

BR8818758

ISSN 0101-3024

CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

**DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DAS DOSES ABSORVIDAS
DEVIDO ÀS RADIAÇÕES BETA E GAMA COM
CaSO₄:Dy PRODUZIDO NO IPEN**

Letícia Lucente Campos e Luiz Antônio Ribeiro da Rosa

PUBLICAÇÃO IPEN 143

JULHO/1988

SÃO PAULO

**DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DAS DOSES ABSORVIDAS
DEVIDO ÀS RADIAÇÕES BETA E GAMA COM
CaSO₄:Dy PRODUZIDO NO IPEN**

Letícia Lucente Campos e Luiz Antonio Ribeiro da Rosa

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

GAMMA RADIATION

RADIATION MONITORING

THERMOLUMINESCENT DOSEMETERS

CESIUM 137

RADIATION ACCIDENTS

IPEN - Doc - 3011

Aprovado para publicação em 08/04/88.

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

**DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DAS DOSES ABSORVIDAS DEVIDO ÀS RADIAÇÕES
BETA E GAMA COM $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ PRODUZIDO NO IPEN***

Letícia Lucente Campos e Luiz Antonio Ribeiro da Rosa¹

RESUMO

Como consequência do acidente radiológico de Goiânia, surgiu a necessidade urgente de se desenvolver um dosímetro capaz de avaliar, simultaneamente, as doses absorvidas de radiação beta e gama do isótopo radioativo ^{137}Cs , que é um emissor beta-gama. Assim foi desenvolvido pelo Laboratório de Produção de Materiais Dosimétricos do IPEN um porta-dosímetros simples, prático, leve e de baixo custo, utilizando as pastilhas termoluminescentes de pequena espessura (0,20mm), apropriadas para detecção de radiação beta, produzidas pelo mesmo laboratório. Esses dosímetros foram utilizados tanto por alguns técnicos do IPEN que prestaram serviço em Goiânia, como também serviram para avaliar as contaminações interna e externa apresentadas por algumas vítimas do acidente internadas no Hospital Naval Marcílio Dias.

**SIMULTANEOUS DETERMINATION OF ABSORBED DOSES DUE
TO BETA AND GAMMA RADIATIONS WITH $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ PRODUCED AT IPEN**

ABSTRACT

Due to the Goiânia radiological accident, it was necessary to develop urgently a dosimeter in order to evaluate, simultaneously, beta and gamma absorbed doses, due to ^{137}Cs radiations. Therefore, the Dosimetric Material Production Laboratory of IPEN developed a simple, practical, light and low cost badge using small thickness (0,20mm) thermoluminescent $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ pellets produced by the same laboratory. These pellets are adequate for beta radiation detection. These dosimeters were worn by some IPEN technicians who worked in Goiânia city, and were used to evaluate the external and internal contaminations presented by the accident victims interned at the Hospital Naval Marcílio Dias.

INTRODUÇÃO

Como consequência dos acontecimentos ocorridos na cidade de Goiânia, onde uma cápsula de ^{137}Cs foi aberta causando um sério acidente radiológico-

* Adaptação do trabalho submetido para publicação na revista Radiation Protection Dosimetry.

(1) Pesquisador do Instituto de Radioproteção e Dosimetria IRD-CNEN/RJ.

co, surgiu a necessidade de um dosímetro, de alta sensibilidade, que fosse capaz de discriminar radiação beta e gama, considerando que o isótopo radioativo artificial ^{137}Cs é um emissor beta-gama.

O Laboratório de Produção de Materiais Dosimétricos do IPEN foi contactado, uma vez que este produz pastilhas termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, de pequena espessura (0,20mm), específicas para detecção de radiação beta⁽¹⁾.

Os dosímetros a serem desenvolvidos necessitavam ser leves, práticos e de alta sensibilidade, porque deveriam ser utilizados diretamente em contacto com a pele das vítimas do acidente internadas no Hospital Naval Marcílio Dias no Rio de Janeiro, com o intuito de se poder distinguir a contaminação externa apresentada por estas vítimas.

