

Fatores que Influenciam a Resposta de um Cintilador Gasoso Proporcional

CARMEN C. BUENO e M. DAMY DE S. SANTOS

Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 01303 São Paulo, SP

Manuscrito recebido em 12 de maio de 1992; aceito para publicação em 15 de dezembro de 1992

ABSTRACT

In this paper, the contribution of several factors which influence the behavior of a gas scintillation counters for alpha particles is analyzed. A study is made of the influence of anode wires under different geometries as well as of wave-shifter films deposited on the window of the photomultiplier tubes used. The results show that the best energy resolution (FWHM = 219,2KeV) for ^{241}Am alpha particles is obtained with an axial wire and that, in most cases, the use of a wave-shifter is unnecessary.

Key words: gas scintillation proportional counter, alpha spectrometry

INTRODUÇÃO

O mecanismo da eletrolunimescência que ocorre no interior de um cintilador gasoso proporcional, isto é, a emissão de fótons na região do ultravioleta, visível e infra-vermelho do espectro provocada pela passagem de elétrons em um meio gasoso sob a influência de um campo elétrico (Policarpo *et al.*, 1967), tem sido estudado, recentemente, por vários pesquisadores (Köhler *et al.*, 1969), (Khourty, 1981), (Cumpstey, Vass, 1980), (Smith *et al.*, 1985), (Jahoda, McCammon, 1988). Entretanto, os processos que conduzem à emissão de fótons dentro do cintilador gasoso proporcional não estão bem esclarecidos e é comum encontrar-se explicações contraditórias na literatura existente. Contudo, o princípio básico de funcionamento deste cintilador pode, de uma forma simplificada, ser tratado em termos dos mecanismos de interação dos elétrons, sujeitos à ação de um campo elétrico, com os átomos do gás.

Em um contador gasoso convencional os elétrons produzidos na ionização primária, devido à incidência da partícula carregada, são acelerados

por ação do campo elétrico em direção ao eletrodo positivo do contador. Durante o trajeto, estes elétrons podem adquirir energia cinética suficiente para, através de interações eletromagnéticas, excitar ou ionizar átomos do gás. Os íons positivos poderão se recombinar com elétrons livres formando átomos neutros, bem como os átomos excitados retornarão aos seus estados fundamentais: ambos os processos serão acompanhados de emissão de fótons. Desta forma, ocorrerá dentro do contador um aumento do número de fótons em relação aos devidos à cintilação primária, a qual dependerá, para um dado gás utilizado, da quantidade e energia dos elétrons, e, obviamente, da intensidade do campo elétrico aplicado.

Para o caso de um campo elétrico uniforme, este componente secundário de cintilação cresce linearmente com a intensidade do campo elétrico aplicado (Teyssier *et al.*, 1964). Contudo, não se obtém uma melhoria significativa na resolução em energia neste cintilador pois esta não depende somente dos fatores relacionados com a quantidade de luz emitida (principalmente flutuações estatísticas no número de fotoelétrons liberados pelo

fotocatodo), mas também da geometria do campo elétrico utilizado na produção da cintilação secundária.

A quantidade de luz produzida por um elétron primário, submetido a um campo elétrico uniforme, depende da sua posição inicial e conseqüentemente, da orientação e posição da trajetória da partícula carregada incidente no contador. Este efeito determina uma pior resolução em energia no cintilador gasoso visto que eventos idênticos podem conduzir à produção de diferentes quantidades de luz. Em conseqüência, para que a cintilação secundária seja proporcional à energia da partícula incidente, e se obtenha uma resolução em energia, é necessário que se obedeça a seguinte condição (Conde, Santos, 1975):

— a quantidade de luz secundária produzida deve ser independente do ponto da região sensível do contador onde ocorre a interação da radiação com o gás.

Esta condição implica em que a região do gás onde a cintilação secundária é produzida deva ser uma porção muito pequena do volume sensível total do contador. Isto se obtém facilmente com contadores gasosos proporcionais de geometria cilíndrica, onde somente ao redor do fio anodo central é que o campo elétrico é suficientemente intenso para causar a cintilação secundária.

Quando se opera na região proporcional de um contador gasoso, o elétron primário, sendo acelerado em direção ao anodo, provoca em sua vizinhança ionizações e excitações originando uma avalanche Townsend. Nesta região, o fator de multiplicação é constante, de forma que a carga total produzida é proporcional à ionização primária decorrente da absorção da energia da partícula carregada. Analogamente, o número de fótons gerados no contador, nesta região, também será proporcional ao número de elétrons primários e, portanto, à energia da radiação incidente (obviamente, desde que ocorra a absorção total desta energia). A produção de fótons não é somente devida às desexcitações e possíveis recombinações de íons positivos com elétrons livres mas, também, ao fenômeno de emissão de radiação de freiamto dos elétrons no anodo central.

