corpo inteiro. Este limite corresponde à curva de isodose de  $7,2 \mu\text{Gy/h}$  e representa o limite de uma região na qual 3/10 da dose máxima permissível anual de 50 mSv pode ser atingido.

As curvas de isodose das Figuras 5 e 6 foram feitas para altura de 31 cm, que é a posição da abertura do instrumento.

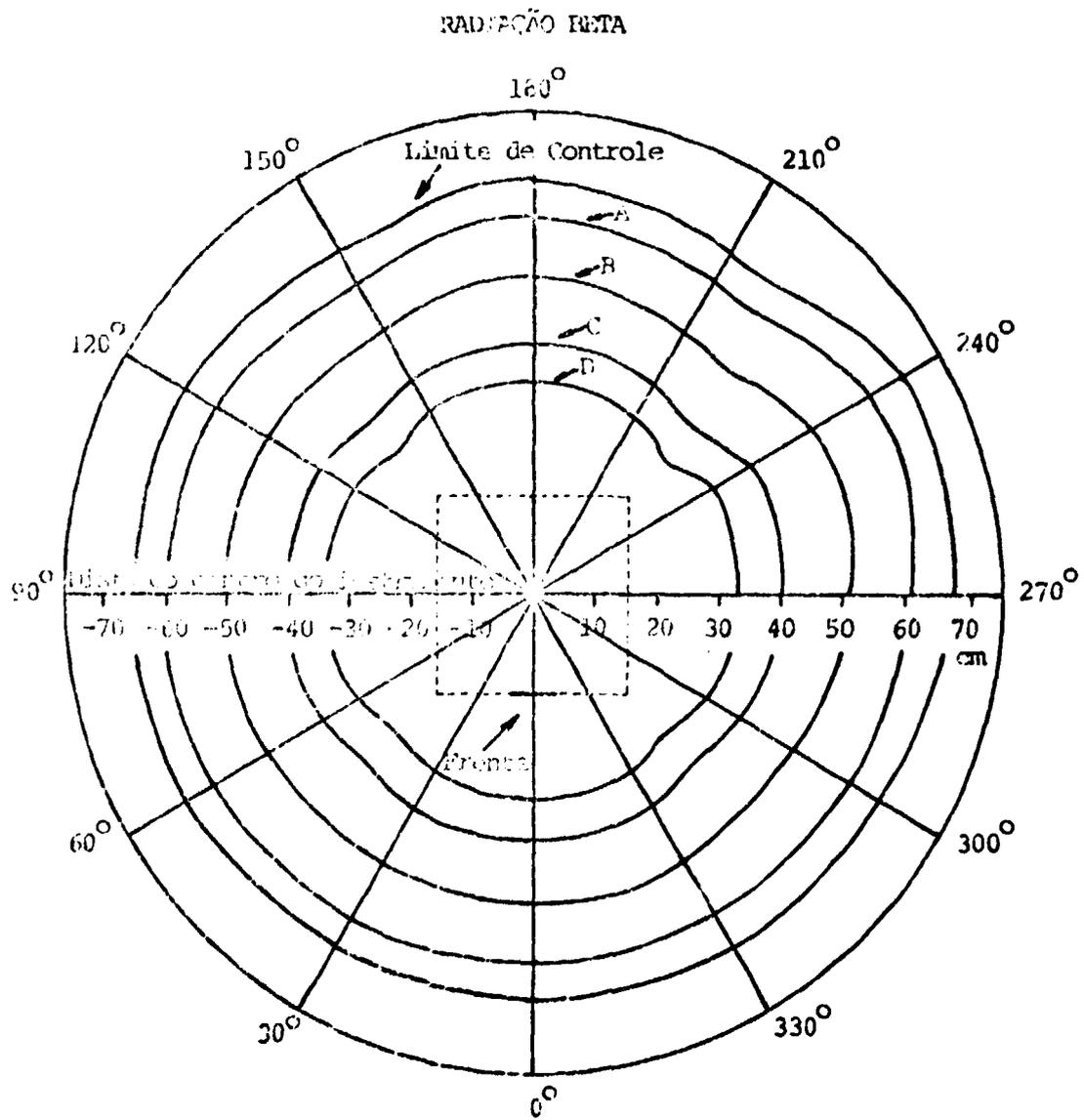


Figura 5 – Curvas de Isodose (à altura de 31 cm) de Radiação Beta de Fonte de  $^{85}\text{Kr}$  (instrumento).  
 O limite de controle representa a taxa de dose de 72,0  $\mu\text{Gy/h}$ . A: 0,1 mGy/h; B: 0,2 mGy/h;  
 C: 0,5 mGy/h; D: 1,0 mGy/h.

