



**CALIBRAÇÃO DOS FILMES DUPONT TIPO 508 E 510
PARA A RADIAÇÃO BETA**

GIAN MARIA A. A. SORDI e DIRCEU M. VIZEU

PUBLICAÇÃO IEA N.º 141

Abril — 1967

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

CALIBRAÇÃO DOS FILMES DUPONT TIPO 508 e 510 PARA A RADIAÇÃO BETA

Gian Maria A. A. Sordi e Dirceu M. Vizeu

Serviço de Proteção Radiológica e Dosimetria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil

Publicação IEA nº 141

Abril - 1967

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof. Dr. Luiz Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof. Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof. Dr. José Augusto Martins		
Prof. Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof. Dr. Theodoreto H. I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisões de Física Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Marcello D. S. Santos

Divisão de Radioquímica -

Chefe: Prof. Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -

Chefe: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Tharcísio D. S. Santos

Divisão de Engenharia Química -

Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -

Chefe: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Engº Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Chefe: Prof. Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -

CALIBRAÇÃO DOS FILMES DUPONT TIPO 508 e 510 PARA A RADIAÇÃO BETA

Gian Maria A. A. Sordi e Dirceu M. Vizeu

RESUMO

O problema da determinação de exposição provocada por radiação beta de diferentes energias e que de um modo geral ocorre juntamente com a radiação gama ou X é importante principalmente para o pessoal que trabalha em processamento químico de radioisótopos, radiobiologia, medicina, etc.

A principal dificuldade para a calibração dos filmes reside no fato de que as expressões analíticas existentes, para os cálculos de exposição, além de serem bastante complexas não são aplicáveis diretamente a condições reais de exposição. Após uma breve discussão com relação a escolha da fórmula que iria ser usada, mostra-se um programa para cálculo de exposição a partir de fontes pontuais e circulares para o computador IBM 1620 II.

Neste trabalho serão discutidos, a escolha dos radioisótopos, o arranjo experimental e os resultados obtidos. Foi feita uma análise da energia mínima que poderia ser detectada nas nossas condições de irradiação bem como a distância mínima entre fonte e filme a ser irradiado.

Foram determinados então: a curva característica, a sensibilidade, a latitude e o contraste dos filmes. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos para a radiação gama do cobalto-60, verificando-se que é possível determinar a exposição do usuário, se a radiação é gama ou beta mais gama, e finalmente dar o valor aproximado da energia média efetiva da radiação incidente.

RÉSUMÉ

Pour le personnel qui travaille en production chimique de radioisotopes, radiobiologie, médecine, etc, il est important de déterminer l'exposition provoquée par les rayonnements bêta de différentes énergies, qui en général apparaissent simultanément avec des rayonnements gamma ou X.

nements gamma ou X.

La principale difficulté pour l'étalonnage des films réside dans le fait que les expressions analytiques existantes pour le calcul des expositions, en plus d'être très complexes, ne sont pas applicables directement aux conditions réelles d'expositions. Après une brève discussion au sujet du choix de la formule utilisée, nous présentons un programme pour le calcul de l'exposition à partir de sources ponctuelles et circulaires par un ordinateur IBM 1620 II.

Dans ce travail sera discuté le choix des radioisotopes, l'appareillage expérimental et les résultats obtenus. Nous avons fait dans nos conditions d'irradiation: une analyse de l'énergie minimale pouvant être détectée, et de la distance minimale entre la source et le film à irradier.

Nous avons obtenus les résultats suivants: la courbe caractéristique, la sensibilité, la latitude et le contraste des films. Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus pour le rayonnement gamma du cobalt-60. Nous avons vérifié qu'il est possible de déterminer l'exposition de l'utilisateur du film si le rayonnement est gamma seul ou bêta plus gamma et de donner finalement la valeur approximative de l'énergie moyenne effective du rayonnement incident.

ABSTRACT

The question of determine the beta exposure from different energies that in general occurs simultaneously with gamma radiation, is important mainly for peoples involved with chemical processing, radiobiology, medicine, etc.

The main difficulty in the the calibration of the film is the calculation of exposure from beta sources, because the existing analitical expressions are not applicable directly in most of the exposure conditions. After a brief discussion concerning the election of the analitical expression used, a program for the IBM - 1620 II computer is shown.

The selection of the radioisotopes, the experimental arrangement and the results will be discussed. Some considerations on the minimum energy that can be detected will also be made.

The comparison of the response curve for beta with that of gamma radiation from Co-60 shows that it is possible to find out the exposition, to know if it came from gamma or

beta plus gamma radiation and also to give an approximate value for the average effective energy of the incident radiation.

RIASSUNTO

Il problema per la determinazione della esposizione provocata per radiazione beta di differenti energie e che generalmente occorre unita con la radiazione gamma oppure X è importante specialmente per il personale che provvede al processo chimico dei radioisotopi, che lavora in radiochimica, radiobiologia, medicina ecc.

La principale difficoltà per la calibrazione dell'emulsioni nucleari, risiede nel fatto che le espressioni analitiche esistenti, per i calcoli di esposizione, oltre ad essere complesse non sono applicabili direttamente a condizioni reali di esposizione. Dopo una breve discussione relativa alla formula scelta, mostreremo un programma per il calcolo di esposizione con sorgenti puntiformi e circolari per il computer IBM - 1620 II.

Nella pubblicazione che presenteremo è spiegata come avvenne la scelta dei radioisotopi, come si formò il complesso sperimentale ed i risultati ottenuti. Venne fatta una analisi della energia minima che potrebbe essere rivelata nelle nostre condizioni di irradiazioni, come pure la distanza minima tra la sorgente e l'emulsione nucleare da irradiarsi.