Estes fótons são coletados por uma válvula fotomultiplicadora, gerando um impulso elétrico de amplitude proporcional à perda de energia da partícula incidente no interior do contador.

Como as características desse cintilador na detecção de radiação alfa (boa resolução em energia, impulsos rápidos e de grande amplitude) evidenciaram a existência de vantagens no seu uso em medidas de coincidências alfa-gama, procurou-se utilizá-lo em medidas absolutas de atividades de emissores alfa, dotados de esquemas complexos de desintegração, através do método de coincidência generalizado (Bueno, Santos, 1992).

Com essa finalidade, estudou-se a resposta do cintilador gasoso em diferentes geometrias de anodo e os resultados obtidos estão descritos a seguir.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Um cilindro de latão de 3mm de espessura, 140mm de comprimento e 70mm de diâmetro foi utilizado como catodo do contador-cintilador gasoso e está representado na Figura 1. O anodo de tungstênio, um fio central retilíneo ou sob a forma de espira circular, era isolado das paredes do contador por meio de um bloco de plexiglass de 90mm de comprimento e 50mm de diâmetro. Este, além de isolador, tinha também a função de guia de luz no cintilador gasoso, e foi adaptado a uma válvula fotomultiplicadora RCA 6342 por meio de geléia de silicone. A parte superior do cilindro era rosqueada ao suporte de latão da fonte radioativa utilizada, de ^{241}Am ; um o-ring era interposto para manter a estanqueidade do sistema. Foi empregado um colimador, constituído por uma placa de alumínio de espessura igual a $100\text{mg}/\text{cm}^2$ dotada de um orifício central de 2mm de diâmetro, de forma que as partículas alfa penetravam no interior do contador gasoso paralelamente ao fio central.

Como utilizou-se um fluxo contínuo de gás, o cilindro de latão era dotado de dois tubos para admissão e exaustão do gás, respectivamente. Assim, uma mistura de 90% Ar e 10% CH_4 (P-10) penetrava no interior do contador pela entrada su-

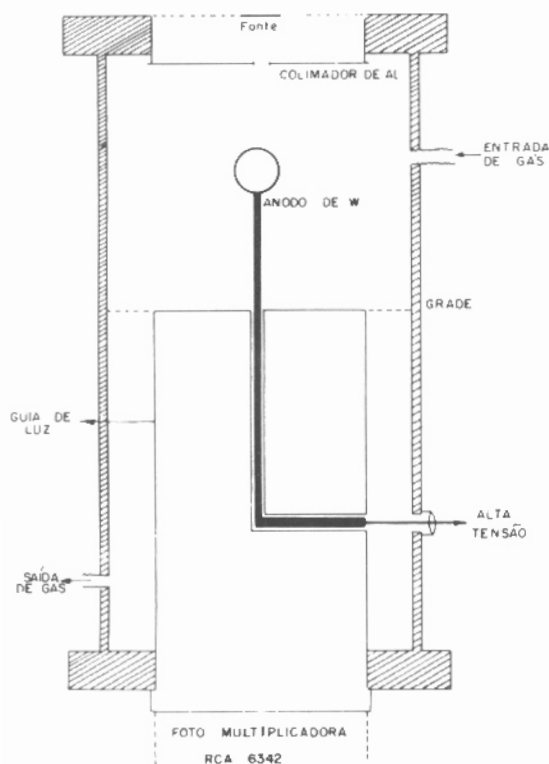


Fig. 1 — Esquema do Cintilador Gasoso Proporcional.

perior do cilindro e, após a sua circulação no interior do contador, saía pelo tubo situado na sua base.

A pressão do gás utilizado foi mantida constante através do seu borbulhamento, regulado por um conjunto de válvulas (L'air Liquide), a uma profundidade de 1cm, em um recipiente contendo óleo Santovac, assegurando que a pressão interna do detector fosse ligeiramente superior à atmosférica. Antes, porém, de penetrar no contador, a mistura gasosa referida acima atravessava um recipiente contendo sílica-gel com a função de absorver eventuais traços de umidade que reduziriam a amplitude dos impulsos. Estes últimos, quando provenientes da válvula fotomultiplicadora ou do contador gasoso, eram enviados a um amplificador operacional baseado no circuito integrado AD509, seguido por um analisador multicanal ORTEC 6240, a fim de serem selecionados em amplitude.

