

COLEÇÃO PTC
DEVOLVER AO BALCÃO DE EMPRÉSTIMO

IPEN / CNEN - SP
BIBLIOTECA
Produção Científica

Influência de Fios Captadores na Resposta de Detectores de Faísca

JOSEMARY A. C. GONÇALVES¹, MARCELLO DAMY DE S. SANTOS^{1,2}
e CARMEN CECÍLIA BUENO^{1,2}

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - 05508-900 São Paulo, SP

²Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo,
01303-050 São Paulo, SP

Manuscrito recebido em 28 de junho de 1993; aceito para publicação em 20 de novembro de 1994
credenciado por MARCELLO D. DE S. SANTOS

ABSTRACT

A systematic study of the operation characteristics of Spark Counters with air filling at atmospheric pressure, was carried out for alpha particles (^{241}Am). Anode wires of different chemical compositions and diameters were used. The influence of guard wires in the efficiency of the counter has improved its efficiency by 25%.

The properties of these counters such as very low background, high efficiency of detection for heavily ionizing particles, their directional properties and their negligible efficiency for beta and gamma radiation show that they can be used with great advantage over conventional counters in several Nuclear Physics problems.

Key words: spark counter, corona counter, alpha detection.

INTRODUÇÃO

Contadores baseados no efeito corona são conhecidos desde os primórdios da Física Nuclear graças aos trabalhos pioneiros de Greinacher (1934), com os contadores de ponta. Um progresso considerável foi feito por Chang & Rosenblum (1945), ao aperfeiçoarem o contador desenvolvido por Greinacher, introduzindo assim o contador de faísca (*spark counter*), que apresentava as vantagens de discriminação de uma radiação de fundo indesejável com uma maior sensibilidade e eficiência que o contador de ponta.

Dessa época até a primeira metade da década de 60, diversos trabalhos interessantes sobre esses detectores apareceram na literatura (Payne, 1949), (Connor, 1950), (Roberts, 1961) e mais recentemente (Aoyama & Watanabe, 1982), (Pestov, 1988), (Bouclier *et al.*, 1991) e (Anelli *et al.*, 1991). Seu uso poderia desempenhar um papel im-

portante na ciência e na tecnologia nucleares não fosse a circunstância de que os dados apresentados por um pesquisador dificilmente podiam ser reproduzidos por outro, pois com frequência mostravam grandes contradições com os anteriores, fato que levou ao seu abandono como instrumento de pesquisa confiável.

Ao desenvolvermos as pesquisas que vão ser aqui relatadas, tivemos em vista estudar as possibilidades de novos modelos desses contadores com o intuito de adequá-los às pesquisas de física de reatores, de dosimetria ambiental e de pesquisas com aceleradores de partículas onde o *background* beta-gama ou gama é elevado. Com isto, pudemos otimizar as suas condições de operação através da escolha de materiais adequados de seus eletrodos, suas dimensões e geometria, e do circuito de extinção da descarga utilizado.

2798

A influência desses fatores na resposta do detector, em termos de sua eficiência de detecção e estabilidade de operação, foi verificada neste trabalho, principalmente através da curva característica da taxa de contagem em função da tensão aplicada entre os eletrodos para as diferentes configurações, da análise da forma e amplitude dos pulsos gerados, que permitiram estabelecer uma correlação com as alterações dos eletrodos devido às causas supra mencionadas.

Novas linhas de desenvolvimento resultaram desses trabalhos, abrindo assim o campo para novas pesquisas, como por exemplo a dos detectores de localização e o registro ultrassônico, que poderão ser realizadas quando equipamento de maior precisão para o estudo dos fenômenos for disponível em nosso laboratório.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DETECTOR

Os contadores de faísca se caracterizam pela detecção de radiação de elevado poder de ionização, através de uma descarga disruptiva que se estabelece, para cada partícula incidente, entre dois eletrodos, cuja separação é de poucos milímetros e onde um deles, geralmente o anodo, apresenta pequeno raio de curvatura. Os eletrodos podem se apresentar sob forma de ponta-cilindro (contador de Greinacher), fio-fio, fio-placa (contador de Chang & Rosenblum) e placas paralelas, dependendo de sua utilização.

No caso da geometria fio-placa, contemplada neste trabalho, e que deu origem aos detectores proporcionais multifios de Charpak (1979), o detector consiste de um fio de diâmetro em torno de 100 μ m (anodo), estendido paralelamente, a uma distância da ordem de 1,0 mm, de uma placa metálica plana (catodo). Geralmente o gás de enchimento utilizado é o ar à pressão atmosférica. Quando um potencial de cerca de 3kV é aplicado (através de uma resistência de extinção elevada (R), entre fio e placa, uma faísca (visível e audível) é observada para cada partícula alfa que passa muito próxima ao fio.