Sono state determinate: la curva caratteristica, la sensibilità, la latitudine e il contrasto delle emulsioni nucleari. I risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti con la radiazione gamma del cobalto - 60 e si è verificato che è possibile determinare l'esposizione del portatore dell'emulsione nucleare, se è dovuta alla radiazione gamma oppure beta e gamma, e finalmente, dare un valore approssimato dell'energia media della radiazione incidente.

I - INTRODUÇÃO

O problema de determinar a dose beta, que geralmente ocorre junto com a radiação gama é importante principalmente na exposição dos filmes pulseiras para o pessoal que manuseia radioisótopos, efetua o processamento dos mesmos depois de irradiados, trabalha em radioquímica, radiobiologia e medicina.

A relação de dose para densidade não é igual àquela da radiação gama, contudo as curvas características apresentam a mesma forma.

R. Golden e E. Tochilin⁽¹⁾ verificaram isso para os filmes tipo 502, 606 e 555 da Dupont e Translite e Eastman K da Kodak; porém os tipos 502, 606 e Translite dependiam em regiões de baixa densidade, da ionização específica enquanto que os tipos 555 e K não. A inclinação da curva característica destes últimos dois era igual a um enquanto que a dos outros era maior. Em artigo posterior⁽²⁾ os mesmos autores, trabalhando com fontes de Co-60, Sr-90, verificaram que a sensibilidade dos filmes Dupont 555, ... Eastman K e Eastman NTA, para gamas era de 10% menor do que para betas. Notaram ainda, no caso da exposição à betas, existir uma dependência da sensibilidade com a geometria da fonte.

A nossa finalidade é calibrar os filmes Dupont tipos 508 e 510 com radiação beta de diferentes energias para verificar de forma mais correta a dose recebida pelo pessoal que manuseia radionuclídeos e está sob o nosso controle.

Neste estudo trataremos da inclinação da curva característica, latitude, sensibilidade e contraste dos filmes e compararemos os resultados com aqueles obtidos com a radiação gama do Co-60.

Um desenvolvimento deste tipo já foi efetuado por R.A. Dudley⁽³⁾ para 5 tipos diferentes de filmes da Kodak em que ele examinou as respostas dos filmes unicamente para radiação beta, como dosímetro e como contador de partículas. Construiu 3 tipos diferentes de fontes: pontual, superficial com espessura infinita e superficial com uma espessura extremamente fina. Considerou e analisou a distribuição angular.

Não será nossa finalidade estendermos tal estudo para os tipos 508 e 510 da Dupont, mas unicamente investigar sua res

posta como dosímetro beta, e as fontes que usaremos serão pontuais ou superfícies circulares de espessura desprezível.

II - CÁLCULO DA DOSE

A principal dificuldade para o cálculo da dose em rads devido a radiação beta, está nas expressões analíticas que além de serem mais complexas do que aquelas aplicadas aos raios gamas não incluem uma análise de todas as situações de exposição. Existem várias fórmulas aproximadas, algumas deduzidas teoricamente e outras introduzidas empiricamente através da experiência. Examinaremos algumas delas mostrando, deste modo, as vantagens da fórmula escolhida.

Uma primeira teoria para calcular a distribuição de ionização no ar, está baseada na hipótese de que os poderes de freiamto dos eletrons sejam constantes ou inversamente proporcionais às suas energias cinéticas. Não leva em conta o espalhamento. Os resultados são bastante discordantes com a experiência⁽⁴⁾.

Uma segunda trata a distribuição de dose do ponto de vista da teoria da idade (difusão), semelhante à difusão do calor. O resultado é

$$J(x) = \frac{k}{vx} e^{1-vx} \quad (1)$$

em que $J(x)$ é a dose em rad/desintegração para a fonte pontual à distância x da fonte e v é um coeficiente de absorção. Também esta apresenta resultados discordantes com a experiência.

Outra mais recente supõe a penetração do eletron num meio infinito, levando em conta o espalhamento. A perda de energia pelo eletron é considerada como um processo contínuo. Como os eletrons de baixa energia podem perder uma grande fração da mesma numa só colisão, dando como resultado o "Stragglng" esta teoria deve cometer erros nas proximidades do fim do alcance, como de fato foi ex-

perimentalmente mostrado para grandes penetrações. Espera-se um novo desenvolvimento, que leve em conta o "Stragglings", para completar esta teoria.

Podemos ainda calcular a dose por meio da fórmula de Bethe-Bloch que dá a velocidade de perda de energia para os elementos num meio absorvente⁽⁵⁾, com um termo de correção devido a contribuição na dose pelos eletrons espalhados, como foi usada por Robert A. Dudley⁽³⁾.

Existem ainda outras fórmulas que limitam-se a aplicar, no caso de fontes pontuais, a lei do inverso do quadrado da distância multiplicada por um termo de correção para dar a resposta aproximada em relação a experiência, e no caso de fontes não pontuais, a integrar a expressão sobre a superfície ou o volume da mesma sem levar em conta problemas de auto-absorção e retro-espalhamento.

Uma fórmula melhorada em comparação com aquela que acabamos de explicar é:

$$J(x) = k e^{-vx} / (vx)^2 \quad (2)$$

em que todos os termos têm o mesmo significado da fórmula (1). Foi introduzida a exponencial devido ao fato, que as curvas de absorção das partículas beta, frequentemente observadas, são exponenciais em quase toda a extensão do alcance. Esta expressão foi usada por muitos autores embora seus resultados não sejam satisfatórios comparados com a experiência, pois não indicam uma representação correta da distribuição real da dose que as fontes pontuais de partículas beta apresentam.