Levando-se em consideração uma série de fatores, tais como as energias das radiações emitidas pelo ^{137}Cs (a energia média dos betas é de 0,178 MeV⁽²⁾ e a energia dos gamas de 0,662 MeV), a atenuação destas radiações em diferentes materiais, as fontes de radiação beta e gama, calibradas, disponíveis no Laboratório de Calibração do IPEN e a sensibilidade do material termoluminescente a ser utilizado, optou-se pelo desenvolvimento de um dosímetro selado em plástico maleável preto, com filtros de Teflon, utilizando como material sensível as pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (0,20mm).

Com o desenrolar dos trabalhos dos técnicos do IPEN enviados a Goiânia após o acidente, surgiu, também, a necessidade de alguns destes usarem, além do dosímetro de lapela, dosímetros de extremidade capazes de avaliar as doses equivalentes beta e gama. Devido aos excelentes resultados obtidos após os testes e calibrações do novo dosímetro em campos beta, gama e mistos beta-gama, os mesmos foram fornecidos aos técnicos para serem utilizados com esta finalidade.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Descrição do Dosímetro

O dosímetro consta de quatro pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ + Teflon com es-

pessa de 0,20mm que são seladas em plástico flexível preto (espessura de $16,5\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$), o que garante a não interferência da possível presença de radiação ultra-violeta e facilita a descontaminação, caso isto seja necessário. Duas pastilhas são posicionadas atrás de filtros de Teflon com espessura de $315\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$, que funcionam como blindagem para radiação beta. Esta espessura de Teflon assegura a condição de equilíbrio eletrônico no caso da radiação gama emitida pelo ^{60}Co . As outras duas pastilhas são usadas sem nenhuma filtração. As pastilhas blindadas são utilizadas para a avaliação da dose absorvida devido à radiação gama, enquanto que as demais, não blindadas, para a avaliação da dose absorvida devido a radiação beta. O leitor termoluminescente (TL) empregado na avaliação da resposta TL das pastilhas é um Harshaw modelo 2000 A+B.

1) Calibração Gama

O fator de calibração das pastilhas blindadas para a radiação gama do ^{137}Cs e a relação entre as respostas TL das pastilhas não blindadas e blindadas para a mesma radiação, levando-se em conta que em nenhum dos dois casos tem-se condição de equilíbrio eletrônico, foi determinado irradiando três dosímetros (1 mGy) com uma fonte selada de ^{137}Cs com atividade de 2,3 GBq (radiação gama).

ii) Calibração Beta

O fator de calibração das pastilhas não blindadas para a radiação beta do ^{137}Cs foi extraído da curva de dependência energética do fator de calibração das pastilhas não blindadas, uma vez que não é possível se obter isoladamente a radiação beta do ^{137}Cs . Esta curva de dependência energética foi determinada irradiando-se três dosímetros para cada campo de radiação beta com diferentes energias médias, produzido por fontes de $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ (1,5 GBq), ^{204}Tl (5,1 MBq) e ^{147}Pm (81 MBq) do Laboratório de Calibração do IPEN. Foram utilizados filtros de plástico para garantir a homogeneidade do campo de radiação num diâmetro de 11 cm nas distâncias de irradia-

ção. Outra curva apresentando a relação entre as respostas TL das pastilhas blindadas e não blindadas em função da energia média da radiação beta foi, também, obtida. Tal curva permite a avaliação da relação entre as respostas TL das pastilhas blindadas e não blindadas para energia média da radiação beta do ^{137}Cs .

iii) Algoritmo para a avaliação das doses absorvidas no ar beta e gama com o uso do dosímetro proposto

Após a avaliação das relações entre as respostas TL das pastilhas blindadas e não blindadas para as radiações beta e gama do ^{137}Cs , um algoritmo pode ser montado para avaliar as doses absorvidas no ar beta e gama, devido a este radionuclídeo, através do dosímetro proposto. O algoritmo tem a forma

$$\begin{aligned} L_{\beta} + \alpha_1 L_{\gamma} &= TL_{NB} \\ \alpha_2 L_{\beta} + L_{\gamma} &= TL_B \end{aligned} \quad (1),$$

