

Desenvolvimento de um sistema simples de detecção e quantificação de radiação ionizante com base em um sensor Geiger-Muller SI-22G, na plataforma Arduino e no ambiente de desenvolvimento de sistemas Labview

Liliana Yolanda Ancalla Davila[#],
Alexsandro Silvestre da Rocha,
Regina Lélis de Sousa e
Niilo Maurício Sotomayor Choque

Laboratório de Pesquisa em Materiais para Aplicações em Dispositivos Eletrônicos, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína, Unidade Cimba, Araguaína, TO, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho relata a construção e teste de dois detectores simples de radiação ionizante com base na integração de um sensor de ionização do tipo Geiger-Muller de alta sensibilidade, de módulos eletrônicos, da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e do ambiente de desenvolvimento de sistemas Labview. Um dos sistemas foi concebido para apresentar apenas sinais de alerta visual e sonoro para cada evento de ionização detectado; o outro possui uma aquisição de dados que possibilita a visualização gráfica da distribuição dos eventos de ionização em função do tempo, o cálculo da atividade e a armazenagem dos dados. A construção dos sistemas é possível devido à atual disponibilidade de todos os componentes necessários para a montagem através de mercados globalizados que ofertam produtos e possibilitam a compra pela internet. O objetivo é mostrar a construção de um sistema de detecção de radiação ionizante altamente preciso com o menor número de componentes possível, sem a complicação de construção de circuitos eletrônicos complexos e com sistemas de hardware e software de acesso aberto. A metodologia de montagem dos sistemas de detecção está orientada à modalidade "faça você mesmo", com a explicação dos conceitos físicos envolvidos. Os protótipos podem ser usados para implementar laboratórios didáticos de física de escolas de Ensino Médio, devido a seu baixo custo e simplicidade. Os dispositivos fabricados são sensíveis e eficientes na detecção de radiação ionizante do meio ambiente, de fontes do radioisótopo Am-241 e de camisas incandescentes de gás que usam nitrato de tório, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, radioativo.

Palavras-chave: radiação ionizante; detector Geiger-Muller; SI-22G

[#]Autora de correspondência. E-mail: lydavila@uft.edu.br.

1. Introdução

Radiação ionizante é um termo físico que designa emissões onda/partícula que transportam energia suficiente para separar elétrons de átomos ou quebrar ligações químicas em moléculas, ionizando assim esses sistemas [1, 2]. A radiação ionizante pode ter origem em fontes naturais como elementos químicos instáveis, radiação cósmica, radiação solar, supernovas que geram estrelas de nêutrons ou buracos negros etc. Existe também radiação ionizante gerada por objetos de fabricação humana, tais como aceleradores de partículas, reatores nucleares, tubos de raios X, equipamentos médicos de diagnóstico e radioisótopos, entre outros.

Em geral, a radiação ionizante é prejudicial e potencialmente letal para os seres vivos [3]. Dessa forma, sua detecção e quantificação é de fundamental importância em ambientes expostos a esse tipo de agente. Atualmente, o emprego de radiações ionizantes para aplicações diversas é generalizado. Diferentes áreas da medicina empregam radiação ionizante em atividades de diagnóstico e tratamento [4]; também ocorre o uso em pesquisas científicas na área médica e biológica, na indústria [5], na agricultura [6], no meio ambiente [7], no ensino [8], nas ciências fundamentais etc. [9, 10].

Na educação dos níveis médio e superior, o estudo experimental de radiações ionizantes é limitado pela disponibilidade de instrumentos de detecção/medição e o potencial perigo de se trabalhar com fontes radioativas ou ou-

tras emissões altamente energéticas. Outra desvantagem é o custo elevado desses sistemas, além de que alguns componentes do aparelho de detecção são considerados produtos estratégicos e não são exportados para o Brasil. Contudo, o desenvolvimento de novas tecnologias de informação e de comunicação (TICS), juntamente com a crescente popularização de plataformas eletrônicas de acesso aberto com base em microcontroladores (como Arduino, RaspberryPi, Beagleboard, etc.), assim como a disponibilidade de sensores, módulos e sistemas eletrônicos compatíveis, possibilitam a construção de sistemas de detecção e quantificação da radiação ionizante por meio de projetos de relativa simplicidade denominados "faça você mesmo" (do inglês *do it yourself*, DiY).

