

Construção de um Contador Proporcional a partir de uma Lata de Alumínio

Heitor Ernandes¹, Fernanda Hüller¹, André Bozzon¹, Hugo Luz¹, Alexandre Suaide¹

¹Instituto de Física, Universidade de São Paulo. *

As disciplinas de Física Experimental visam aprofundar o conhecimento de análise quantitativa e interpretação de dados. Para isso, existe uma demanda por equipamentos simples e de baixo custo que sejam suficientes para ilustrar fenômenos da física moderna, bem como aperfeiçoar técnicas experimentais. Voltando-se para as áreas de física nuclear e física de partículas, é possível construir aparelhos simples e baratos, mas que oferecem aos estudantes um conhecimento detalhado do funcionamento de detectores de radiação, e a oportunidade de construir um completamente operacional com baixo custo. Assim, este artigo descreve a construção de um contador proporcional a partir de uma lata de alumínio, tendo como finalidade a detecção e o estudo de radiações ionizantes em laboratórios didáticos. Utilizando como fonte radioativa o ⁵⁵Fe, foi possível extrair informações importantes dos espectros de energia, bem como determinar a resolução do detector.

palavras-chave: Física de Partículas, Contador Proporcional, Avalanche de Townsend, Radiações Ionizantes, Raios-X, Raios- γ , Espectros de Energia

1. Introdução

A Física de Partículas é uma das áreas da física pouco exploradas em laboratórios didáticos por ter uma necessidade de experimentos mais elaborados e complexos que envolvem altos custos tornando assim inviável a aplicação desta em tais laboratórios. Contudo é uma área a qual tem um interesse muito grande por parte dos alunos. Sendo essa uma das subdivisões da física com maior foco atualmente, com inúmeros avanços como novas partículas sendo descobertas, como por exemplo o Bóson de Higgs e a tentativa de novas teorias para complementar o modelo padrão, como até mesmo a própria construção do Large Hadron Collider (LHC) e outros experimentos gigantescos que requerem a colaboração de diversos países, sendo um desses o Brasil. Há ainda inúmeras aplicações em áreas mais aplicadas que usam a física de partículas, como física dos materiais, médica e outras. Assim para que os estudantes tenham a oportunidade de construir e tomar medidas usando um experimento de física de partículas é proposto a construção de um contador proporcional usando uma latinha.

Em laboratórios didáticos há uma demanda constante por experimentos de baixo custo capazes de ilus-

trar fenômenos nas áreas de física nuclear e física de partículas, que costumam ter um custo elevado seja pela própria estrutura do experimento ou pela eletrônica do sistema de aquisição de dados. Por exemplo, seria interessante a existência de detectores de radiação mais baratos e capazes de fornecer aos alunos certa compreensão de seu funcionamento. Portanto, este projeto consistiu na construção de um contador proporcional a partir de uma simples lata de alumínio, além da montagem da eletrônica necessária para a aquisição de dados. Um contador proporcional funciona como uma câmara de ionização, porém no regime proporcional, isto é, em que os elétrons gerados pela entrada de radiação são amplificados no gás. O gás que preenche a câmara é normalmente uma mistura cujo componente principal é um gás inerte. O detector possui uma geometria cilíndrica, como representado no esquema da Figura (1). Um campo elétrico radial entre o catodo e o anodo é gerado quando uma alta tensão positiva é aplicada ao anodo. Desprezando efeitos de borda, o campo elétrico dentro do detector poderá ser aproximado por

$$E(r) = \frac{V}{r \cdot \ln(b/a)}, \quad (1)$$

onde, neste caso, V é o potencial aplicado, b é o raio interno do catodo e a é o raio externo do anodo.

*fernanda.huller.nascimento@usp.br , heitor.ernandes@usp.br

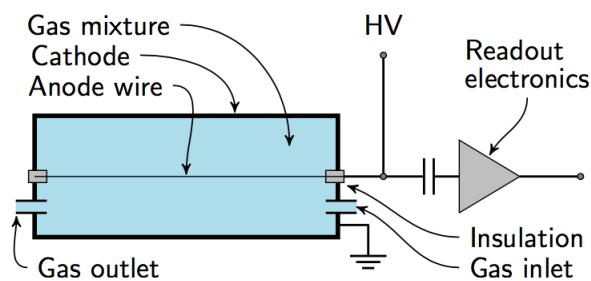


Figura 1: Esquema de um contador proporcional.