onde L_{β} é a resposta TL das pastilhas não blindadas para os raios beta do ^{137}Cs , $\alpha_1 L_{\gamma}$ é a resposta TL das pastilhas não blindadas para a radiação gama do ^{137}Cs , TL_{NB} é a resposta TL total das pastilhas não blindadas devido a uma irradiação com uma fonte de ^{137}Cs não selada, $\alpha_2 L_{\beta}$ é a resposta TL das pastilhas blindadas para os raios beta do ^{137}Cs , L_{γ} é a resposta das pastilhas blindadas para a radiação gama do ^{137}Cs , TL_B é a resposta TL total das pastilhas blindadas devido a uma irradiação com uma fonte de ^{137}Cs não selada, α_1 é a relação entre as respostas TL das pastilhas não blindadas e blindadas para a radiação do ^{137}Cs e α_2 é a relação entre as respostas TL das pastilhas blindadas e não blindadas para a radiação do ^{137}Cs . A dose absorvida no ar devido à radiação beta, D_{β} , e a dose absorvida no ar à radiação gama, D_{γ} , podem ser avaliadas utilizando-se as fórmulas

$$D_{\beta} = L_{\beta} \cdot fc_{\beta} \quad (2)$$

e

$$D_{\gamma} = L_{\gamma} \cdot fc_{\gamma} \quad (3),$$

onde fc_{β} e fc_{γ} são, respectivamente, o fator de calibração para a radiação beta do ^{137}Cs da pastilha não blindada e o fator de calibração para a radiação gama do ^{137}Cs da pastilha blindada. O lote de pastilhas de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}+\text{Teflon}$ utilizado tinha homogeneidade melhor que 5% (1σ) e cada pastilha teve sua resposta TL corrigida pelo seu fator de sensibilidade, determinado através de uma irradiação do lote (1 mGy), sobre condição de equilíbrio eletrônico, com uma fonte de ^{60}Co (0,4 GBq).

iv) O limite mínimo de detecção

O limite mínimo de detecção foi assumido como 3σ , onde σ é o desvio padrão da média do sinal TL obtido com pastilhas não irradiadas. No caso da radiação beta do ^{137}Cs , o limite mínimo de detecção, em termos de dose absorvida no ar, é $3\sigma \cdot fc_{\beta}$. Já no caso da radiação gama do ^{137}Cs , o limite mínimo de detecção, também em dose absorvida no ar, é $3\sigma \cdot fc_{\gamma}$.

v) Linearidade e Sensibilidade

O Laboratório de Metrologia Nuclear do IPEN calibrou uma fonte não selada de ^{137}Cs (0,2 MBq) para ser usada para testar a linearidade e a sensibilidade da resposta TL do dosímetro desenvolvido. O dosímetro foi colocado sobre esta fonte por diferentes períodos de tempo, ou seja, 5, 15, 30 e 45 minutos. O algoritmo (1) foi empregado para avaliar as doses absorvidas no ar beta e gama devido a tal fonte.

RESULTADOS

O fator de calibração para a radiação gama do ^{137}Cs da pastilha blindada foi determinado como sendo igual a $0,207 \text{ mGy} \cdot \text{nC}^{-1}$. A resposta TL da pastilha não blindada para a radiação gama do ^{137}Cs é 1,08 vezes maior que a resposta TL da pastilha blindada para mesma radiação, o que significa que α_1 (algoritmo (1)) é igual a 1,08.

A Figura 1 apresenta a curva de dependência energética do fator de calibração das pastilhas não blindadas para a radiação beta. Desta curva