Durante a faísca, o potencial no fio sofre uma queda aproximadamente igual à diferença entre a

tensão aplicada e o potencial de ionização do gás (cerca de 15eV). Isto indica uma amplitude de impulso em torno de 3kV, e portanto não há necessidade de um sistema de amplificação para os pulsos (na realidade torna-se necessário atenuá-los). Os pulsos assim gerados são, em seguida, formatados e enviados a um *scaler*, por meio de um divisor de tensão, de modo que o número de faíscas, ou de partículas alfa incidentes entre o fio e a placa, possa ser determinado.

Portanto, como conseqüência do processo de formação da descarga em faísca – ou disruptiva –, esse tipo de detector permite a detecção de partículas pesadas com uma excelente discriminação da radiação de fundo beta e/ou gama, o que constitui uma de suas características fundamentais e seu maior atrativo, além de promover uma seleção da radiação em relação a sua direção de incidência (discriminação espacial).

De outro lado, os contadores de faísca, em algumas geometrias e com certos gases e misturas, operam quando existe um estado contínuo de descarga corona ao redor do anodo (motivo pelo qual também são conhecidos como contadores de corona), provocada pela presença do elevado campo elétrico no fio anodo. Essa descarga gera uma corrente de corona (I_c) que passa pelo circuito, mesmo em ausência de faísca, e que aumenta com a tensão aplicada entre os eletrodos.

Para potenciais aplicados inferiores ao limiar da corona temos a “corrente negra” ou corrente de Townsend, pequena, e que não altera significativamente a tensão aplicada entre os eletrodos. Porém, ao atingir-se o limiar da corona, a tensão efetiva no fio (V_{ef}) já não coincide mais com a tensão aplicada (V_{ap}), e depende de R e de I_c , segundo a expressão abaixo:

$$V_{ef} = V_{ap} - R \cdot I_c \quad (1)$$

O que se verifica é que há uma estabilização da tensão efetiva no fio com o aumento de I_c para R de valor elevado, fato que explica os patamares com grande extensão observados nesse contador e que serão discutidos detalhadamente neste trabalho. Nessas condições pode-se dizer que o detector opera sempre em uma tensão efetiva constante devido ao efeito estabilizador da corona.

FORMAÇÃO DA DESCARGA EM FAÍSCA

A teoria que descreve melhor a formação da descarga em faísca para as condições encontradas em nosso detector (pressão atmosférica) foi sugerida por Loeb (1939) e descrita analiticamente por Meek (Meek & Craggs, 1953). Esta se baseia em processos como a emissão de elétrons do catodo por bombardeio de íons positivos e por radiação ultra-violeta, fotoionização do gás e ação eletrostática da carga espacial para explicar as propriedades da faísca.

Na produção de um elétron em uma avalanche Townsend, os elétrons são rapidamente coletados pelo anodo (tempo da ordem de 10^{-7} s), enquanto os íons positivos, cuja mobilidade é menor, se dirigem mais lentamente para o catodo ($\approx 10^{-6}$ s). Loeb chamou a atenção para o fato que estes íons positivos, ao chegarem no catodo, podem emitir elétrons secundários que têm condições de produzir novas avalanches ao se dirigirem para o anodo, conduzindo à produção de um *streamer*. Por outro lado, a presença de fótons, devidos à recombinação e/ou excitação, ao interagirem com os átomos do gás ou com o catodo, originam fotoelétrons que encontram na região entre a carga espacial positiva e o catodo um campo elétrico (E_r) intenso capaz de produzir novas avalanches.

A ocorrência combinada destes processos conduz à formação de um "canal" extremamente ionizado e luminoso (pela propagação dos *streamers*), que se estende do anodo ao catodo constituindo a faísca, como pode ser visto na Figura 1. De acordo com a teoria de Loeb, para que os elétrons originados pela fotoionização do gás e do catodo tenham condições de formar os *streamers*, é necessário que o campo elétrico E_r , dado pela expressão 5, atinja valores da ordem do campo elétrico externo aplicado:

$$E_r = 5, 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{\alpha \cdot e^{0,5 \alpha x}}{(x/p)^{1/2}} \quad (V/cm) \quad (5)$$

onde: x = a distância entre a extremidade da avalanche e o catodo; e p = a pressão do gás.

Esta equação é conhecida como o Critério de Loeb-Meek para produção de descargas em faísca. Essa teoria consegue explicar com sucesso os resultados experimentais, bem como a rápida formação da faísca (10^{-9} s), considerando a fotoionização do gás e a influência da carga espacial de íons positivos – o que não foi levado em conta por Townsend. No caso do detector de faísca, a teoria de Loeb-Meek é empregada para explicar os fenômenos que ocorrem quando da passagem de uma partícula ionizante que, ao produzir uma ionização colunar, dá origem à faísca entre dois eletrodos.