Se um certo tipo de radiação de alta energia incidir no detector, é capaz de ionizar os átomos do gás ali presente, produzindo então elétrons e íons positivamente carregados. O número final destas partículas será proporcional à energia da radiação incidente, desde que ela seja completamente absorvida dentro do detector. Já o campo elétrico atua de maneira a impedir a recombinação dos elétrons e dos íons, fazendo com que os elétrons se movam em direção ao anodo, enquanto que os íons vão no sentido do catodo. Se a tensão aplicada ao anodo for alta o suficiente, um campo elétrico forte o bastante será gerado próximo ao fio, provocando novos processos de ionização. Este fenômeno é conhecido como avalanche de Townsend: elétrons acelerados por um campo elétrico ionizam o gás, resultando em novos elétrons livres que, por sua vez, são também acelerados, tornado-se capazes de ionizar novamente o gás, e assim por diante – Figura (2). Portanto, o número de elétrons que chegam ao anodo é muito maior, mas ainda sim proporcional ao número de elétrons primários produzidos pela radiação incidente. Isto torna a corrente elétrica induzida no anodo grande o suficiente para ser detectada.

Note que é importante garantir que o gás presente dentro do detector não seja contaminado com impurezas. Moléculas de oxigênio ou água, por exemplo, são eletronegativas e, por isso, diminuem drasticamente o efeito de avalanche. O resultado seria um sinal fraco demais para ser detectado. Assim, sugere-se a utilização de uma mistura de gás nobre ($\sim 90\%$) com um gás molecular ($\sim 10\%$). O gás molecular aumenta a estabilidade do detector em relação às descargas elétricas, permitindo aplicar tensões mais altas e, consequentemente, atingindo ganhos (amplificação) mais elevados.

Para uma voltagem muito alta, o detector começa a operar como um contador Geiger-Müller. Neste regime, além de serem capazes de provocar as avalan-

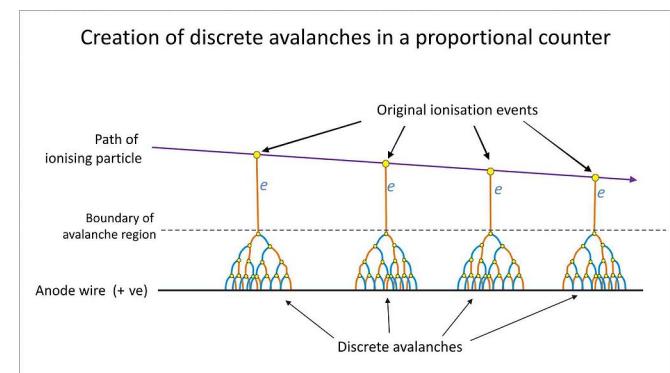


Figura 2: Esquema do processo de avalanche que ocorre dentro de um contador proporcional quando há uma partícula carregada incidente. Ao interagir com o gás, ela deixa um rastro de elétrons. Porém, se um fóton incide no detector, interage apenas uma vez com o gás, deixando uma nuvem de elétrons.

ches, os pares elétron-íon também produzem fótons altamente energéticos (consequência da excitação dos átomos), fazendo com que todo o gás se ionize e haja uma descarga elétrica completa. Entretanto, neste momento o caráter proporcional do sinal do detector é inteiramente perdido.

2. Construção do Contador Proporcional

Uma abordagem similar a deste artigo que foi tomada como inspiração foi a do Winkler et al. (2015), que propôs a construção de um contador proporcional de baixo custo e mais eficiente que os outros já encontrados na literatura. A abordagem aqui adotada foi praticamente a mesma, mas algumas mudanças foram feitas em relação ao design do detector, o que melhorou sua performance em certos aspectos.