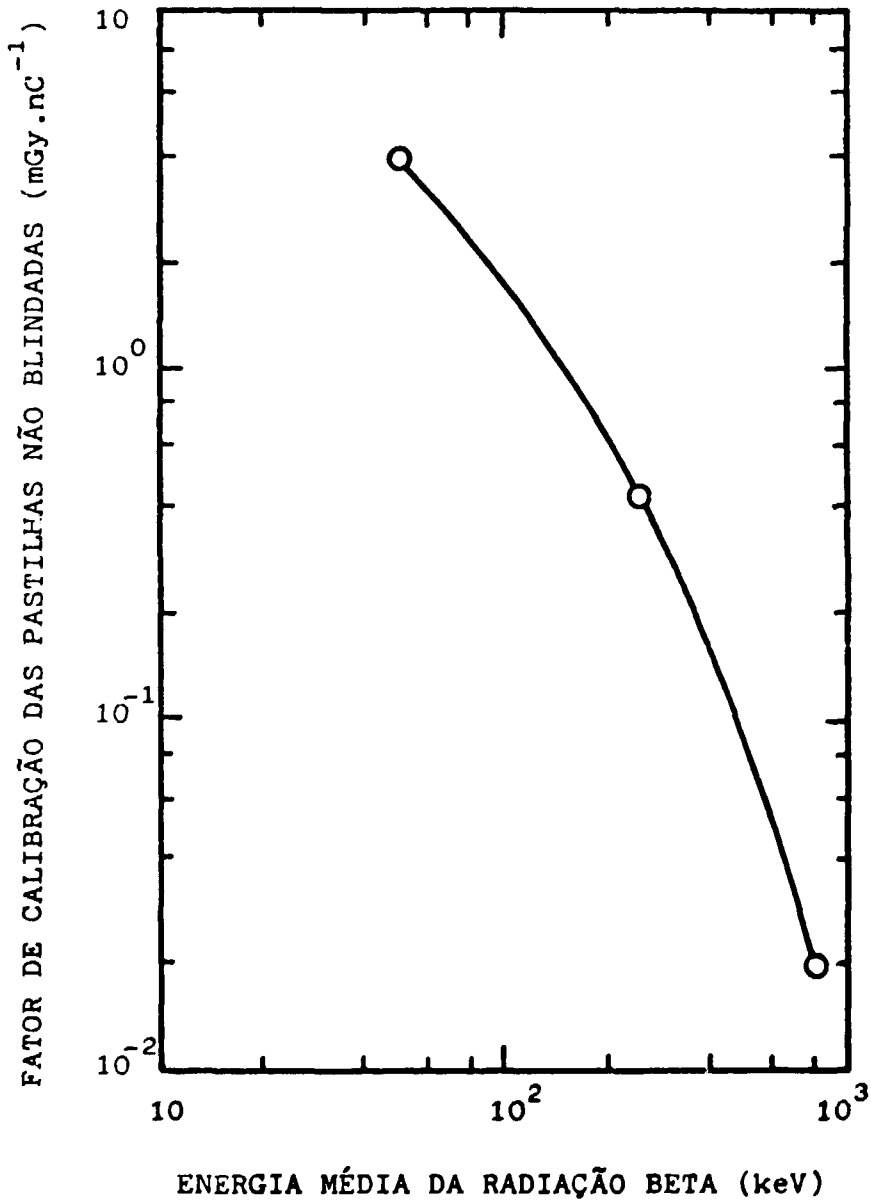


Figura 1 — Curva de dependência energética do fator de calibração das pastilhas não blindadas para radiação beta.

obtém-se o fator de calibração para a radiação beta do ^{137}Cs das pastilhas não blindadas como sendo igual a $0,8 \text{ mGy.nC}^{-1}$. A Figura 2 apresenta a relação entre as respostas TL das pastilhas blindadas e não blindadas versus energia média da radiação beta. No caso da energia média da radiação beta do ^{147}Pm , foi considerada uma relação igual a 10^{-5} , já que o sinal TL da pastilha blindada para esta radiação é menor que o limite mínimo de detecção da pastilha. Desta curva obtém-se o coeficiente α_2 (algoritmo (1)) como sendo igual a 0,016. Apesar da incerteza associada a α_2 , tal fato não causa uma incerteza considerável na determinação de L_β . Se α_2 variar de 0,02 até 0,01, L_β variará menos que 3%.

Determinados α_1 e α_2 , o algoritmo (1) fica sendo:

$$L_\beta + 1,08 L_\gamma = \text{TL}_{\text{NB}}$$

$$0,016 L_\beta + L_\gamma = \text{TL}_\beta$$

As doses absorvidas no ar beta, D_β , e gama, D_γ , são dadas por:

$$D_\beta = L_\beta \cdot 0,8 \text{ mGy}$$

$$D_\gamma = L_\gamma \cdot 0,207 \text{ mGy}$$

No caso da radiação beta do ^{137}Cs , o limite mínimo de detecção da pastilha é $13,5 \mu\text{Gy}$. Já para a radiação gama do ^{137}Cs , o limite mínimo de detecção da pastilha é igual a $3,5 \mu\text{Gy}$.

Na Tabela 1 é mostrada a linearidade das respostas do dosímetro tanto para a radiação beta, como para a radiação gama do ^{137}Cs . Também é possível se observar como os valores de dose absorvida no ar devido à radiação beta são muito mais importantes que aqueles devido à radiação gama, quando há contacto com uma fonte de ^{137}Cs não selada. Os resultados, também, demonstram a excelente sensibilidade do dosímetro.