Como a resposta do cintilador gasoso proporcional está vinculada às condições de fun-

cionamento do contador gasoso, os estudos realizados para ambos, utilizando anodos de tungstênio, retilíneo e circular, serão descritos a seguir.

CONTADOR-CINTILADOR GASOSO PROPORCIONAL COM ANODO CIRCULAR

O anodo em forma de espira circular, de diâmetro igual a 10mm, foi obtido enrolando-se um fio de tungstênio (W) de 0,060mm, cujo diâmetro foi previamente uniformizado por erosão eletrolítica, a um suporte de fio de níquel em forma de "V". A extremidade livre do fio de W foi enrolada a voltade um cilindro de 10mm de diâmetro e com isso obtivemos a espira circular desejada. O conjunto espira e fio de níquel foi colocado sob pressão no interior de um cilindro de níquel de 76mm de comprimento e 2mm de diâmetro, o qual foi fixado no bloco isolante de plexiglass e ligado ao terminal de alta tensão da fonte estabilizada; o plano da espira continha o eixo de simetria do contador (Figura 1).

As condições de funcionamento deste contador, em função da tensão aplicada ao anodo (Figura 2), foram estudadas acoplando-se à sua saída um osciloscópio (para a observação da variação das amplitudes dos impulsos decorrentes da ionização das partículas alfa do ^{241}Am); como gás utilizou-se a mistura de 90% de argônio e 10% de metano. A análise desta curva característica evidencia que este contador opera na região proporcional entre 1300V e 2300V e na região de proporcionalidade limitada a partir de 2400V.

Uma vez determinadas as faixas de tensão que correspondem ao regime proporcional e de proporcionalidade limitada do contador, construiu-se o espectro de energia das partículas alfa do ^{241}Am . A Figura 3 representa estes espectros para valores de tensão de 2200V e 2400V, correspondentes às regiões proporcional e de proporcionalidade limitada, respectivamente. As resoluções encontradas, 9,0% e 7,1%, mostram uma melhor resposta do contador operando na região de proporcionalidade limitada, o que é evidente pelo fato de que sendo maior a amplitude do