O ponto principal deste contador proporcional ao estilo “do it yourself” é a utilização de uma lata de alumínio simples – de refrigerante, cerveja ou energético – como catodo do detector. Isto é possível porque, além do alumínio destas latas ser de boa qualidade, a espessura das paredes é fina o suficiente para que raios-X e raios- γ de baixa energia entrem no volume de gás. Buscando uma maior semelhança com contadores proporcionais, escolheu-se uma lata de *RedBull* para ser o catodo deste detector. O critério utilizado foi a razão entre o diâmetro e o comprimento da lata, tal que quanto maior o comprimento e menor o diâmetro, chegava-se mais próximo do ideal para um contador proporcional – neste limite, a aproximação do campo elétrico dada pela equação (1) torna-se mais realista.

Para transformar a lata no detector foi necessário primeiramente cortar as suas duas extremidades e remover a camada de polímero presente em seu interior. O polímero serve como um protetor e evita que o líquido armazenado na lata entre em contato direto com o alumínio. Duas placas de acrílico com espessura de $\sim 5\text{ mm}$ foram escolhidas para serem as tampas do contador proporcional. Nelas foram feitos dois furos de 1 mm de diâmetro para a passagem do anodo, dois furos um pouco maiores para o suprimento de gás e quatro furos para as barras roscadas. À uma das tampas foi colado um pequeno cilindro de acrílico, cuja finalidade era facilitar o encaixe do conector de alta tensão e sua ligação com o anodo.

Um fio de ouro de $25\text{ }\mu\text{m}$ foi utilizado como anodo. Depois de passá-lo pelo interior da lata e pelas tampas de acrílico, o detector foi vedado com cola *epoxy*: as tampas de acrílico foram coladas à lata e os furos pelos quais o fio passava foram também preenchidos com cola. As barras roscadas e as porcas serviram para deixar as tampas de acrílico ainda mais presas à lata de alumínio. Uma das pontas sobressalentes do anodo foi cortada, enquanto que a outra foi soldada ao conector de alta tensão. Por fim, lixou-se uma pequena região do exterior da lata, na qual uma malha metálica de cabo coaxial foi presa. Soldando esta malha metálica ao conector de alta tensão, a lata ficava aterrada.



Figura 3: Contador proporcional construído a partir de uma lata de alumínio.

3. Arranjos Experimental e Eletrônico

Para colocar o contador proporcional em funcionamento, foi necessário desenvolver um arranjo experimental um pouco mais sofisticado. Como mostrado na Figura (4), o conector de alta tensão ligava o detector a uma caixa metálica. Nesta caixa havia um circuito composto por dois resistores e um capacitor, cuja finalidade era desacoplar a alta tensão do sinal. Como detectores de radiação são produtores de carga, foi utilizado um pré-amplificador para integrar a carga à saída do detector, fornecendo um sinal em tensão cuja

amplitude é proporcional a essa carga. O detector, a caixa metálica e o pré-amplificador foram presos sobre a mesma placa metálica, de maneira que o arranjo inteiro ficou aterrado.

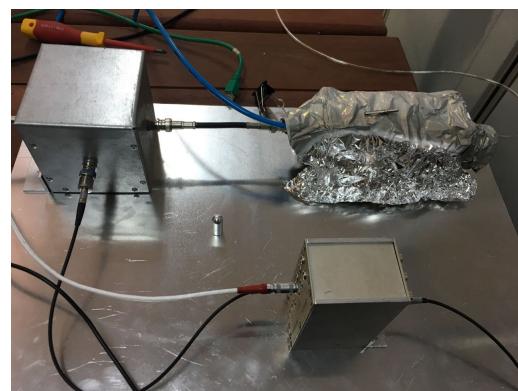


Figura 4: Arranjo experimental utilizado para o funcionamento do contador proporcional.

O gás utilizado no detector era uma mistura de 90% argônio e 10% CO_2 . Ao deixar um fluxo constante deste gás por algumas horas, o ar foi inteiramente removido do interior da lata. Inicialmente o fluxo utilizado era de $6\text{ l}\backslash\text{h}$, porém, devido a um possível vazamento de gás do detector, foi preciso aumentar este fluxo para $12\text{ l}\backslash\text{h}$.

É importante ressaltar que, como observado na Figura (4), a lata foi envolvida em papel alumínio de cozinha. Esta blindagem foi uma parte essencial da preparação do arranjo experimental, uma vez que diminuiu consideravelmente o ruído do sistema.