As medidas experimentais da distribuição de dose para radiação beta, são difíceis pois os alcances sendo pequenos limitam as dimensões das câmaras de ionização que devem ser usadas.

Loevinger usou fontes planas de P-32 e como detetor uma câmara de extrapolação de placas paralelas. Obtendo então uma dis-

tribuição da ionização e não da dose. Supondo porém que a constante de proporcionalidade da fórmula de Bragg-Gray, é aproximadamente independente da energia sobre a curva de atenuação das partículas beta para um dado radioisótopo, as distribuições de dose e ionização coincidem na forma. Dessa experiência e por um desenvolvimento matemático chegou-se à seguinte expressão:

$$J(x) = k/(vx)^2 \quad \text{para } x \leq 1/v$$

$$J(x) = k e^{1-vx}/(vx) \quad \text{para } x \geq 1/v$$

Reescrevendo esta fórmula numa só expressão temos:

$$J(x) = \frac{k}{(vx)^2} \left[\left[1 - vx e^{1-vx} \right] + vx e^{1-vx} \right] \quad (3)$$

onde

$$\left[1 - vx e^{1-vx} \right] \equiv 0 \quad \text{para } x \geq 1/v$$

Verificou-se que esta expressão é aplicável até a metade do alcance do beta, sendo que a partir desse ponto os valores calculados são superiores aos reais.

Trabalhos posteriores feitos por vários pesquisadores usando P-32 como fonte pontual, e como detetor câmaras de ionização esféricas puderam melhorar a fórmula anterior e mostrar a dependência de v com a energia máxima E_0 do radioisótopo em questão ⁽⁶⁾. Então a expressão se torna:

$$J(x) = \frac{k}{(vx)^2} \left[c \left[1 - \frac{vx}{c} e^{1-vx/c} \right] + vx e^{1-vx} \right] \quad (4)$$

$$\left[1 - \frac{vx}{c} e^{1-vx/c} \right] \equiv 0 \quad \text{para } x \geq c/v$$

válida para uma fonte pontual, onde

$J(x)$ é dada em rad/desintegração

x é a distância da fonte ao ponto de exposição

k é a constante de normalização calculada levando-se em conta que a energia absorvida numa esfera muito

grande deve ser igual a energia média das partículas beta por desintegração; isto é, $4\pi \rho x^2 J(x)$ integrado sobre todo o espaço deve ser igual a \bar{E}_β , energia média das partículas beta. Efetuando esta integração temos:

$$k = 1,28 \cdot 10^{-9} \rho^2 v^3 \bar{E}_\beta \cdot \alpha \text{ rad/desintegração} \quad (5)$$

$$\alpha = \left[3c - (c^2 - 1) e \right]^{-1}$$

onde

ρ é a densidade em g/cm³

c é adimensional e no ar seu valor é $3,11 e^{-0,55 E_0}$

v é o coeficiente de absorção aparente e como já vimos depende de E_0 .

Seu valor no caso do ar é:

$$v = \frac{16}{(E_0 - 0,036)^{1,40}} \left(2 - \frac{\bar{E}_\beta}{\bar{E}_\beta^*} \right) \text{ cm}^2/\text{g} \quad (6)$$

\bar{E}_β^* é a energia por desintegração hipotética dos beta, para um espectro beta permitido, que tenha o mesmo E_0 do radioisótopo em consideração. Para espectros permitidos, portanto $\bar{E}_\beta / \bar{E}_\beta^* = 1$. Uma tabela desta razão para espectros não permitidos será encontrada no Hine e Brownell⁽⁴⁾.

Foi mostrado que no caso dos sólidos, como por exemplo, o poliestireno, continuam valendo as fórmulas (4) e (5), sendo portanto necessário modificar unicamente as expressões de v e c . Pa-

ra nossa finalidade, que é a aplicação da dosimetria à Proteção Radiológica, as fórmulas (4) e (5) com os valores de v e c para o ar, dão precisão suficiente.

Como podemos observar durante esta exposição a fórmula (4) foi calculada de uma maneira empírica, mas os seus termos têm uma interpretação física razoável, além da justificativa de representar resultados experimentais. O termo em x^2 representa a lei do inverso do quadrado da distância, puramente geométrica.

Os termos restantes da direita representam a atenuação devido ao espalhamento e à energia absorvida. O termo entre colchetes representa a absorção de uma componente da radiação beta que ainda não foi espalhada. É finita numa distância nula (em cujo ponto todas as partículas beta viajam radialmente para a frente) e torna-se nula numa distância tal que todas as partículas beta tenham sido apreciavelmente espalhadas.

O termo seguinte aos colchetes representa a outra componente da radiação beta que tem sido espalhada. É nula na origem, passa por um máximo e deveria se anular no fim do alcance das partículas beta. Como isto não acontece dado o caráter exponencial, vai introduzir um erro, pois parte da energia beta será absorvida além do alcance máximo. É necessário portanto conhecer este erro. A fração F da energia absorvida, além do alcance máximo R_0 das partículas beta, quando se usa a fórmula (4) será:

$$F = \frac{\int_{R_0}^{\infty} 4\pi x^2 J(x) dx}{\int_0^{\infty} 4\pi x^2 J(x) dx} = \frac{(1 + vR_0) c^{1-vR_0}}{3c^2 - e(c^2 - 1)} \quad (7)$$

Combinando convenientemente os valores de vR_0 e c verificaremos que o maior erro dá-se quando $vR_0 = 6,3$ e $c = 1$ em que $F = 0,012$ ou 1,2% da energia total seria absorvida além do alcance da radiação beta. Pode ser mostrado que mesmo para fontes não pontuais,

nunca é ultrapassado este erro.