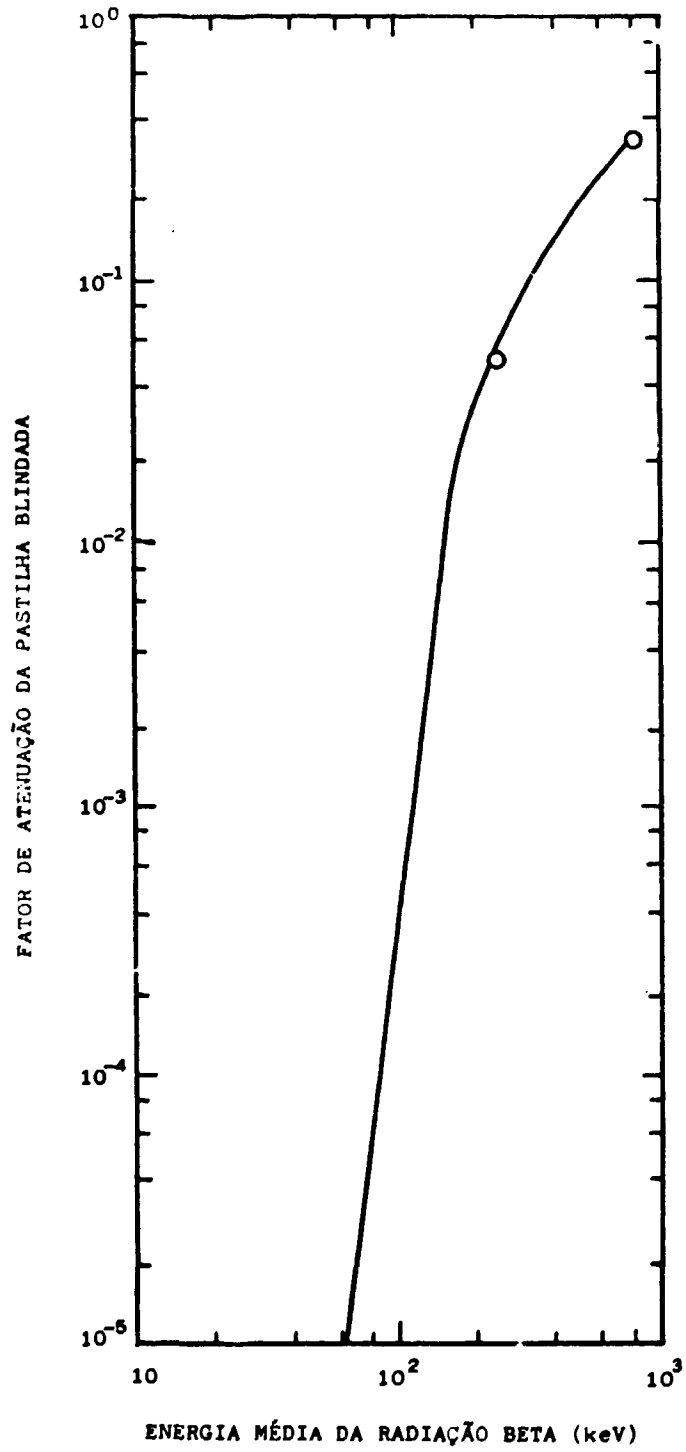


Figura 2 – Relação entre as respostas termoluminescentes das pastilhas blindadas e não blindadas em função da energia média da radiação beta.

TABELA 1

Resultados obtidos com o dosímetro desenvolvido no IPEN
colocado sobre uma fonte não selada de ^{137}Cs (0,2 μBq)

Período de irradiação (min)	TL_{NB} (nC)	TL_{B} (nC)	L_{B} (nC)	L_{Y} (nC)	D_{B} (mGy)	D_{Y} (mGy)
5	48,68	0,813	48,643	0,0347	38,9	$7,2 \times 10^{-3}$
15	146,0	2,445	145,880	0,111	116,7	$2,3 \times 10^{-2}$
30	291,9	4,891	291,657	0,224	233,3	$4,6 \times 10^{-2}$
45	438,12	7,334	437,764	0,323	350,2	$6,7 \times 10^{-2}$

Na Tabela 2 são apresentados alguns resultados significativos obtidos com os dosímetros enviados ao Hospital Naval Marcílio Dias. Na Tabela 3 são mostrados os resultados de dose equivalente, obtidos com os dosímetros de extremidade utilizados em Goiânia, como pulseiras, pelos técnicos em Proteção Radiológica do IPEN.