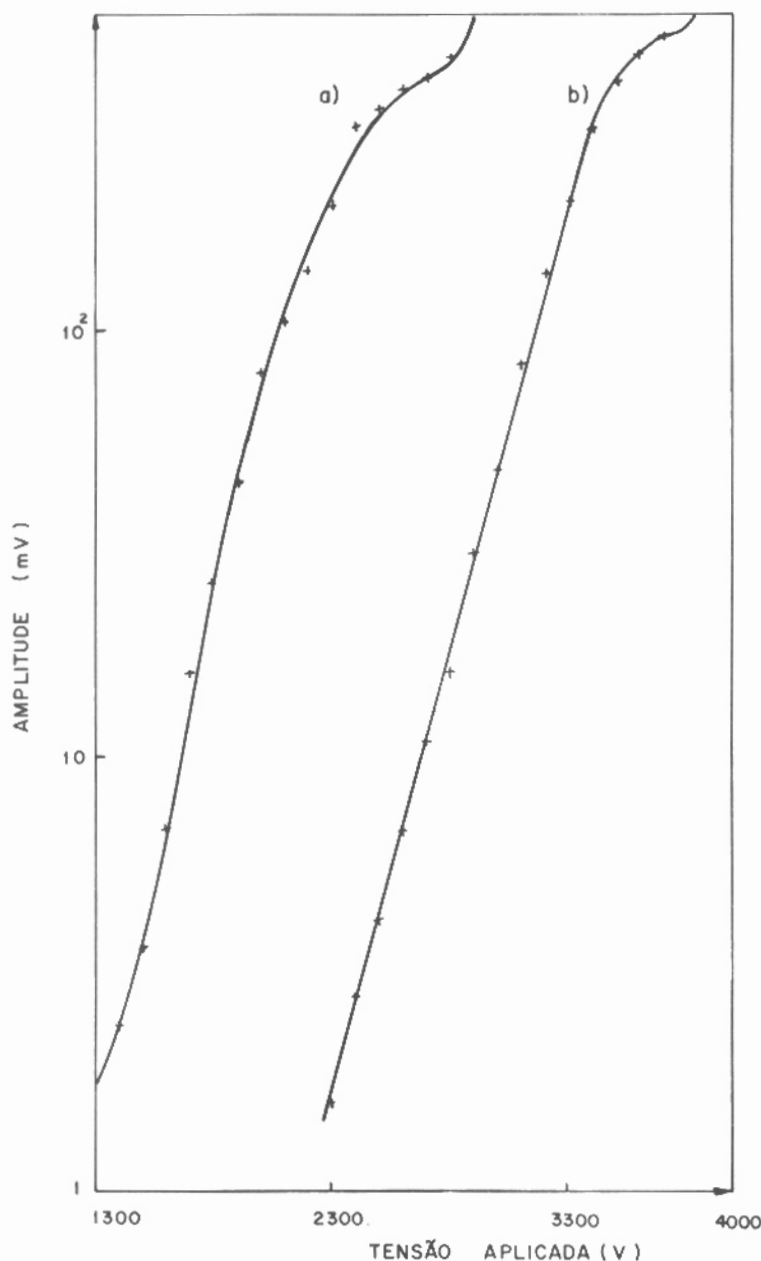


Fig. 2 — Curva característica do contador gasoso proporcional com: a) ânodo circular; b) ânodo retilíneo.

impulso, maior a relação sinal-ruído e, portanto, melhor a condição de medida.

Posteriormente, estudaram-se as condições de funcionamento do cintilador gasoso acoplado o amplificador diretamente à fotomultiplicadora (AD509) evitando-se o uso de cabos coaxiais cujo emprego implicaria em um aumento da capaci-

dade do coletor de elétrons em relação à terra: obtém-se, assim, uma redução da constante de tempo, acarretando uma melhor relação entre sinal e ruído.

Com a finalidade de observar a influência do campo elétrico sobre o mecanismo de cintilação, observou-se as amplitudes dos impulsos na saída

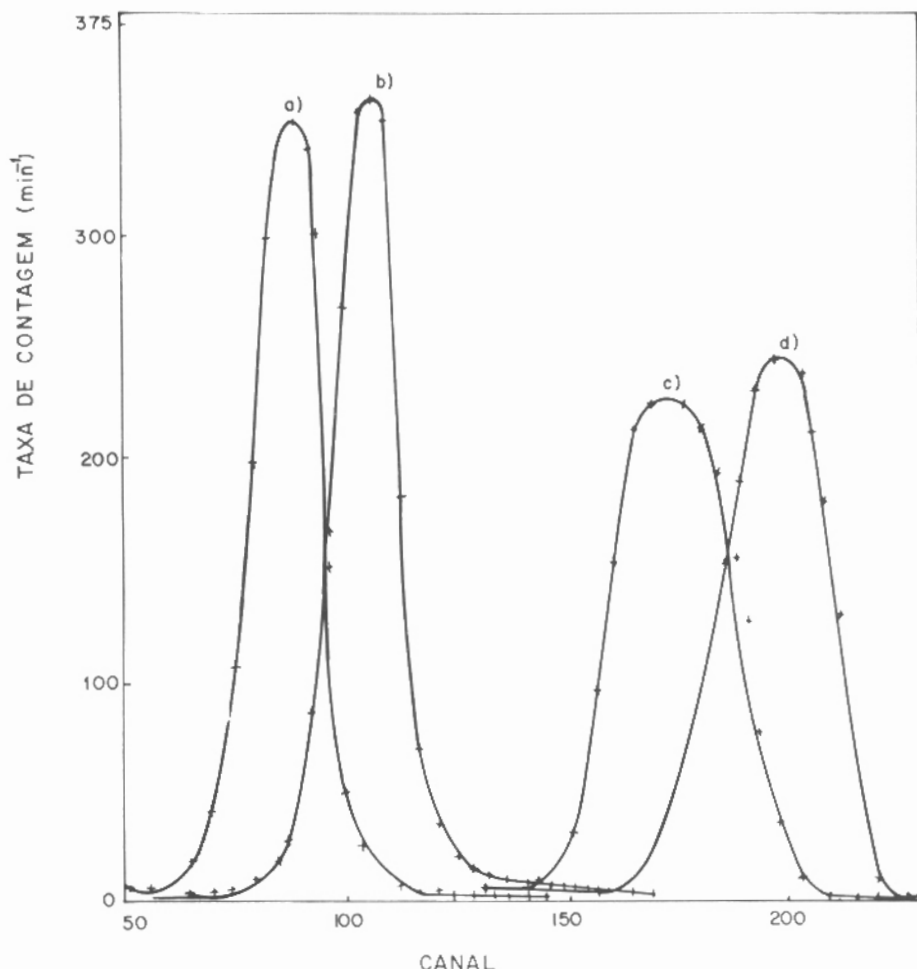


Fig. 3 — Espectros do ^{241}Am obtidos com o contador proporcional com anodo circular: a) $V = 2200\text{V}$; b) $V = 2400\text{V}$ e cintilador gasoso proporcional: c) $V = 2200\text{V}$; d) $V = 2400\text{V}$.