No presente trabalho, relata-se a construção e teste de um sistema de detecção e outro de quantificação de eventos produzidos por radiações ionizantes do tipo DiY, com base em um sensor Geiger-Muller (SI-22G), de fabricação russa, alguns componentes eletrônicos, a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e o ambiente de desenvolvimento e plataforma de desenho de sistemas Labview. Como fonte de radiação ionizante, para testar o sistema de detecção, foi empregado o radioisótopo Am-241, frequentemente encontrado em sensores de eventos de ionização. O sistema de instrumentação pode ser usado para apoiar e consolidar o ensino/aprendizagem sobre radiações ionizantes em laboratórios didáticos de física ou outras áreas que trabalham com sistemas que emitem radiações

Em geral, a radiação ionizante é prejudicial e potencialmente letal para os seres vivos. Dessa forma, sua detecção e quantificação é de fundamental importância em ambientes expostos a esse tipo de agente

ionizantes.

2. Materiais e métodos

Um sistema de detecção de radiações ionizantes genérico possui como componente fundamental um sensor que pode ser uma câmara de ionização, um tubo do tipo Geiger Muller [11], um tubo fotomultiplicador, uma junção p-n, entre outros. Também fazem parte do sistema um circuito de alerta visual/sonoro frequentemente denominado *clicker* e uma fonte de alta tensão contínua. Para aparelhos mais completos, é possível incluir um sistema de aquisição de dados que pode ser composto de um microcontrolador e um aplicativo de software. Para o presente trabalho, foi empregado como elemento sensível um tubo de ionização Geiger-Muller modelo SI-22G de fabricação russa [12, 13], o qual é mostrado na Fig. 1.

O sensor detecta radiações ionizantes, tais como partículas alfa, beta e raios gama, usando o efeito de ionização provocado pelas interações das ondas/partículas altamente energéticas sobre os átomos de gases inertes, como hélio, neônio ou argônio, a baixa pressão, contidos no interior do tubo. O sensor é composto de um cilindro metálico lacrado com dois eletrodos onde é aplicada uma diferença de potencial. O tubo opera com uma tensão elétrica recomendada de 450 V, resistência elétrica de 9-13 MO e opera entre -50 a +70 °C. Comprimento do platô: 100 V; inclinação do platô: 0,125%/1 V; capacitância Inter-eletrodo (interna): 10 pF; sensibilidade a pulsos gama de Cobalto-60: 540 pulsos/mkR, e possui comprimento de 220 mm e diâmetro de 19 mm.

Para construir um sistema de detecção e quantificação de radiação ionizante são necessários um sensor, uma fonte de alimentação de alta tensão contínua, um conjunto de detecção ou alerta visual/sonoro e um sistema de contagem dos eventos de ionização por meio de um processo de aquisição de dados. A Fig. 2 mostra o primeiro tipo de sistema de detecção construído, que



Figura 1 - Tubo SI-22G do tipo Geiger-Muller usado como sensor de radiação ionizante.