O arranjo eletrônico utilizado para medir o sinal vindo do pré-amplificador era composto por um amplificador, um discriminador, um osciloscópio e um ADC – Figura (5). A função do amplificador é, como o próprio nome já diz, amplificar o sinal. Além disso, ele dá ao sinal uma forma conveniente de pulsos (“pulse shaping”) preservando a informação original. Já o discriminador é um aparelho que responde a sinais de entrada com altura maior que um certo limiar pré-estabelecido (“threshold”). Se o critério for satisfeito, o discriminador responde com um sinal lógico padrão; caso contrário, nenhuma resposta é enviada. Como o valor do “threshold” pode ser ajustado manualmente, o discriminador é muito utilizado para o bloqueio de ruídos. No osciloscópio era possível visualizar o sinal vindo do amplificador e o sinal de “gate” (sinal cuja largura determina o período de tempo no qual o ADC deve procurar um máximo). Por fim, o ADC tem como função converter um sinal analógico para um sinal di-

gital. Se o sinal analógico varia de 0 a 10 V e o ADC for de 12 bits, por exemplo, ele é capaz de devolver um sinal digital que varia de 0 a 4096.

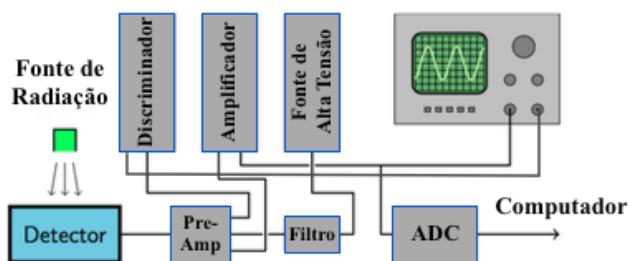


Figura 5: Esquema do arranjo eletônico utilizado para o funcionamento do contador proporcional.

Rapida descrição do Pulso 6

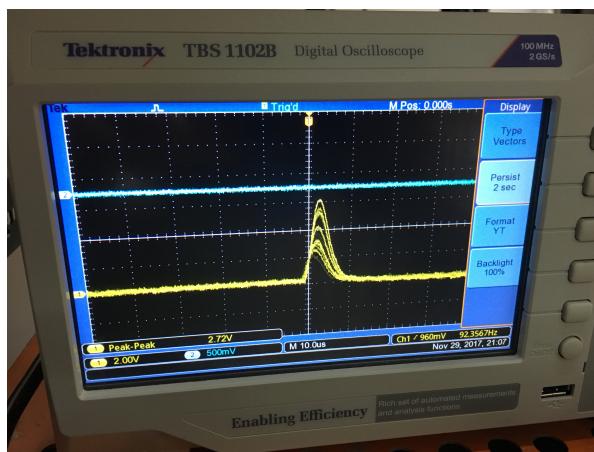


Figura 6: Pulso esperado para um contador proporcional.

4. Fonte Radioativa: ^{55}Fe

A fonte radioativa utilizada para a calibração do contador proporcional foi o ^{55}Fe , um isótopo do ferro que possui 26 prótons e 29 nêutrons. O ^{55}Fe decai por captura eletrônica para um estado excitado do ^{55}Mn , um isótopo estável do manganês com um núcleo de 25 prótons e 30 nêutrons. A captura eletrônica é o processo em que um núcleo rico em prótons absorve um elétron das camadas mais internas do átomo (K ou L), resultando num nêutron e num neutrino do elétron:

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e. \quad (2)$$

O rearranjo das camadas eletônicas do ^{55}Mn produz uma emissão de raios-X com energias de 5.9 keV para o K_α e de 6.5 keV para o K_β . Como estes valores são

muito bem determinados, o ^{55}Fe tem sido amplamente utilizado em laboratórios como fonte de raios-X.

É possível observar a fonte de ^{55}Fe utilizada neste trabalho em cima do contador proporcional e do papel alumínio na Figura (4).