do amplificador em função da tensão aplicada no anodo. Inicialmente, em ausência de campo elétrico, nenhum impulso foi observado devido ao fato de utilizar-se uma mistura de 90% de argônio com 10% de metano, pois pequenas porcentagens desta substância orgânica reduzem a amplitude do impulso decorrente da cintilação primária por um fator seis.

A Figura 4 mostra a variação da amplitude dos impulsos em função da tensão do anodo, e torna claro o efeito do campo elétrico sobre a cintilação secundária produzida no interior do contador. Para um potencial inferior a 2100V não consegue-se observar os impulsos, pois existe uma intensidade de campo elétrico mínima

necessária para gerar a cintilação secundária e conduzir à formação de um impulso de amplitude mensurável.

Em seguida, verificou-se a resposta do cintilador gasoso, com anodo circular, construindo-se espectros de energia das partículas alfa do ^{241}Am , para valores de tensão iguais a 2200V e 2400V , que correspondem, no contador gasoso, às regiões proporcional e proporcionalidade limitada.

A Figura 3 representa estes espectros, e demonstra que, nestas condições, a resposta do cintilador é pior do que aquela obtida com o contador. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que nessa geometria, como a produção de fótons se dá na vizinhança imediata

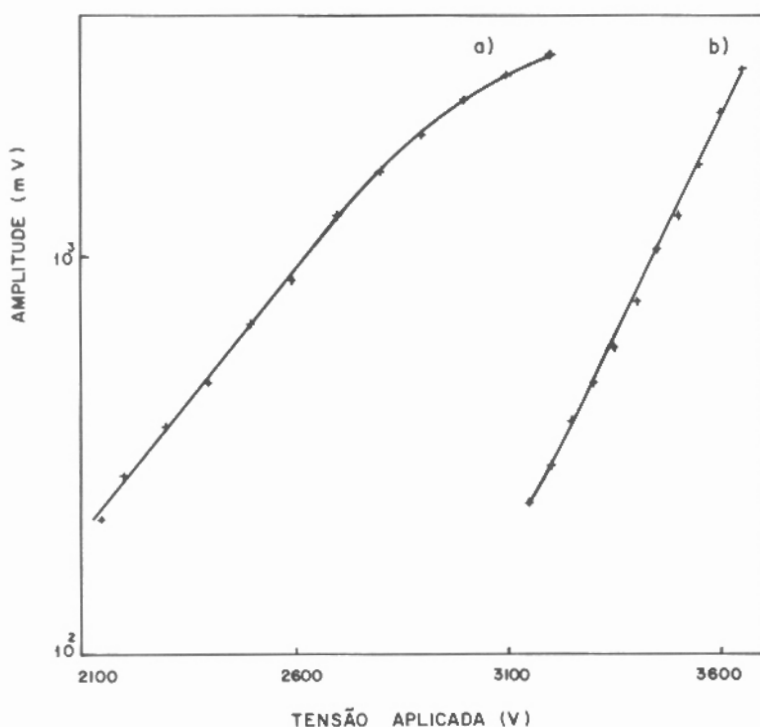


Fig. 4 — Curva característica do cintilador gasoso proporcional a) anodo circular, b) anodo retilíneo.

do anodo circular, a forte absorção desses fótons no metano impede que muitos deles possam atingir o guia de luz, em virtude da distância que os separa do bloco de lucite. Com um anodo retilíneo, que emerge do guia de luz, como as partículas incidem paralelamente ao anodo, as avalanches se formam em torno do fio e há uma melhor condição de captura dos fótons no cintilador.

Desta forma, substituiu-se o anodo circular por outro, retilíneo, e observou-se a resposta do sistema.

CONTADOR-CINTILADOR GASOSO COM ANODO RETILÍNEO

Um fio de tungstênio de 0,4mm de diâmetro e 90mm de comprimento foi utilizado como anodo central, montado no eixo do guia de luz que desempenhava também a função de isolador como indicado na figura 1.