A fonte de Y-90 usada na calibração era suficientemente pequena para ser considerada pontual; mas as fontes de P-32, I-131 e S-35 ocupavam um disco circular de raio 1,1 cm. Devido a este fato, tornou-se necessária a integração da fórmula da dose para uma fonte pontual, sobre uma fonte circular de espessura desprezível, pois a camada de material radioativo depositada sobre o disco de cobre era muito fina. Então, integrando

$$D_p = \int \sigma J(x) ds \quad (8)$$

sobre um disco teremos

$$D_p = \frac{2\pi\sigma k}{v^2} \left[\left[\ln \frac{\sqrt{x^2+R^2}}{x} + \exp \left(1 - \frac{v}{c} \sqrt{x^2+R^2} \right) - \exp \left(1 - \frac{vx}{c} \right) \right] - \exp \left(1 - v \sqrt{x^2+R^2} \right) + \exp (1 - vx) \right] \quad (9)$$

e para $x \geq c/v$ teremos

$$D_p = \frac{2\pi\sigma}{v^2} \left[\exp (1 - vx) - \exp (1 - v \sqrt{x^2+R^2}) \right] \quad (10)$$

onde σ é dado em des/cm² . s

Com as fórmulas (4), (9) e (10) fizemos uma programação fortran para calcular as doses usando um computador IBM-1620 II com os seguintes dados de entrada:

Energia máxima E_0 do radioisótopo

Energia Média \bar{E}_β do radioisótopo

Energia Média hipotética \bar{E}_β^*

Distância em centímetros

Se quisermos efetuar o mesmo cálculo para outros radioisótopos, bastará trocar os três cartões da energia.

Por esse programa calculamos a dose rad cm²/desintegração de centímetro em centímetro até 20 cm de distância para o S-35, P-32 e I-131 que são fontes circulares. O resultado obtido para uma distância pré-fixada será multiplicada por σ para se achar a dose em rad/seg. Calculamos também as doses em rad/seg de centímetro em centímetro de distância até 50 cm, e de 5 em 5 cm até 200 cm para as fontes pontuais.

A tabela - I - dá alguns valores calculados para vários radioisótopos a várias distâncias (ver página seguinte).

III - FONTES RADIOATIVAS

Os radioisótopos escolhidos foram: S-35, I-131, P-32 e Y-90 pois:

- 1) Estão entre os radioisótopos produzidos nesta instituição.
- 2) Cobrem um largo intervalo de energia, permitindo verificar a variação da resposta com a energia.
- 3) O I-131 apresenta radiação gama de 0,364 MeV que permite determinar a influência, quanto ao enegrecimento, do gama e do beta sobre o filme.
- 4) O I-131 apresenta betas de várias energias em porcentagens bem menores do que a porcentagem da energia 0,608 MeV (87%), este fato fornece um resultado médio, sobre o filme, quando betas de vários espectros incidem sobre o mesmo.

TABELA I

FONTES PONTUAIS

RADIOISÓTOPO	1 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm	40 cm
S-35	0,94063770E-08	0,15114415E-09	0,97221424E-11	0,10926189E-11	0,13814272E-12	-	-
I-131	0,45231883E-08	0,17587685E-09	0,40791373E-10	0,16296908E-10	0,80546623E-11	0,26468940E-11	0,10807753E-11
P-32	0,26558884E-08	0,10613480E-09	0,26459616E-10	0,11708594E-10	0,65484724E-11	0,28676448E-11	0,15838818E-11
Y-90	0,18985274E-08	0,75965312E-10	0,19009395E-10	0,84613230E-11	0,47689758E-11	0,21306218E-11	0,12062981E-11

RADIOISÓTOPO	0,5 m	0,75 m	1,00 m	1,25 m	1,50 m	1,75 m	2,00 m
I-131	0,52139139E-12	0,11221860E-12	0,27171791E-13	0,70177919E-14	0,18880411E-14	-	-
P-32	0,99298050E-12	0,41703076E-12	0,22178331E-12	0,13504208E-12	0,87332829E-13	0,58092548E-13	0,39447373E-13
Y-90	0,77779257E-12	0,35293279E-12	0,20278112E-12	0,13234707E-12	0,93006104E-13	0,67415175E-13	0,49383718E-13

FONTES CIRCULARES

RADIOISÓTOPO	1 cm	2 cm	3 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
S-35	0,38048749E-13	0,10897185E-13	0,42155426E-14	0,92148508E-15	0,60943810E-16	0,68849010E-17	0,87261543E-18
I-131	0,18826299E-13	0,62501073E-14	0,29650114E-14	0,10908114E-14	0,25753166E-15	0,10323665E-15	0,51088273E-16
P-32	0,11061596E-13	0,36861102E-14	0,17590259E-14	0,65869043E-15	0,16714340E-15	0,74202676E-16	0,41552767E-16

OBSERVAÇÃO: E significa exponencial de dez, por exemplo E-08 lê-se 10^{-8}
 - significa distâncias superiores ao alcance

5) Este mesmo I-131 apresenta também gamas de várias energias que dão um resultado médio provocado pelas radiações betas e gamas juntas.