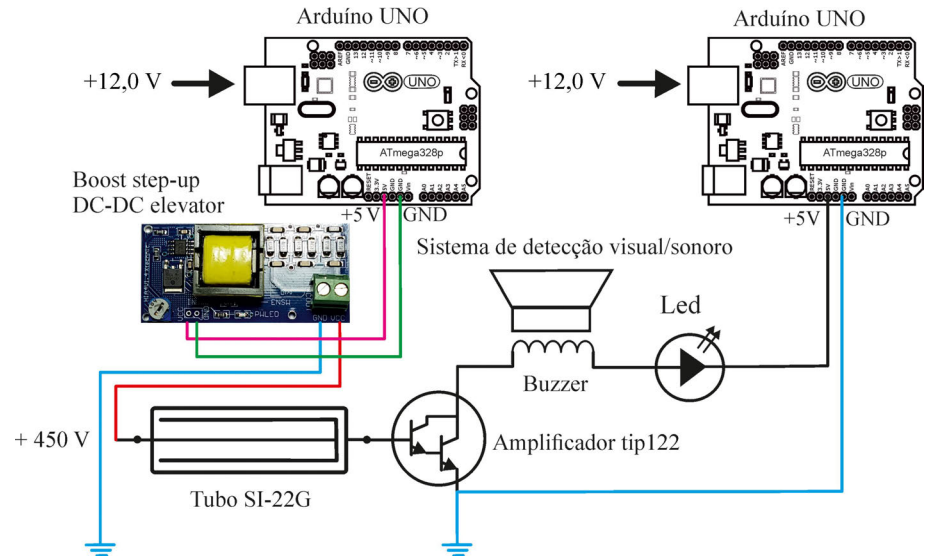


Figura 2 - Esquema do sistema simples de detecção ionizante baseado em tubo Geiger-Muller.

corresponde à versão mais simples de um sistema de detecção de radiação ionizante, formada por uma fonte de alimentação de alta tensão, o sensor Geiger-Muller e o sistema de alerta visual/sonoro, que emite simultaneamente pulsos de luz, por meio de dois diodos emissores de luz (leds), e pulsos sonoros, por meio de um buzzer, quando a corrente produzida por eventos de ionização detectados passa através deles.

A Fig. 3 mostra o segundo sistema de detecção construído, onde o sistema de alerta visual/sonoro é substituído (ou pode ser acompanhado de forma simultânea) por um sistema de aquisição de dados composto principalmente de uma placa Arduino Uno revisão 3 e um microcomputador conectado à placa micro-controladora através da interface de comunicação *universal serial bus* (USB). Há um código que foi gravado na memória do microcontrolador para a leitura do valor de tensão elétrica entre coletor e emissor, e também para inversão e normalização do sinal de saída. Os dados analógicos são convertidos em valores digitais através do conversor analógico-digital ADC de 10 bits da

placa Arduino Uno. Os dados digitais são enviados a um aplicativo de software em Labview [14, 15], que realiza a contagem dos picos detectados de eventos de ionização, calcula o número de eventos por segundo (cps) e mostra graficamente em um display os picos de voltagem em função do tempo.

Inicialmente, serão descritos os componentes do primeiro sistema e o processo de construção e montagem. Para ambos os sistemas, foi empregado o mesmo sensor SI-22G e um módulo de fonte de alimentação de alta tensão do tipo conversor *Booststep-up*, disponível comercialmente e mostrado na Fig. 4. Este é um conversor de energia de corrente contínua para corrente contínua que aumenta a tensão (ao diminuir a corrente) da entrada até a saída (carga) [16]. É uma classe de fonte de alimentação de modo comutado (*switched-mode power supply*) contendo pelo menos dois semicondutores (um diodo e um transistor) e pelo menos um elemento de armazenamento de energia: capacitor, indutor ou os dois em combinação.

As características principais do módulo são: entrada de 3,0 VDC a 5,0 VDC e saída ajustável de 3 VDC a 1200 VDC, com corrente de saída de 2 mA a 20 mA e dimensões compactas, 25 mm de largura por 48 mm de comprimento [17]. Uma fonte externa de +12,0 VDC é necessária para alimentação da placa Arduino Uno que alimenta o módulo.

Para o sistema de alerta visual/sonoro dos eventos de ionização, foram empregados 2 diodos emissores de luz, no espectro visível, nas faixas do am-