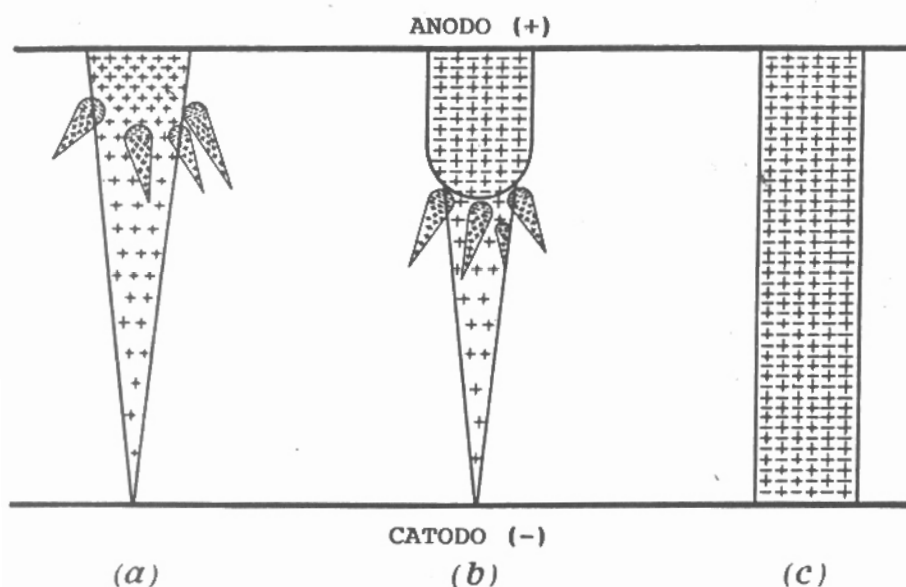


Figura 1

ARRANJO EXPERIMENTAL

Em nossas pesquisas utilizamos a geometria fio-plano para os eletrodos do contador, que neste caso consistiu de um (ou mais) fio fino como anodo, perfeitamente estendido, por meio de espaçadores de lucite, sobre uma placa de aço inoxidável, (que serviu como catodo do detector), opticamente polida e com as bordas arredondadas para evitar a formação de descargas espontâneas. Um cuidado especial foi tomado para garantir o paralelismo entre o fio e placa metálica, a fim de manter a simetria do campo elétrico aplicado ao longo do fio anodo. Esse sistema foi montado sobre uma placa de lucite conforme mostram as Figuras 2a e 2b (vista lateral e multifios).

O espaçador de lucite usado tinha a forma de um helicóide de 2,0mm de passo em cujos sulcos ficavam apoiados os fios anodos. Esta forma de espaçador, além de aumentar o isolamento entre os fios, assegurava o paralelismo entre eles, e em relação ao catodo.

Com a finalidade de aplicar a alta tensão nos fios, foram dispostos perpendicularmente à placa de lucite capilares de níquel de 1,0mm de diâmetro conforme mostra a Figura 2b, que tinham também a função de guia para os fios. Estes, por sua vez, eram tensionados por meio de um sistema análogo ao das cravelhas de um instrumento musical de cordas.

Nas medidas utilizou-se a radiação alfa proveniente de uma fonte de ^{241}Am depositada em uma folha de níquel, de $8,0 \times 16,0\text{mm}^2$ de área e com uma atividade de $24\mu\text{Ci/mm}$.

Foram utilizados para essa fonte vários colimadores tipo *soller* (construídos em nosso laboratório) de secção retangular com aberturas de $250\mu\text{m}$; $1,0\text{mm}$ e $1,5\text{mm}$, e de secção circular de $500\mu\text{m}$ de diâmetro (os dois primeiros de vidro e os últimos de níquel).

Inicialmente, os pulsos gerados no anodo do detector pela passagem da radiação alfa (cuja amplitude é de alguns milhares de volts) eram envia-