Da mesma forma anterior, procurou-se estudar a resposta do contador através da análise da

amplitude dos impulsos, das partículas alfa do ^{241}Am , em função da tensão aplicada ao anodo. A figura 2 representa a curva característica, e através dela observou-se que esse contador opera na região proporcional entre 2200V e 3300V, e na de proporcionalidade limitada a partir de 3400V.

Como pôde-se observar, o contador com anodo retilíneo opera na região proporcional em uma faixa de tensão superior à utilizada no caso do anodo circular. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o diâmetro do fio retilíneo é maior do que o da espira circular, e também, como nesse caso a distância anodo-catodo é menor, obtém-se, para uma mesma diferença de potencial, uma intensidade maior do campo elétrico aplicado.

A fim de estudar as condições de funcionamento do contador, construíram-se os espectros de energia das partículas alfa do ^{241}Am na região proporcional e de proporcionalidade limitada. A Figura 5 indica que nesta geometria a resposta do contador é melhor do que a obtida com anodo cir-

cular; fato traduzido em uma melhoria na resolução total em energia.

Como a resposta do cintilador está vinculada às características do contador, procurou-se observar, de forma idêntica à anterior, a amplitude dos impulsos devidos às partículas alfa do ^{241}Am em função da tensão no anodo. A curva característica do cintilador com anodo retilíneo está representada na Figura 4 e demonstra que, somente para tensões superiores a 3100V, obtém-se impulsos de cintilação detectáveis pelo sistema eletrônico. De forma idêntica à observada no contador, o cintilador com anodo retilíneo opera em uma faixa de tensão superior ao de anodo circular, evidenciando que o mecanismo de cintilação

secundária está vinculado à produção da Avalanche Townsend e portanto, à intensidade do campo elétrico.

A Figura 5 representa o espectro de energia das partículas alfa do ^{241}Am para uma tensão no anodo igual a 3500V. A resolução obtida de 4,0% demonstra que a sua resposta é bem melhor de que a do cintilador com anodo circular, o que é explicado pela geometria utilizada pois, a produção de cintilação secundária ocorre em uma região muito próxima do fio anodo e ao longo deste. Sendo assim, os fótons secundários gerados sofrem uma absorção menor do que a correspondente ao anodo circular, uma vez que são produzidos