5. Procedimento Experimental

Com a finalidade de determinar a resolução do contador proporcional e de buscar informações a partir dos espectros de energia, foram tomadas medidas variando a tensão num passo de 50 V no intervalo de 1300 V a 1700 V . Cada aquisição durou por volta de 5 minutos, sendo que uma única aquisição correspondia a um histograma de eventos (contagens) por canais do ADC.

As aquisições começaram em 1700 V com o amplificador no ganho mínimo, tal que todos os possíveis picos do espectro de energia estivessem visíveis dentro da escala do histograma. Porém, ao diminuir a tensão, os picos ficaram mal posicionados e difíceis de visualizar. Para consertar este problema, foi necessário mexer no ganho do amplificador. Quando alterava-se o ganho, era preciso fazer duas aquisições para um mesmo valor de tensão: uma medida para o ganho atual e outra para o ganho utilizado com a tensão anterior. Isto porque, para fazer uma análise de dados consistente, todas as medidas precisam estar normalizadas a um mesmo ganho. Assim, para determinar o fator multiplicativo entre duas medidas de ganhos diferentes e mesma tensão, é preciso dividir a medida de ganho maior pela medida de ganho menor. Para normalizar todas as medidas ao ganho mínimo, deve-se dividí-las pelos respectivos fatores – Tabela (1).

Tabela 1: Fatores utilizados para normalizar as medidas ao ganho mínimo.

Mudança do Ganho	Fator
Mínimo + 4 → Mínimo	11.6
Mínimo + 3 → Mínimo	5.69
Mínimo + 2 → Mínimo	3.35
Mínimo + 1 → Mínimo	1.69

No intervalo de tensão de 1300 V a 1450 V é preciso mudar o discriminador, uma vez que o “threshold” estiver muito alto. A tomada de dados começando em 1700V e seguiu em direção a tensões menores, ao chegar em 1450 V .

6. Análise de Dados

Os espectros de energia foram obtidos utilizando o software científico *ROOT* contudo tal analise pode ser feita em qualquer software como Excel e outros. A Figura (7) mostra o espectro de energia correspondente à tensão de 1700 V. Para tensões altas como esta, foi possível observar três picos distintos no espectro de energia. O pico de maior amplitude corresponde à emissão de raios-X devido ao decaimento da fonte radioativa. Note que a resolução de energia do detector não é boa o suficiente para separar as emissões K_{α} e K_{β} . Já o pico de amplitude intermediária é conhecido como pico de escape do Ar. Esses picos são produzidos porque, ao incidir nos orbitais mais internos do átomo, o raio-X provoca a emissão de um elétron e de um novo fóton de raio-X (consequência do rearranjo dos elétrons no átomo). O fóton resultante pode escapar do detector sem interagir com nenhum outro átomo, tal que haverá um déficit de energia no sistema. Isto implica num pico distinto aparecendo no espectro, cuja energia corresponde à diferença de energia do raio-X original e do raio-X que escapou, ou seja, é equivalente à energia cinética do elétron emitido. No caso do Ar, este pico possui uma energia de $\sim 3 \text{ keV}$. Por fim, o pico de menor amplitude é a fluorescência do alumínio da lata, ocorrendo a uma energia de $\sim 1.5 \text{ keV}$.

Para facilitar a visualização do espectro de energia, é possível colocar o eixo y do gráfico em escala logarítmica. Além dos picos ficarem mais evidentes, pode-se observar também o limite do sinal e do ruído. No canto esquerdo da Figura (8), por exemplo, há um corte do sinal. Este corte nada mais é do que o resultado da ação do “threshold”. Abaixo deste valor está o ruído, enquanto que acima dele, como fica claro pela presença dos três picos, está o sinal.

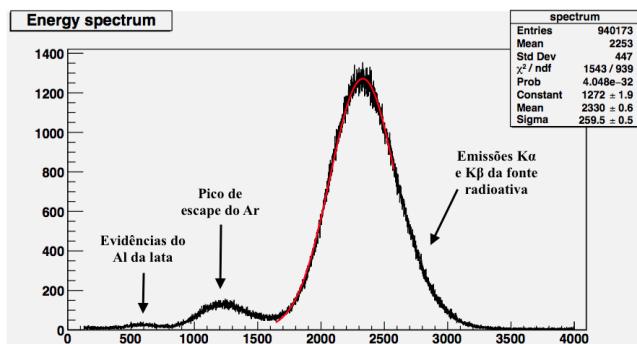


Figura 7: Espectro de energia correspondente à tensão de 1700 V e ajuste ao pico do K_{α} em vermelho.