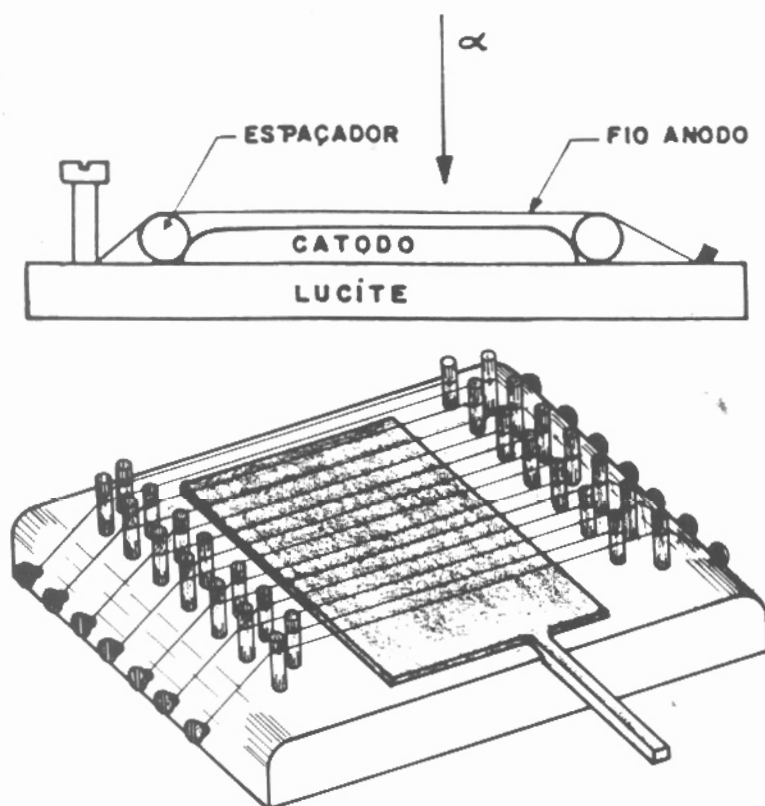


Figura 2a e 2b.

dos a um circuito divisor de tensão composto por duas resistências $R_1 = 1k\Omega$ e $R_2 = 10M\Omega$ em série, *shuntadas* por dois condensadores C_1 e C_2 (Fig. 3) para evitar a deformação dos impulsos. Os pulsos de tensão gerados nos terminais da resistência R_2 eram observados por meio de um osciloscópio digital (Tektronix 2430B) e em seguida, introduzidos em um analisador monocanal (Ortec 406A). Finalmente os impulsos formatados eram enviados a um *scaler* (Ortec 776). Desta forma, o número de faíscas devidas às partículas alfa que passavam próximas ao fio anodo podia ser determinado.

A Figura 4 mostra o diagrama de blocos do equipamento eletrônico utilizado nas medidas.

RESULTADOS

ESTUDO DO CONTADOR COM DIFERENTES FIOS ANODOS

Inicialmente, procurou-se verificar a resposta do contador em geometria fio-plano para as partículas alfa do ^{241}Am em função de fios anodos de natureza e diâmetros diferentes a várias distâncias do catodo. Foram utilizados fios de tungstênio (W) de 75 a 127 μm de diâmetro, de molibdênio (Mo)

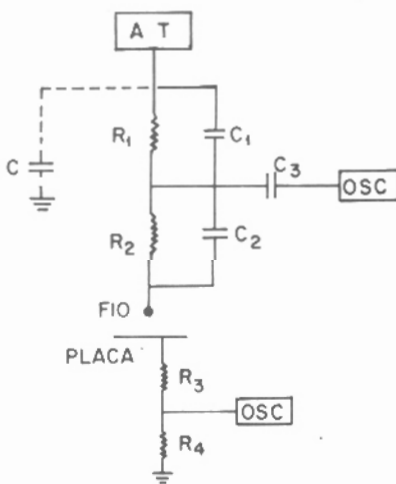


Figura 3

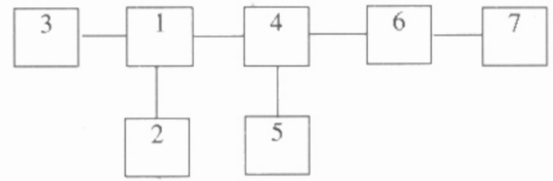


Fig. 4 — 1 — Detector de Faíscas; 2 — Fonte de alta tensão estabilizada-Fluke 408B; 3 — Misturador de Gases; 4 — Circuito formador de impulsos; 5 — Osciloscópio - Tektronix 2430 B; 6 — Analisador Monocanal- Ortec 406A; 7 — Scaler Ortec 776.

de 110 μm de diâmetro, de nióbio (Nb) de 250 μm de diâmetro e de tungstênio revestido com ouro (W+Au) de 25 a 50 μm de diâmetro. Os fios foram dispostos a 1,0; 1,5 e 2,0mm da placa metálica (catodo). O gás de enchimento foi o ar à pressão atmosférica, onde os impulsos apresentavam magnitude uniforme, tempo de subida inferior a 10ns e duração que dependia apenas da constante de tempo do circuito.