Na tabela - II - temos as energias dos gamas e dos betas dos radioisótopos escolhidos com suas porcentagens, o alcance médio e máximo dos betas bem como suas meias vida.

TABELA II

ISÓTOPO	MEIA VIDA	ENERGIA GAMA		ENERGIA BETA		ENERGIA MÉDIA BETA MeV	ALCANCE BETA mg/cm ²	ALCANCE MÉDIO mg/cm ²
		MeV		MeV				
S-35	87,1 dias			0,167	1	0,049	35	4,3
I-131	8 dias	0,722	0,03	0,608	0,87	0,187	220	40
		0,637	0,09	0,335	0,09		90	
		0,364	0,81	0,250	0,03		60	
		0,284	0,06					
		0,080	0,06					
P-32	14,3 dias	-		1,70	1	0,690	790	260
Y-90	64 horas	-		2,24	1	0,930	1200	400

IV - ARRANJO EXPERIMENTAL

Os filmes 508 e 510 vêm embalados num envólucro cuja espessura é 0,295 mm. Este envólucro foi colocado num porta-filme de plástico com 2,6 mm de espessura com uma janela aberta, onde a radiação incide sobre o filme diretamente e filtros de chumbo, cobre e cádmio de espessura 0,55 mm colados no próprio plástico do porta-filme. Para isto, a espessura do plástico foi reduzida de 2,6 mm para 1,35 mm nas posições dos filtros. (ver fig. 1)

Nas primeiras irradiações verificou-se que para I-131, 2,6 mm de plástico eram suficiente para blindar toda a radiação beta

ta por êle emitida, foi então eliminado um dos filtros e passou-se a ter duas espessuras de plástico a de 2,6 mm e a de 1,35 mm.

O arranjo experimental está na figura 2.



Fig. 1

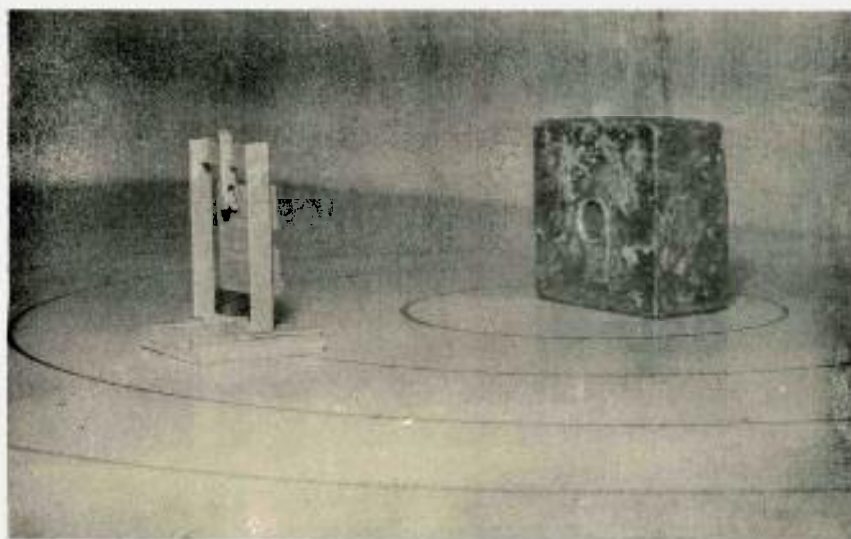


Fig. 2

Foi considerada apenas a incidência perpendicular.

A geometria de irradiação foi planejada e executada de forma a levar em conta o alcance médio dos betas, atividade e meia-vida das fontes usadas para a irradiação. As irradiações gama (I-131), foram feitas com as mesmas fontes colocando-se filtros para a eliminação dos beta.

As soluções dos banhos usados para as revelações são os aconselhados pela Dupont, apenas tomamos cuidados especiais com a temperatura dos banhos que foi mantida a 18°C e as características das soluções que eram estudadas através da medida do pH.

As leituras das densidades foram feitas no Eletronic Densitometer da Mac Beth - Ansco model 12-A.

V - RESULTADOS PRELIMINARES

As atividades das fontes foram medidas após a montagem em seus suportes e consideradas com retro-espalhamento de equilíbrio.

Por considerações geométricas (tamanho do filme) a distância mínima de irradiação foi fixada em 5 cm. Esta distância e mais o envólucro do filme vai nos dar a energia mínima detetável que é de 0,170 MeV .

Para que a análise do filme nos dê a exposição do operador e também um valor aproximado da energia da radiação, é necessário que se considere apenas radiação beta cuja energia média seja superior a 0,170 MeV. Só assim teremos, incidindo sobre o filme uma fração considerável do espectro beta pois, como sabemos, a energia média é aproximadamente $1/3$ da energia máxima.

A partir destas considerações verifica-se imediatamente que o S-35 deve ser excluído pois, mesmo a sua energia máxima

é inferior à mínima detetável pelo filme. O I-131 por sua vez, apresenta uma energia média bem próxima do limite fixado, e as experiências feitas com este radioisótopo mostram que somente e parte final do espectro atravessa o filtro de 1,35 mm de plástico e, que somente radiação de "stragglings" atravessa o de 2,6 mm.

Para os demais radioisótopos, os filmes foram irradiados a 10 e 20 cm de distância, isto é, 39,795 e 52,705 mg/cm² respectivamente. Consultando a tabela II verificamos que estes valores são bastante inferiores aos alcances das energias médias.

As doses escolhidos estão em função da finalidade do trabalho. Como se pretende detetar doses superficiais e principalmente nas mãos do operador, a região abaixo dos 100 mrad não apresenta muito interesse.