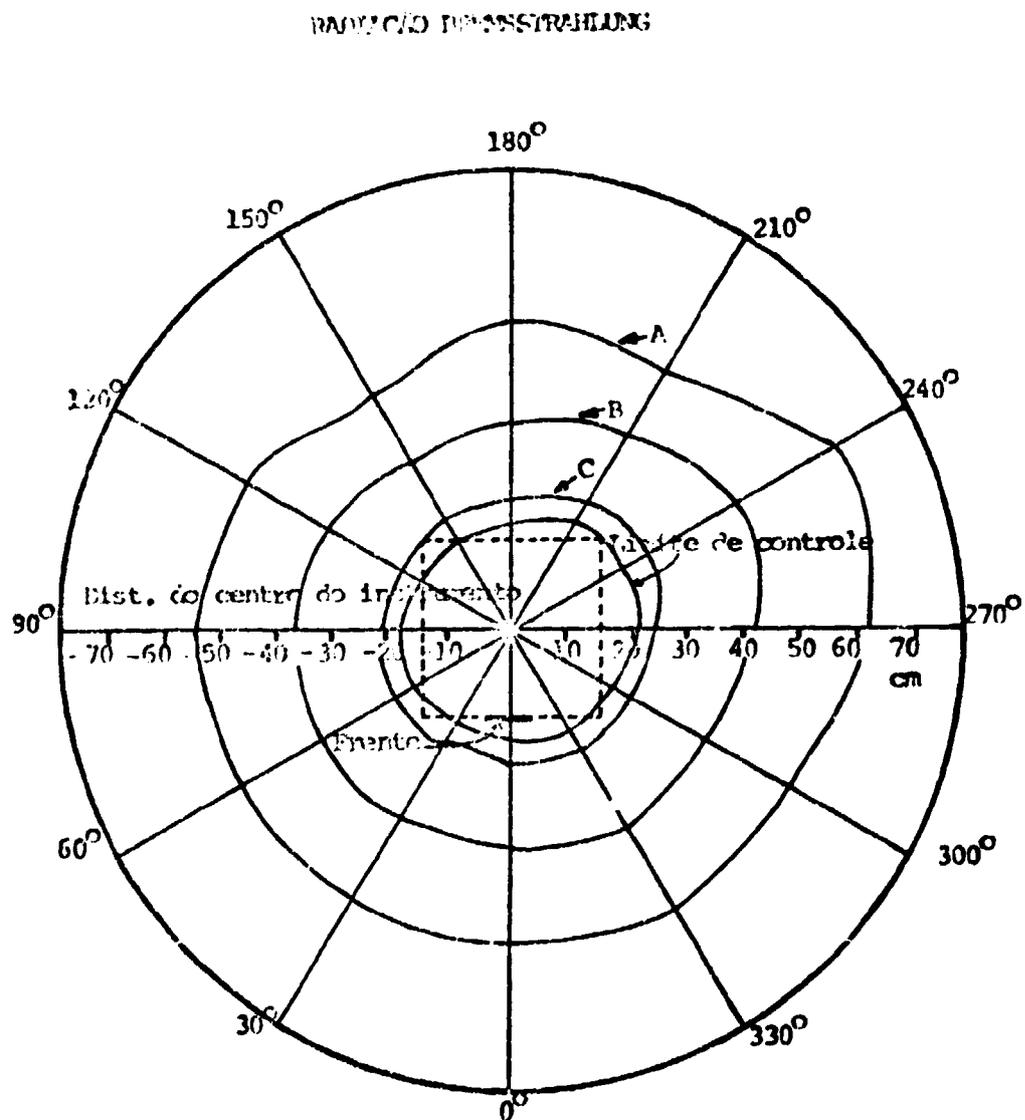


Figura 6 - Curvas de Isodose (à altura de 31 cm) de Radiação Bremsstrahlung da Fonte de  $^{85}\text{Kr}$  (instrumento). O limite de controle representa a taxa de dose de  $7,2\mu\text{Gy/h}$ . A:  $1,0\mu\text{Gy/h}$ ; B:  $2,0\mu\text{Gy/h}$ ; C:  $5,0\mu\text{Gy/h}$ .

A Figura 7 apresenta as curvas de isodose em plano vertical, onde se pode observar uma simetria aproximada. A radiação Bremsstrahlung existe mesmo com fonte fechada.