A fonte de ^{241}Am foi colimada (colimador de 1,0mm) e mantida a 30,0mm do catodo. Nessas condições, construíram-se as curvas características para as diferentes configurações. As Figuras 5, 6 e 7 mostram os resultados obtidos para os diversos fios anodos a distâncias de 1,0; 1,5 e 2,0mm do catodo (d_{AC}).

A análise das curvas evidencia a existência de patamares $\geq 1800\text{V}$ de extensão e mostra que, para fios com diâmetros menores, a tensão de início de operação é também menor, porém com uma diminuição de eficiência de detecção quando comparada aos de maior diâmetro. Verificou-se ainda que para distância anodo-catodo (d_{AC}) de 1,5mm a eficiência é maior (para todos os fios) quando comparada àquela de 1,0mm; entretanto, há também um aumento da tensão de operação para todos os fios. Para distância anodo-catodo de 2,0mm o potencial necessário para funcionamento satisfatório do detector (independentemente dos fios anodos utilizados) é bastante elevado, o que desestimula seu uso nessa condição. Para distância de 3,0mm não se observou a formação de faíscas entre os eletrodos até uma tensão de 5kV.

Este comportamento está relacionado com a condição de um intenso campo elétrico (no ar em

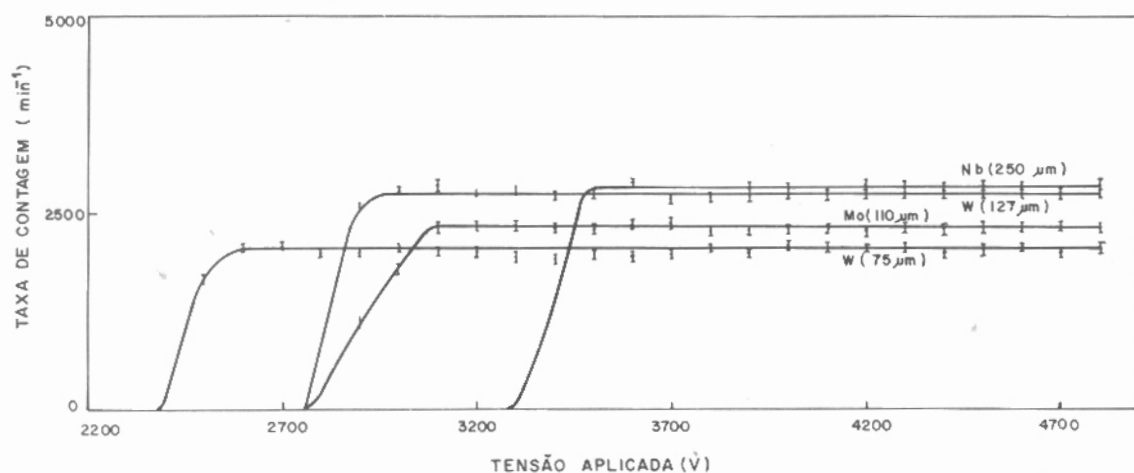


Figura 5

torno de 30kV/cm) e elevada densidade de ionização necessários para produção de uma descarga disruptiva e a conseqüente detecção da radiação alfa pela faísca que atravessa a região entre anodo e catodo. Para fios de maior diâmetro a região de campo elétrico intenso se estende para distâncias maiores do fio, enquanto que para aqueles de menor diâmetro o campo elétrico é mais intenso na região bem próxima a sua superfície apenas, o que determina uma maior eficiência de contagem para os fios de maior diâmetro (Mo de 110μm; W de 127μm e Nb de 250μm). É importante assinalar

que o aumento na eficiência de detecção com o aumento da distância entre os eletrodos está vinculado ao fato das medidas terem sido realizadas na parte ascendente da curva de Bragg para as partículas alfa do ^{241}Am .

Quanto à natureza do fio empregado, observou-se que os fios revestidos com ouro, apesar de possuírem excelentes patamares, apresentam um desgaste prematuro do revestimento, devido a elevada temperatura atingida na faísca. De outro lado, os fios de Mo e Nb possuem temperatura de fusão inferiores e maior tensão de vapor do que os tungstênio