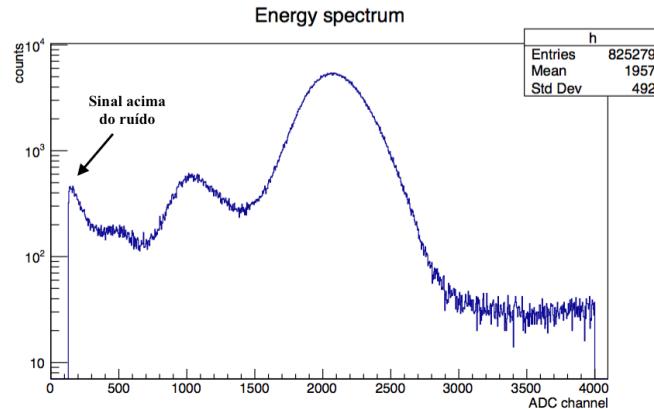


Figura 8: Espectro de energia correspondente à tensão de 1700 V em escala logarítmica.

Aos picos de emissão do ^{55}Fe foram ajustadas Gaussianas. Pela Figura (7) é possível observar que estes ajustes foram feitos tentando selecionar apenas a região do espectro correspondente ao K_{α} . Com os valores do ajuste para o desvio padrão e a amplitude, plotaram-se três gráficos distintos. Os dois primeiros com o objetivo de analisar o comportamento da amplitude e do desvio padrão em função da variação da tensão – Figuras (9) e (10) – e o último para determinar o comportamento da resolução do detector – Figura (11). A resolução foi definida como sendo a razão entre o desvio padrão e a amplitude. Lembrando que estes gráficos foram feitos com todas as medidas normalizadas ao ganho mínimo – Tabela (2).

É possível observar que a amplitude cresce exponencialmente com a tensão. Como o desvio padrão apresenta um comportamento semelhante ao da amplitude, isto faz com que a resolução mantenha-se praticamente constante em torno de 10%.

Tabela 2: Valores dos ajustes normalizados ao ganho mínimo.

Tensão [V]	Amplitude	σ	Resolução [%]
1700	2210.7	224.2	10.14
1650	1452.9	148.4	10.21
1600	950.83	95.33	10.03
1550	623.97	63.69	10.21
1500	410.67	40.53	9.870
1450	269.94	26.55	9.834
1400	179.06	17.85	9.968
1350	118.64	11.83	9.973
1300	79.338	7.955	10.03

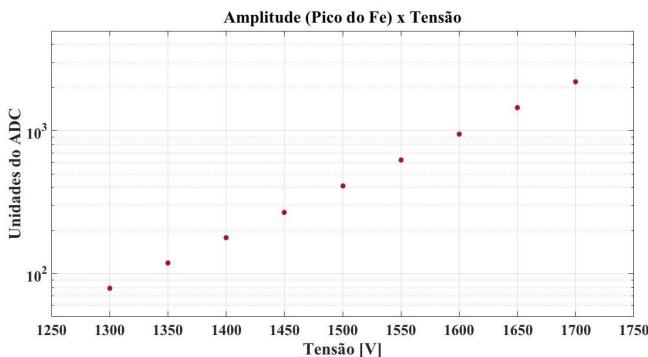


Figura 9: Gráfico da amplitude da Gaussiana em função da tensão.

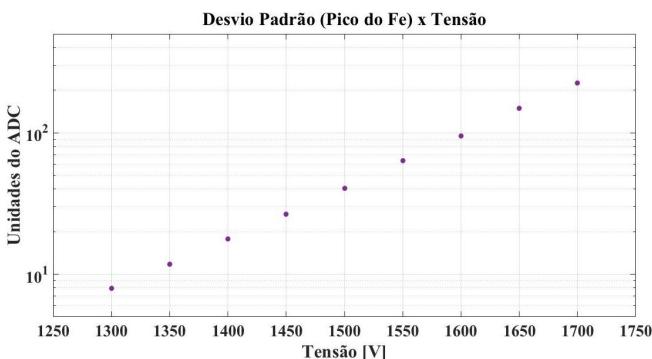


Figura 10: Gráfico do desvio padrão da Gaussiana em função da tensão.