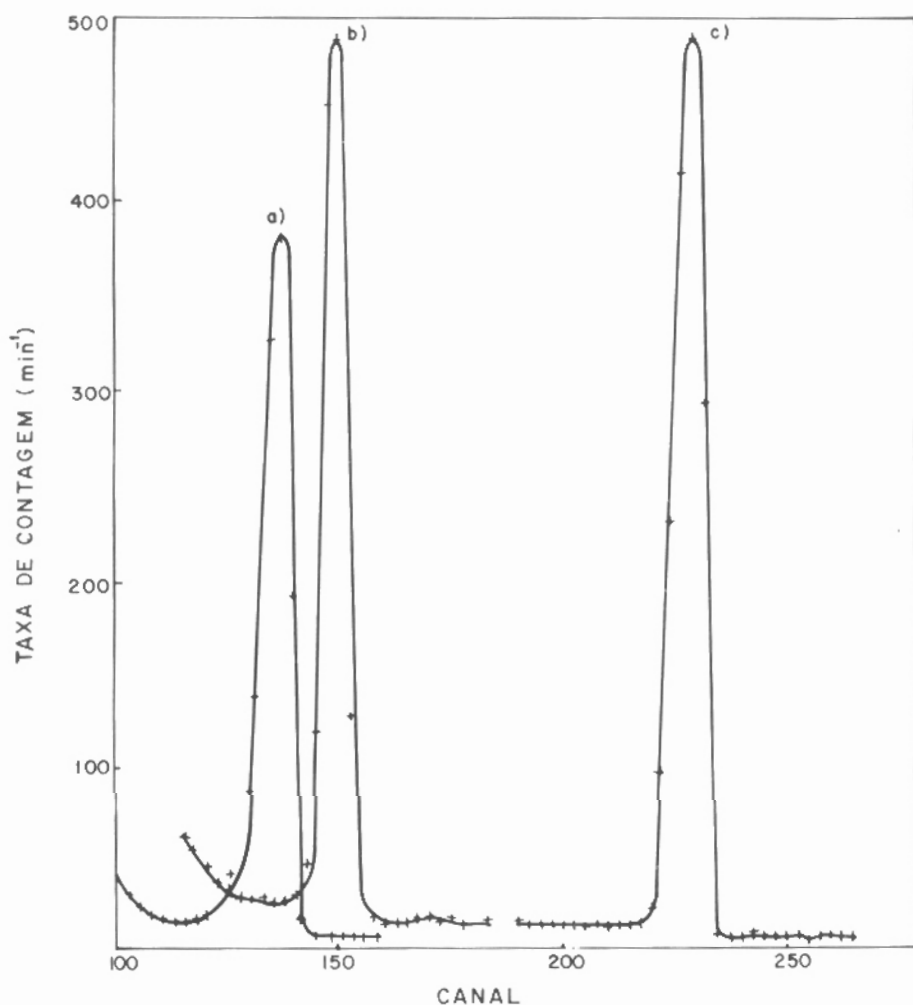


Fig. 5 — Espectros do ^{241}Am obtidos com o contador proporcional com anodo circular: a) $V = 3300\text{V}$; b) $V = 3500\text{V}$ e cintilador gasoso proporcional: c) $V = 3500\text{V}$.

na vizinhança do centro geométrico do guia de luz.

Com o propósito de estudar a influência do campo elétrico sobre a amplitude dos impulsos correspondentes às partículas alfa do ^{241}Am , bem como na resolução em energia obtida, variou-se a tensão no anodo e, para cada valor, registrou-se o espectro alfa no analisador multicanal. Com estas medidas, construímos a curva 6 que mostra a variação do canal correspondente ao pico do espectro (que é proporcional à amplitude do im-

pulso) em função da tensão. O exame dessa curva mostra um notável efeito do campo elétrico sobre as amplitudes dos impulsos, o que se traduz experimentalmente, pelo aumento do número do canal correspondente ao pico do espectro. Este comportamento é explicado pelo fato de que, à medida que o campo elétrico se torna mais intenso, os elétrons adquirem uma maior energia cinética no seu trajeto até o anodo, podendo provocar um maior número de excitações que conduzem, então, a um aumento no número de fótons.

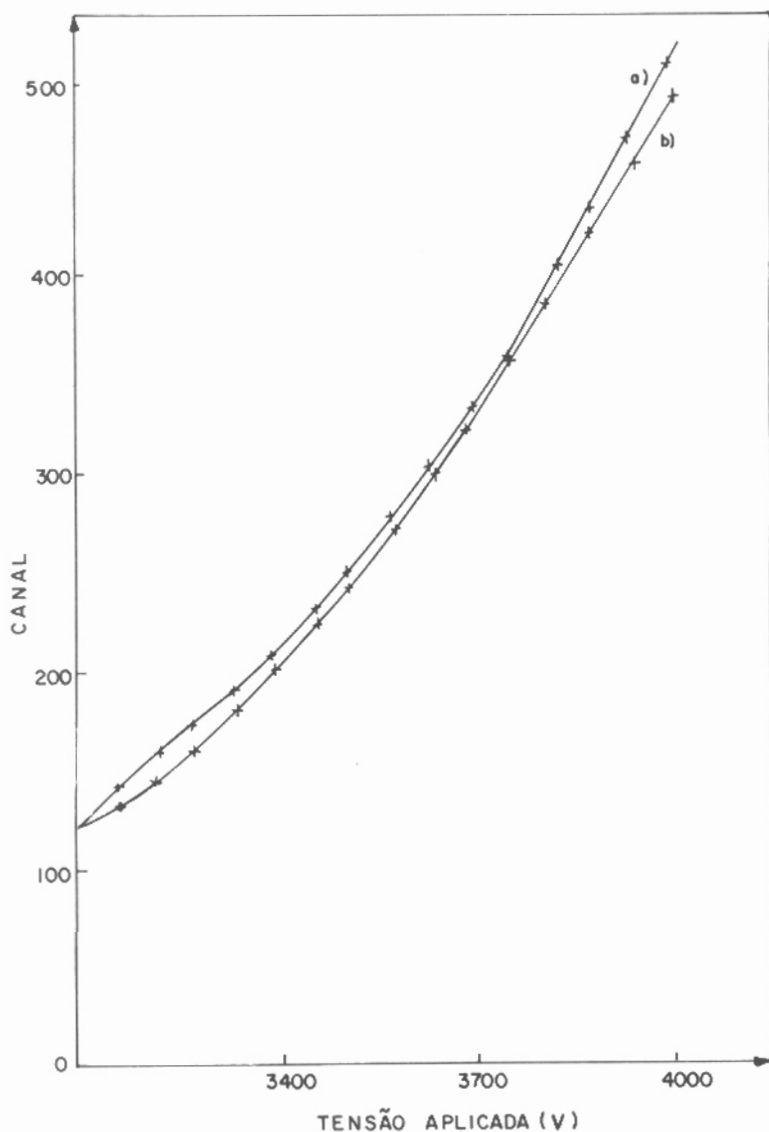


Fig. 6 — Variação da amplitude dos pulsos em função da tensão aplicada ao cintilador gasoso proporcional: a) sem conversor; b) com conversor.