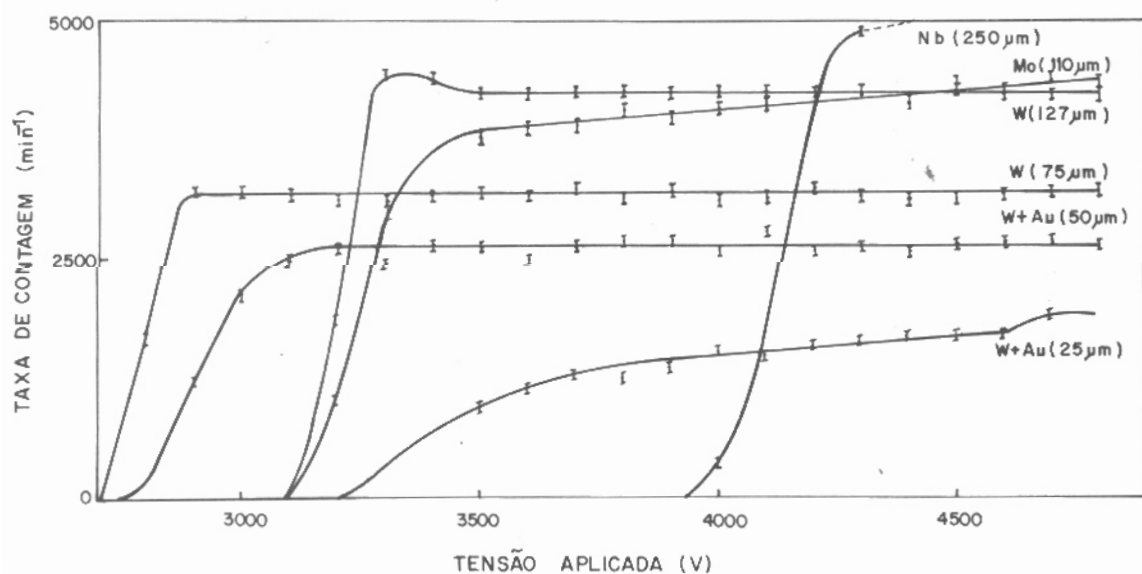


Figura 6

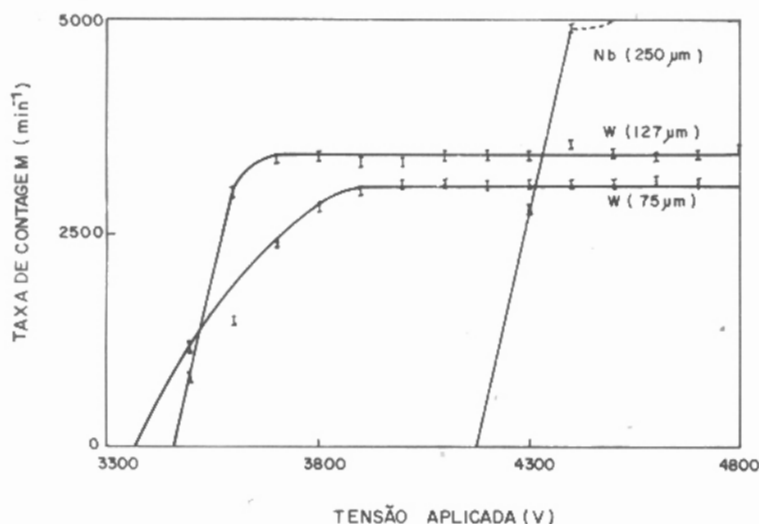


Figura 7

tênio e, portanto, menor resistência ao dano causado pela faísca. Além disso, o W apresenta propriedades mecânicas como elasticidade e rigidez, necessárias não só ao seu manuseio como a fixação dos fios no contador e mostraram-se mais adequados para sua operação levando-se em conta o compromisso entre eficiência de detecção e reprodutividade de resposta.

Pelo exposto acima, e dentro da disponibilidade de nosso laboratório, optou-se pela utilização para os estudos seguintes de fios de W de 127 μm de diâmetro, a uma distância de 1,5mm da placa (catodo).

ESTUDO DA REGIÃO SENSÍVEL DO DETECTOR

A seguir, com a finalidade de estabelecer a região sensível do detector ao redor do fio anodo, estudou-se a variação da taxa de contagem, para determinada tensão aplicada, em função da posição transversal da fonte de ^{241}Am colimada (colimador de abertura igual a 500 μm) em relação ao eixo do fio anodo, para partículas incidentes perpendicularmente ao plano do catodo.

A posição da fonte radioativa em um plano x-y podia ser variada de 0,5mm em 0,5mm através de uma platina de microscópio disposta sobre o contador. Os colimadores da fonte radioativa foram

fixados a esta platina por meio de uma haste de alumínio.