A faixa escolhida levando em conta os filmes 508 e 510 foi de 100 mrad a 100 rad.

VI - CALIBRAÇÃO

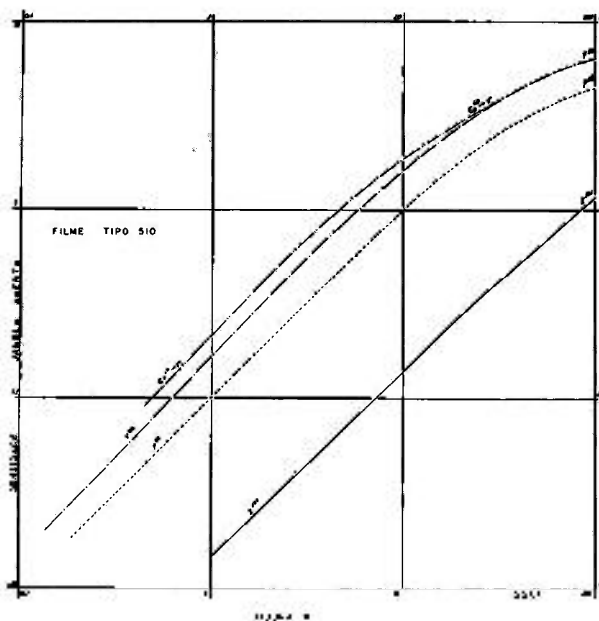
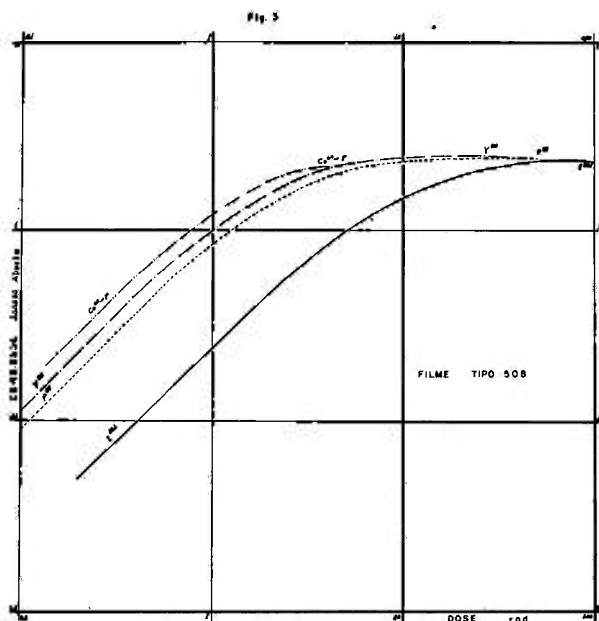
No caso do I-131 que temos Beta e Gama foram calculadas as doses gama sendo esses valores cerca de 30 vezes menor que a dose beta

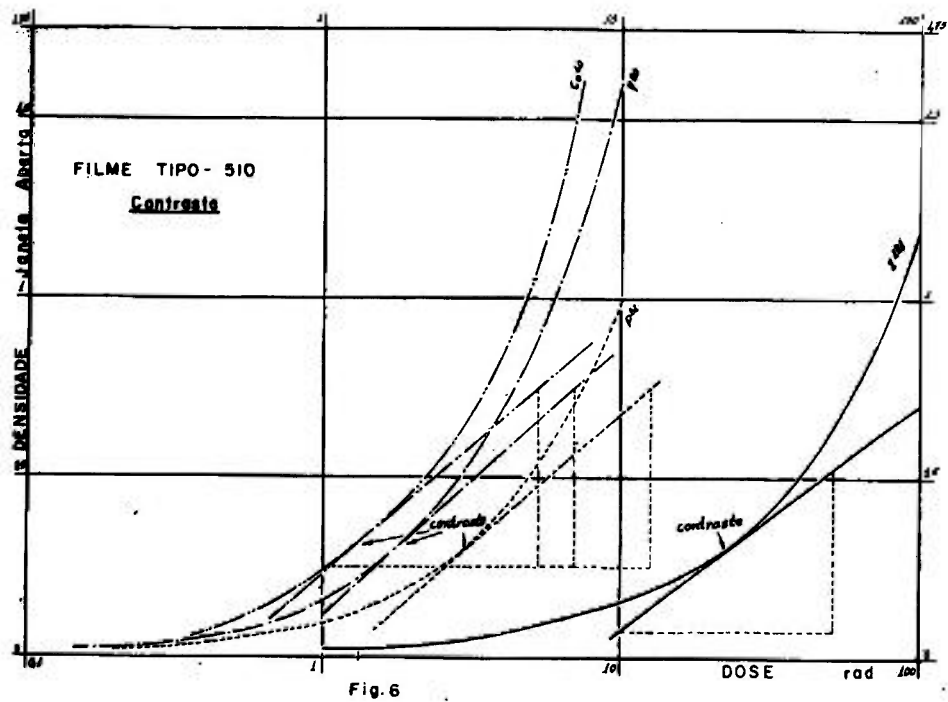
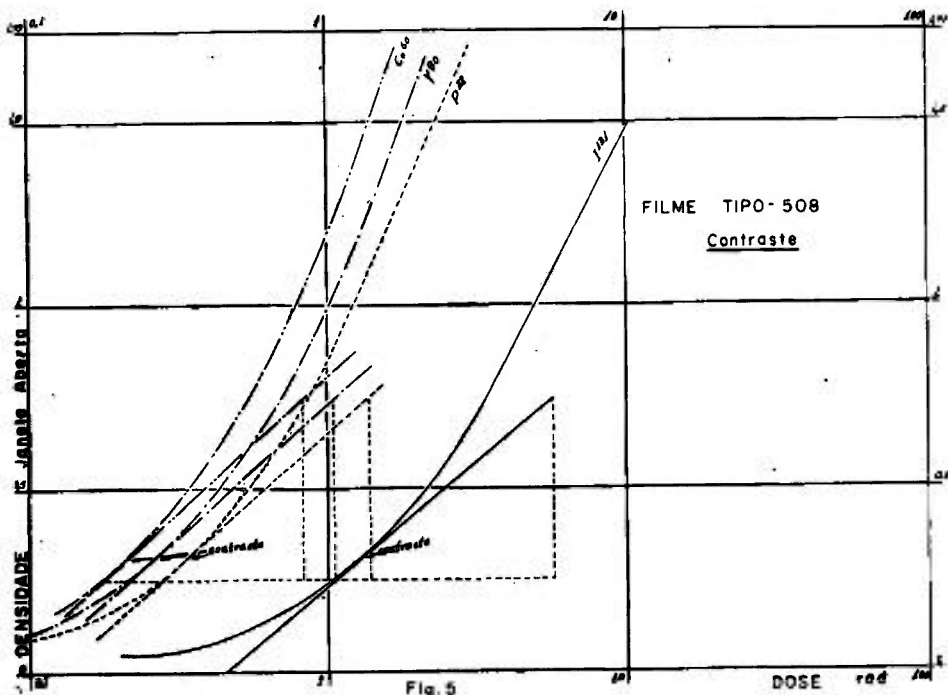
TABELA III