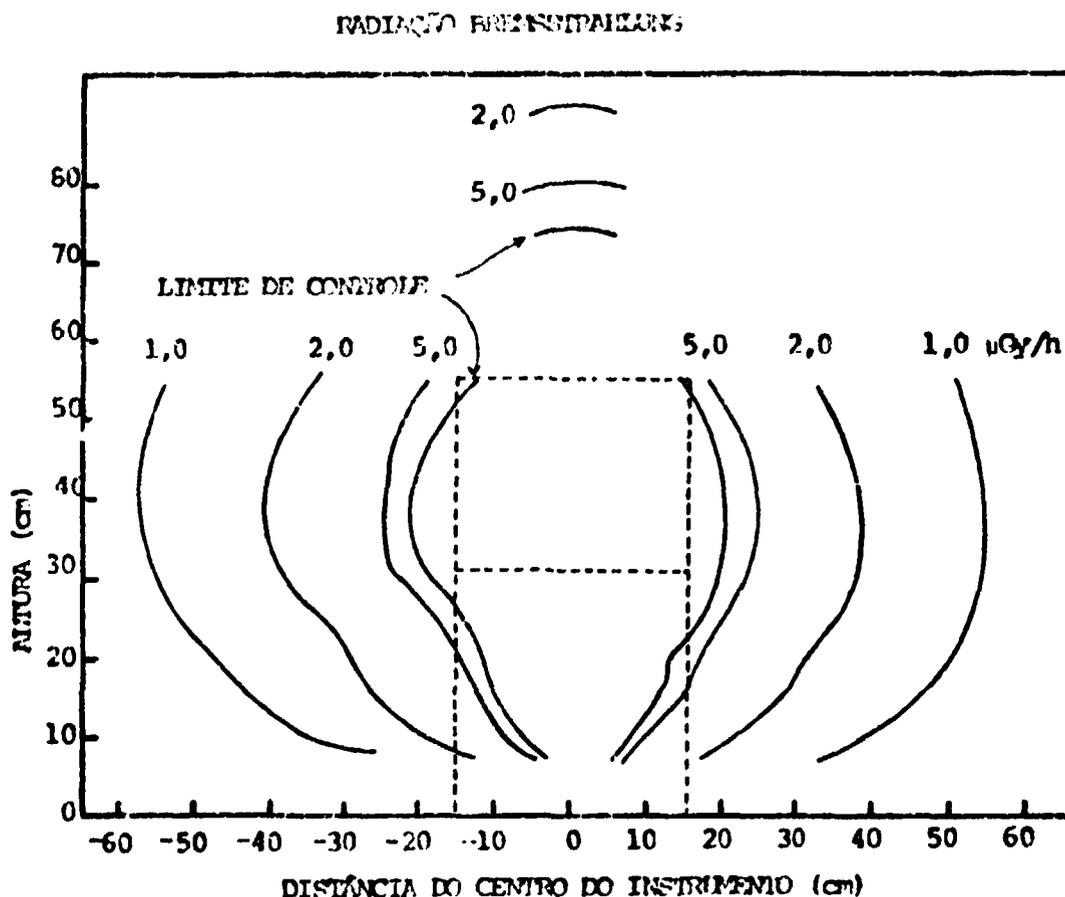


Figura 7 – Curvas de Isodose (plano vertical) da Radiação Bremsstrahlung da Fonte de  $^{85}\text{Kr}$  (instrumento). O limite de controle representa a taxa de dose de  $7,2\mu\text{Gy/h}$ .

### CONCLUSÕES

O operador do instrumento em questão deverá manter uma distância mínima aproximada de 85 cm da fonte enquanto esta estiver aberta (sistema ligado). Com fonte fechada, entretanto, a distância mínima a ser observada é aproximadamente de 22 cm. Além disso, o uso de óculos de proteção e roupa adequada pelo operador é altamente recomendável, visto que a radiação beta apresenta efeitos principalmente nos olhos e na pele das pessoas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CALDAS, L. V. E. *Alguns métodos de calibração e de dosimetria da radiação beta*. São Paulo, 1980. (Tese de doutoramento, Instituto de Física, Universidade de São Paulo).
2. CALDAS, L. V. E. Performance characteristics of an extrapolation chamber for beta radiation detection. *Appl. Radiat. Isot.*, 37(9):988-90, 1986.

3. CAMFOS, L. L. Thermoluminescent  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  Teflon pellets for beta radiation detection. *Radiat. Prot. Dosim.*, 18(2):95-8, 1987.
4. CHRISTENSEN, P. & PROKIĆ, M. Energy and angular response of TL dosimeters for beta ray dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.*, 17:83-7, 1986.
5. FRANCIS, T. M.; O'HAGAN, J. B.; RICHARDS, D. J.; DRISCOLL, C. M. H. Responses of thermoluminescent materials to beta radiation and low energy photons. *Radiat. Prot. Dosim.*, 17:89-95, 1986.
6. HEINZELMANN, M. & KRATZ, H. The response of thermoluminescent dosimeters to beta radiation in different radiation fields. *Radiat. Prot. Dosim.*, 17:77-81, 1986.
7. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. Jan. 17, 1977. *Annals of the ICRP*, 1(3), 1977. (ICRP Publication 26).
8. ROSA, L. A. R. da & CALDAS, L. V. E. Skin beta-dose assessment with ultra-thin thermoluminescent detectors. *Phys. Med. Biol.*, 31(6):677-82, 1986.
9. ROSA, L. A. R. da; CALDAS, L. V. E.; CUNHA, P. G. Thermoluminescence characteristics of ultra-thin  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  for beta radiation detection. *Radiat. Prot. Dosim.*, 14(4):329-31, 1986.
10. UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Beta dosimetry: Proceedings of the International Beta Dosimetry Symposium, held in Washington, D. C., Feb. 15-18, 1983.* Washington, D. C., 1984. p.375-78. (NUREG/CP-0050).