A Figura 8 representa os resultados obtidos para fios de W de 127 μm e 75 μm de diâmetro e Mo de 110 μm de diâmetro e mostra que a partícula alfa deve passar bem próxima ao fio para produzir uma faísca entre anodo e catodo. Isto ocorre pois se os elétrons que constituem a avalanche gerada pela incidência da radiação estiverem a maiores distâncias do fio, a intensidade do campo elétrico, que varia com o inverso do cubo da distância do

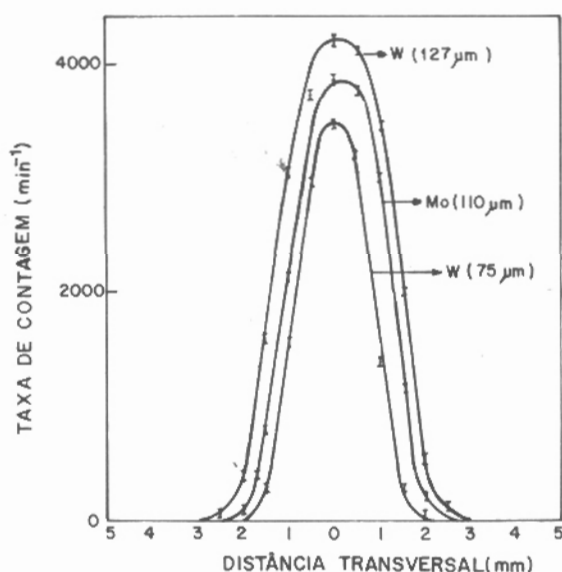


Figura 8

anodo ao catodo (Jeans, 1911), (Kelly, 1941), assim como a ionização produzida não serão suficientes para conseguir a ruptura do gás entre os eletrodos. A diferença, ainda que pequena, entre a contagem e largura das curvas confirma o comportamento da eficiência em função do diâmetro do fio visto anteriormente.

O mesmo acontece quando se estuda a variação da taxa de contagem em função do ângulo de incidência das partículas alfa provenientes da fonte de ^{241}Am (com colimador de $250\mu\text{m}$ de abertura) na região sensível do contador com fio anodo de W de $127\mu\text{m}$ de diâmetro. O resultado obtido está na Figura 9 e mostra a propriedade seletiva desses contadores em relação à direção de incidência das partículas alfa, traduzida experimentalmente em um decréscimo da eficiência do contador com o aumento do ângulo de incidência, sendo quase nula para $\Theta = 45^\circ$ e máxima para partículas incidentes segundo a normal ao plano do catodo.

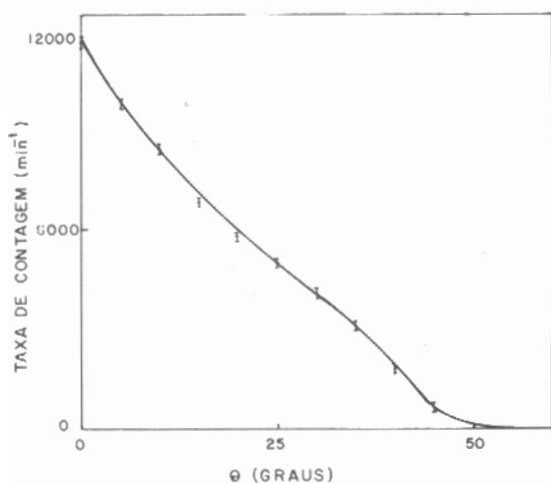


Figura 9

UTILIZAÇÃO DE FIOS CAPTORES (OU DE GUARDA)

Com o objetivo de eliminar a influência eletrostática entre dois ou mais fios anodos ligados entre si, e desta forma aumentar a eficiência do contador, estudou-se sua resposta intercalando-se entre o fio anodo de tungstênio de $127\mu\text{m}$ de diâmetro, fios de maior diâmetro, no caso de $250\mu\text{m}$,

ligados ao terra do circuito e chamados de fios captadores (ou de guarda).

Inicialmente construiu-se a curva característica para o arranjo mais simples: com um fio anodo, um fio guarda ou captor e a placa, estando os dois últimos ligados ao pólo negativo (terra) da fonte de alta tensão através de uma resistência de $11,7\text{M}\Omega$. A Figura 10 mostra uma comparação entre as curvas características: (a) do detector com geometria fio-plano e (b) em geometria fio-captor-plano evidenciando um aumento de 25% na eficiência de detecção do contador e indicando que essa configuração é a mais favorável para utilização desse tipo de detector, principalmente quando se tem vários fios anodos sensíveis.

Na realidade, há um processo de indução de cargas no fio captor, de sinal o posto ao do anodo, e que *abre a possibilidade, pela análise desses impulsos, de se localizar a posição da radiação incidente* apenas considerando-se a diferença de amplitude dos pulsos provenientes de dois fios captadores.