DOSE BETA	rad	10	20	35	50	75	100
EXPOSIÇÃO GAMA	mr	38,1	76,2	133,4	190,4	286,0	381,4

Além do cálculo, foram também feitas exposições cobrindo a fonte com uma placa de alumínio suficiente para cortar todos os betas.

Os gráficos das figuras 3 a 8 mostram os resultados obtidos com essas irradiações.





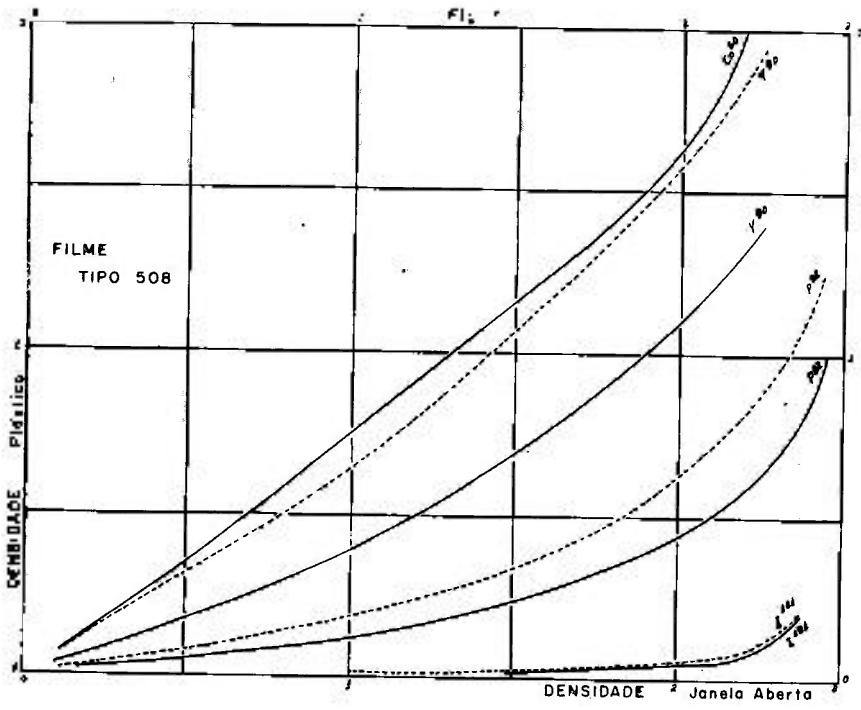
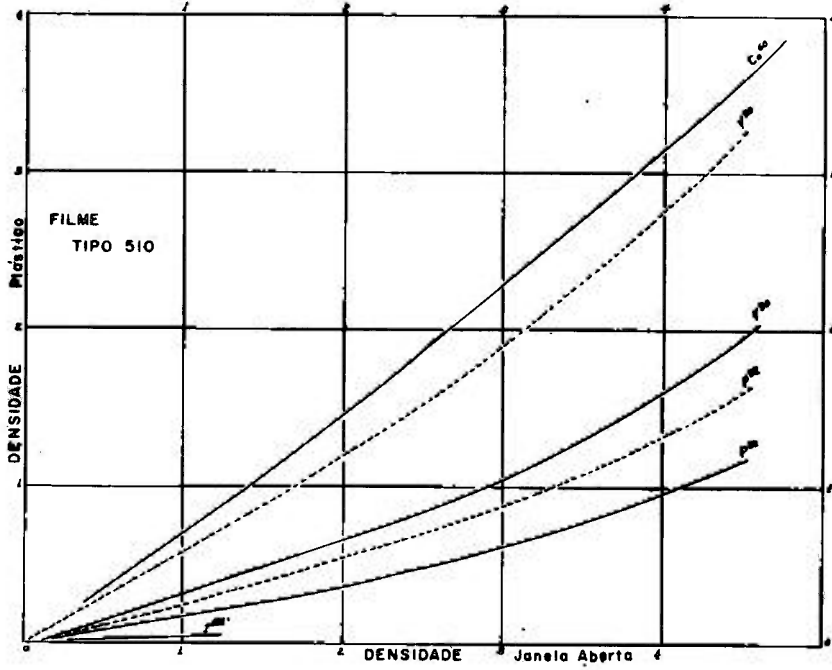


Fig. 8



As respostas dos filmes à radiação beta foram comparadas com a resposta à radiação gama da fonte de Co-60. Esta é uma das fontes usadas na calibração dos filmes à radiação gama.