INFLUÊNCIA DO FILME CONVERSOR NA RESPOSTA DO CINTILADOR

Como o registro dos fótons produzidos pelo cintilador foi feito sem o auxílio de um filme conversor de comprimento de onda, procurou-se verificar a sua possível influência na resposta do cintilador. Para isso, depositou-se, na janela da válvula fotomultiplicadora, uma solução constituída da mistura de dimetil-POPOP e PPO dissolvidos em tolueno, obtendo-se um filme uniforme e transparente. Da mesma forma, procurou-se verificar a resposta do cintilador nesta nova condição, construindo-se espectros de energia das partículas alfa do ^{241}Am , em função da tensão aplicada no anodo. A Figura 6 mostra o número do canal correspondente ao pico do espectro em função da tensão, evidenciando um aumento na amplitude do impulso com intensidades crescentes do campo elétrico. Pode-se observar que a resposta do cintilador com o filme conversor sofreu um pequeno acréscimo (em torno de 10%) na amplitude dos pulsos observados, evidenciando que a intensidade do campo elétrico, tanto na região proporcional, quanto na de proporcionalidade limitada, é suficientemente elevado para que o número de fótons produzidos, com comprimento de onda dentro da região de sensibilidade do fotocátodo, forneça pulsos de amplitudes comparáveis.

Por outro lado, como a presença de filmes obtidos a partir de materiais orgânicos são os maiores responsáveis pela deterioração das condições de resposta de cintiladores gasosos, é preferível utilizar o cintilador sem o filme conversor visto que este não causa, na geometria utilizada, uma melhoria significativa na sua resposta, o que é evidenciado pela resolução em energia manter-se a mesma.

CONCLUSÕES

1. A resposta do cintilador gasoso proporcional é fortemente influenciada pela geometria do fio anodo e pela intensidade do campo elétrico (que o situa na região proporcional ou de proporcionalidade limitada).

2. A amplitude do impulso, decorrente da interação da partícula alfa com os átomos do gás, aumenta com a intensidade do campo elétrico aplicado, pois o mecanismo de cintilação secundária está vinculado à produção da Avalanche Townsend, que ocorre nas proximidades do anodo.

3. A resolução em energia do cintilador gasoso proporcional com anodo circular é pior que a obtida com um anodo retilíneo, pois a forte absorção dos fótons no gás de extinção (quenching) impede que um grande número desses fótons possa atingir o guia de luz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUENO, C. C. & SANTOS, M. D. S., (1992), Measurement of the absolute activity of ^{235}U by the generalized coincidence method. Aceito para publicação no *Int. J. Radiat. Appl. Instrum. Part A*.
- CONDE, C. A. N. & SANTOS, M. C. M., (1975), An argon gas scintillation counter with uniform electric field. *IEEE Trans. Nucl. Science*, **22**: 104.
- CUMPTSEY, D. E. & VASS, D. G., (1980), The scintillation process in gas proportional scintillation detectors with uniform electric fields. *Nucl. Instrum. Methods*, **171**, 473.
- JAHODA, K. & MCCAMMON, D., (1988), Proportional counters as low energy photon detectors. *Nucl. Instrum. Methods*, **A272**, 800.
- KHOURY, H. J., (1981), Um novo tipo de detector de partículas ionizantes. Ph.D. Thesis, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil.
- KÖHLER, H.; PETER, G. & ROSENKRANZ, G., (1969), Untersuchung der lichtausbeute gasgefüllter szintillatoren. *Kernenergie*, **12**: 387.
- POLICARPO, A. J. P. L.; ALVES, M. A. F. & CONDE, C. A. N., (1967), The argon-nitrogen proportional scintillation counter. *Nucl. Instrum. Methods*, **55**: 105.
- SMITH, G. C.; FISCHER, J. & RADEKA, V., (1985), X-ray position detection at 22mm FWHM with a gas proportional chamber. *IEEE Trans. Nucl. Science*, **NS-32**, 521.
- TEYSSIER, J. L.; BLANC, D. & GODEAU, A., (1964), Excitation induite par les particules α dans les gaz rares, en presence d'un champ électrique. *Nucl. Instrum. Methods*, **30**: 331.