INFLUÊNCIA DO "BACKGROUND" NAS MEDIDAS

Conforme salientado anteriormente os detectores de faísca são sensíveis apenas à radiação de elevada ionização específica (como as partículas alfa e fragmentos de fissão), em função do próprio mecanismo de formação da descarga disruptiva. Isso faz com que esse contador seja insensível a ra-

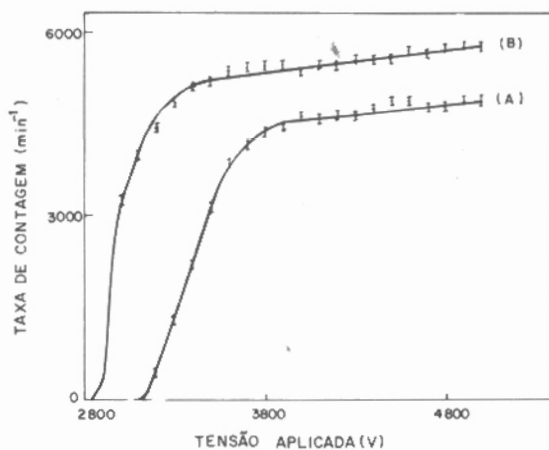


Figura 10

dições beta e gama, promovendo uma discriminação natural da radiação de fundo.

Para verificar experimentalmente essa propriedade, mediu-se o número de impulsos devidos a partículas beta do P-32 (atividade de 500 μ Ci) e radiação gama do Cs-137 (atividade de 100mCi), ambas durante 12 horas. O resultado, para o ar (à pressão atmosférica) foi de 9 contagens, portanto com uma taxa de contagem de $(0,0125 \pm 0,004)$ cpm. Essa contagem, apesar de ser extremamente baixa, deve ser atribuída à existência de partículas alfa do ar (radon e toron) provenientes das paredes e do solo de concreto do laboratório.

Através dessa medida, pode-se concluir que a influência do *background* é desprezível, o que permitirá a utilização desse contador em aceleradores e reatores onde a radiação beta e gama de fundo é indesejável e intensa.

CONCLUSÕES

1. A sensibilidade do detector depende fortemente do ângulo de incidência da radiação e da distância entre a sua posição e a do anodo do contador.

2. A existência de fios captosres aumenta a eficiência de detecção em 25% pois nesse caso a configuração de linhas de força é mais favorável – o que determina um aumento da área útil de contagem.

3. Com uso de vários fios, como descrito em nosso trabalho, a vida do contador deverá aumentar proporcionalmente ao comprimento total do anodo para um fluxo de radiação uniforme.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANELLI, M.; BENCIVENNI, G.; FELICI, G. & MAGRO, L., (1991), Glass Electrode Spark Counters. *Nucl. Instrum. Meth.*, **A300**: 572-4.
- AOYAMA, T. & WATANABE, T., (1982), Some Properties of a Needle Corona Counter with a Preamplification Gap for β -Rays. *Nucl. Instrum. Meth.*, **197**: 357-63.
- BOUCLIER, R.; BOURDINAUD, M.; CHARPAK, G.; FONTE, P.; MILLION, G. & SAULI, F., (1991), A Very High-Light Yield Imaging Chamber. *Nucl. Instrum. Meth.*, **A300**: 286-92.
- CHANG, W. V. & ROSENBLUM, S., (1945), A Simple Counting System for Alpha Ray Spectra and the Energy Distribution of Po Alpha-Particles. *Phys. Rev.*, **67**: 222-7.
- CHARPAK, G. & SAULI, F., (1979), Multiwire Proportional Chambers and Drift Chambers. *Nucl. Instrum. Meth.*, **162**: 405-28.
- CONNOR, R. D., (1951), The Properties of Spark Counters of the Rosenblum Type. *Proc. Phys. Soc.*, **64B**: 30-41.
- GREINACHER, Z., (1934), Über einen hydraulischen Zähler für Elementarstrahlen. *Helv. Phys. Acta.*, **7**: 360-7.
- JEANS, J. H., (1911), *The Mathematical Theory of Electricity and Magnetism*. London, Cambridge Univ. Press.
- KELLY, H. C., (1941), *A Text Book in Electricity and Magnetism*. New York, John Wiley Sons.
- LOEB, L. B., (1939), *Fundamental Processes of Electrical Discharge in Gases*. New York, John Wiley Sons.
- MEEK, J. M. & CRAGGS, J. D., (1953), *Electrical Breakdown of Gases*. London, Oxford Univ. Press.
- PAYNE, R. M., (1949), The Rosenblum Spark Counter: A New Counter for the Detection of Fast Ionizing Particles. *J. Sci. Instrum.*, **26**: 321-3.
- PESTOV, YU. N., (1988), The Status of Spark Counters with a Localized Discharge. *Nucl. Instrum. Meth.*, **A265**: 150-6.
- ROBERTS, A., (1961), Development of the Spark Chamber: A Review. *Phys. Rev.*, **32** (5): 482-5.