As exposições do Co-60 achadas em mr foram transformadas em rad supondo que 1 r é igual a 0,84 rad de dose.

VII - CONCLUSÕES

Para cada radioisótopo fêz-se um gráfico de dose contra o enegrecimento na janela aberta num papel duplamente logarítmico.

Destas curvas podemos imediatamente ver que a sensibilidade dos filmes, tanto 508 como 510, cresce com a energia dos betas. Isto deve ocorrer, provavelmente, devido ao fato de estarmos ainda na zona de crescimento de sensibilidade com a energia^(8,9). A sensibilidade dos filmes tipo 508 e 510 para os diferentes radioisótopos e portanto para as diferentes energias médias acham-se na tabela IV.

Foram calculadas para uma densidade de 0,30.

TABELA IV

RADIOISÓTOPO	TIPO 508	TIPO 510
I-131	0,8	0,015
P-32	3,03	0,339
Y-90	3,77	0,587
Co-60	4,76	0,730

Para o filme tipo 508 consideramos como intervalo útil de dose aquele que começa com enegrecimento na janela aberta igual

a 0,10 e termina em 2. 0 que nos levou à escolha de 0,10 como valor mínimo foram as diferenças de enegrecimento apreciáveis apresentados pelos filmes não irradiados, que somados ao enegrecimento correspondente à parte inicial da curva, dão valores próximos de 0,10. A tabela V mostra as latitudes.

TABELA V

RADIOISÓTOPO	DOSE MÍNIMA rad	DOSE MÁXIMA rad	LATITUDE
I-131	0,405	21	51,85
P-32	0,110	4,25	38,64
Y-90	0,084	3,30	39,28
Co-60	0,071	2,50	35,21

Outro fato importante a ser notado é que até 0,90 de densidade de enegrecimento na janela aberta a resposta com relação a dose é linear.

Foram construídos novos gráficos em papel semi-logarítmico de dose contra enegrecimento na janela aberta para determinar o contraste no ponto 0,30, pela inclinação da curva. Os valores achados encontram-se na tabela VI.

TABELA VI

RADIOISÓTOPO	TIPO 508	TIPO 510
I-131	0,67	0,62
P-32	0,72	0,72
Y-90	0,73	0,75
Co-60	0,73	0,73

Podemos verificar que o contraste cresce com a energia até um limite próximo de 0,75.

Para os dois tipos de filme foram construídos gráficos em papel milimetrado de densidade de enegrecimento na janela aberta versus enegrecimento no plástico; as curvas tracejadas correspondem ao plástico de menor espessura.

Pode-se notar que a diferença de espessura do plástico quase não influe na menor energia média que pode ser detectada, e que para elevadas energias essa diferença faz aumentar o enegrecimento de tal maneira que as densidades para os betas do Itrio são quase iguais às do gama do Co-60.

Disto resulta que uma menor espessura de plástico não traz vantagens alguma, pois é nosso interesse termos as respostas mais distanciadas possível, a fim de se poder determinar a energia média.

Para determinar a dose e a energia média tomada por pessoa, consultam-se primeiramente os gráficos de enegrecimento na janela aberta contra o enegrecimento no plástico de onde se pode avaliar se a exposição foi à radiação beta ou gama e determinar a energia média. Consideraremos como exposição gama os pontos que ficarem acima da energia do Itrio.

Em seguida consultam-se os gráficos de dose contra enegrecimento na janela aberta, e determina-se a dose para a energia média achada no primeiro gráfico.

A determinação da dose beta nos filmes nos permite localizar mais rapidamente a origem das exposições, principalmente se levarmos em conta que o possuidor do filme pode manusear vários radioisótopos ao mesmo tempo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) R. Golden e E. Tochilin - Characteristic Curves from Different Ionizing Radiations and their Significance in Photographic Dosimetry - Health Physics 2, 199 - 206.
- (2) E. Tochilin e R. Golden - Investigations on the Relative Beta to Gamma Sensitivity of Photographic Emulsions - Health Physics 4, 244 - 49.
- (3) Robert A. Dudley - Photographic Detection and Dosimetry of beta Rays - Nucleonics 12, N° 5 (1954) 24.
- (4) Gerald J. Hine and Gordon L. Brownell - Radiation Dosimetry - Academic Press, Inc.
- (5) E. G. Segrè - Experimental Nuclear Physics - John Wiley e Sons, Inc. New York 1952
- (6) R. Lovinger - The Dosimetry of Beta Sources in tissue. The Point - Source Function - Radiology 66, 55 (1956)
- (7) William J. Price - Nuclear Radiation Detection - Mc Graw - Hill Book Company, Inc.
- (8) Gordon L. Brownell - Interaction of Phosphorus - 32 Beta Rays with Matter - Nucleonics 10, N° 6, 30 (1952)
- (9) Margarete Ehrlich - The Use of Film Badges for Personnel Monitoring - Safety Series N° 8 - I.A.E.A., Vienna (1962)