TABELA 2

Alguns resultados significativos obtidos com os dosímetros
enviados ao Hospital Naval Marcílio Dias

Número do Dosímetro	Taxa de Dose Absorvida no Ar Gama (mGy.h $^{-1}$)	Taxa de Dose Absorvida no Ar Beta (mGy.h $^{-1}$)
1	0,098	não detectada
2	0,194	não detectada
3	0,167	0,027
4	0,127	0,042
5	0,210	0,137
6	1,320	23,070
7	7,240	38,270

TABELA 3

Resultados de dose equivalente obtidos com os dosímetros de extremidade utilizados em Goiânia, como pulseira, pelos técnicos em proteção radiológica do IPEN

Número do Dosímetro	Dose Equivalente Beta (μSv)	Dose Equivalente Gama (μSv)
1	não detectada	105
2	não detectada	1300
3	não detectada	2770
4	70	480
5	740	1380

CONCLUSÕES

Apesar da simplicidade do dosímetro desenvolvido pelo Laboratório de Produção de Materiais Dosimétricos do IPEN, ele demonstrou a sua utilidade como um dosímetro discriminador beta/gama para fontes de ^{137}Cs não seladas. A pastilha apresenta um limite mínimo de detecção adequado, $13,5\mu\text{Gy}$ no caso da radiação beta e $3,5\mu\text{Gy}$ para a radiação gama, e possui uma resposta TL linear para ambas as radiações. O dosímetro, também, apresenta uma sensibilidade boa, mesmo para fontes de baixa atividade como a fonte de teste utilizada no presente trabalho ($0,2\text{MBq}$).

Da Tabela 2 observa-se os diferentes níveis e tipos de contaminação apresentados pelas vítimas do acidente radiológico de Goiânia internadas no Hospital Naval Marcílio Dias. Por exemplo, nos casos 1 e 2 não houve detecção de radiação beta, o que significa a inexistência de contaminação externa, ou, pelo menos, uma contaminação externa não importante. Nos casos 3, 4 e 5 pode-se observar diferentes níveis de contaminação externa, embora as contaminações internas não pareçam ser muito diferentes. Nos casos 6 e 7 pode-se perceber níveis de contaminação externa e interna altíssimos. É necessário mencionar que os dosímetros foram colocados nos pa-

cientes após estes terem sido submetidos algumas vezes a procedimentos adequados de descontaminação interna e externa. Estes resultados mostraram a utilidade e versatibilidade do dosímetro.

Na Tabela 3 nota-se que somente dois dosímetros utilizados pelos técnicos em proteção radiológica do IPEN apresentaram dose equivalente beta. As doses equivalentes gama foram, inquestionavelmente mais importantes, o que era um resultado esperado devido ao alcance pequeno da radiação beta.

O dosímetro descrito é aplicável não somente a fontes de ^{137}Cs , mas também a outros radionuclídeos emissores beta/gama, desde que estes sejam conhecidos e uma calibração apropriada seja realizada para adequação do algoritmo. No caso de campos de radiação beta puros, o dosímetro pode, também, determinar a energia desta radiação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Sra. Marina Fallone Koskinas (M.Sc.) do Laboratório de Metrologia Nuclear do IPEN, que calibrou a fonte de ^{137}Cs não selada utilizada neste trabalho. Eles, também, sentem-se agradecidos a todo o grupo técnico do Laboratório de Calibração do IPEN, que realizou as irradiações dos dosímetros com as fontes de ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl , ^{147}Pm e ^{137}Cs selada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPOS, L.L. & LIMA, M.F. Thermoluminescent $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ teflon pellets for beta radiation detection. *Radiat. Prot. Dosim.* 18 (2) : 95-7, 1987.
2. CROSS, W.G.; ING, H.; FREEDMAN, N. A short atlas of beta-ray spectra. *Phys. Med. Biol.*, 28 (11) : 1251-60, 1983.