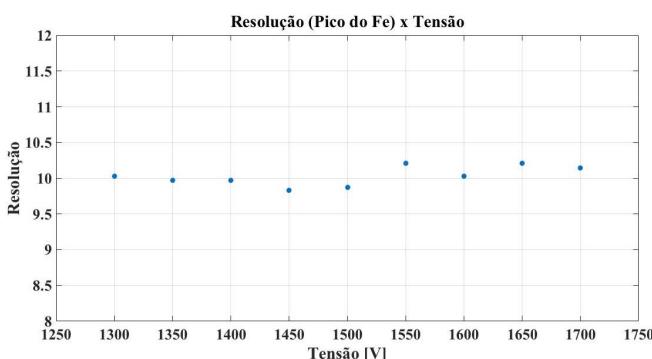


Figura 11: Gráfico da resolução (em porcentagem) em função da tensão.

7. Conclusões

Comparando com o trabalho do Winkler et al. (2015), constatou-se que, ao mudar a lata de alumínio utilizada e ao realizar pequenas alterações nos procedimentos de construção do detector como, por exemplo, remover a camada interna de polímero da lata, foi possível melhorar a resolução do contador proporcional, além de serem observadas no espectro de energia evidências do alumínio do catodo. O trabalho original

tinha, para as medidas do ⁵⁵Fe, uma resolução de aproximadamente 12%, e apresentava no espectro de energia apenas os picos correspondentes ao decaimento da fonte e ao gás presente na lata.

Também confirmou-se que é, de fato, relativamente simples e barato construir um contador proporcional do zero e que funcione bem. Equipamentos deste tipo podem ser implementados em laboratórios didáticos com a finalidade de demonstrar diversos efeitos provenientes da emissão de raios-X de fontes radioativas. Além disso, podem fornecer aos estudantes conhecimentos básicos de sistemas eletrônicos que são utilizados em pesquisas de verdade.

8. Próximas Etapas

Os estudantes envolvidos na construção do contador proporcional ainda pretendem dar continuidade a este trabalho. Deve ser feita uma calibração em energia dos espectros a partir do ⁵⁵Fe, de maneira que as amplitudes dos picos sejam fornecidas em eV e não em unidades do ADC (informação útil para a caracterização de uma fonte radioativa desconhecida). Também espera-se determinar o ganho absoluto do detector. Neste trabalho foi mostrada a variação relativa do ganho em termos de canais do ADC. Medindo a corrente na saída do detector, a partir do número de elétrons primários gerados pela fonte de ⁵⁵Fe, será possível determinar com precisão qual o fator de multiplicação obtido em função da tensão aplicada no anodo. Outro passo interessante é a determinação da sensibilidade do detector, que poderá fornecer a informação de qual o número mínimo de elétrons primários que é possível detectar com este sistema. Este valor pode ser estimado pela relação sinal ruído do detector quando está operando em ganhos elevados.

9. Agradecimentos

Este experimento foi realizado graças a ajuda dos membros do Grupo HEPIC do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF - USP). Todos os equipamentos aqui utilizados foram por eles fornecidos, além de terem cedido espaço em seu laboratório.

Referências

- [1] WINKLER, A. et al. 2015. A gaseous proportional counter built from a conventional aluminium beverage can, ArXiv:1509.02379v1.

- [2] GRUPEN, C. & SHCWARTZ, B. A. Particle Detectors. Cambridge University Press. 2008.
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Proportional_counter>, acessado em 09/12/2017.
- [4] <<https://en.wikipedia.org/wiki/Iron-55>>, acessado em 09/12/2017.
- [5] <<http://www.ammrf.org.au/myscope/analysis/eds/spectralartefacts/>>, acessado em 09/12/2017.
- [6] <http://www.if.ufrj.br/~mms/lab4/capitulo_03.pdf>, acessado em 09/12/2017.