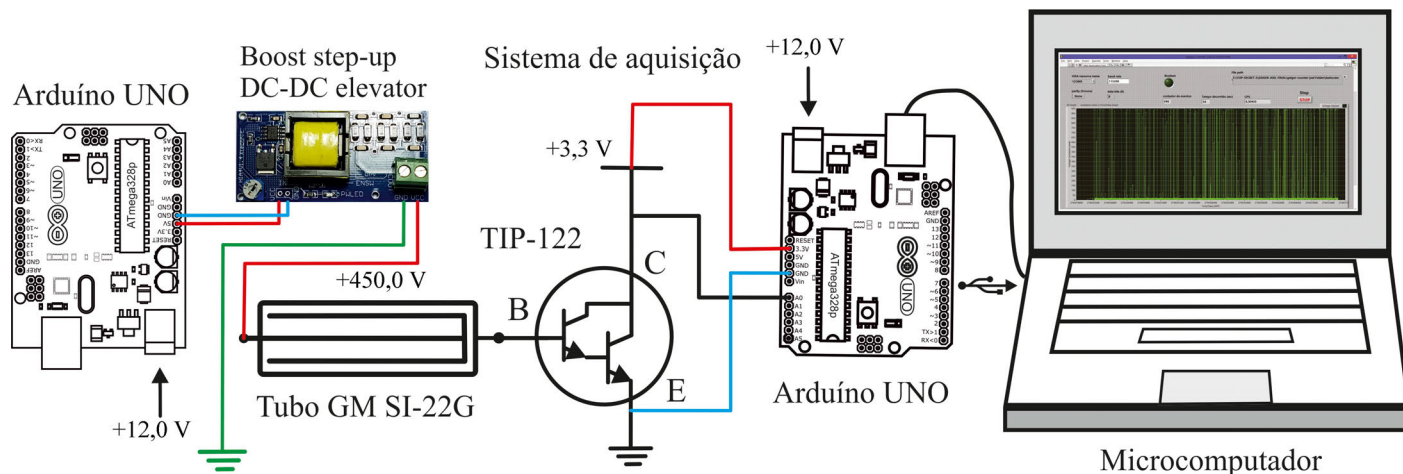


Figura 3 - Sistema de detecção de radiação ionizante com aquisição de dados para contagem e visualização gráfica dos eventos de ionização.

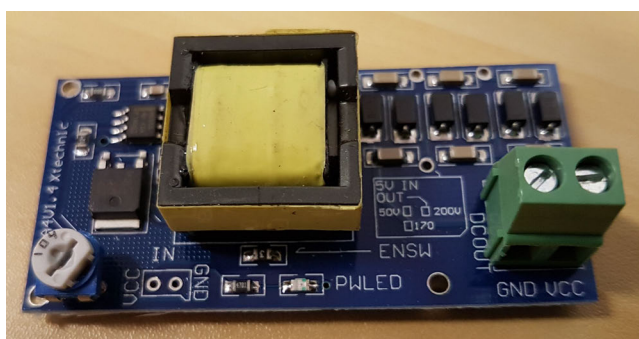


Figura 4 - Módulo de fonte de alta tensão contínua ajustável, modelo *Booststep-up*, empregada no presente trabalho.

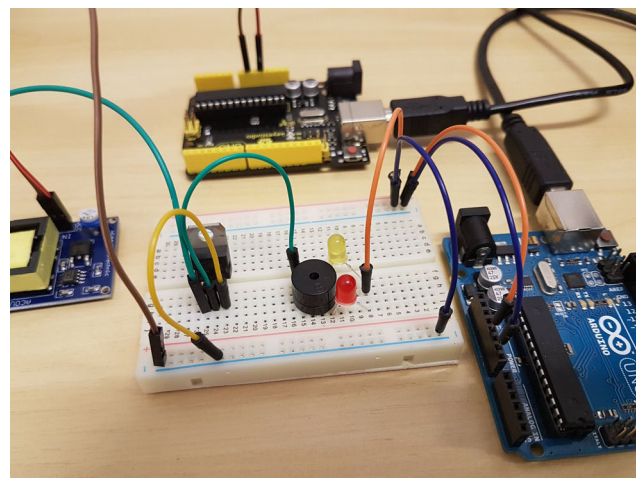


Figura 5 - Conjunto experimental do circuito de alerta visual e sonoro de eventos de ionização.

relô e vermelho, na configuração em paralelo (os leds são de 5 mm de diâmetro, com comprimento de onda de 640 nm para o vermelho e tensão de operação +1.8-2.2 V com corrente de 20 mA; o comprimento de onda é de 590 nm para o amarelo, tensão de operação +3.0-3.4 V, também com corrente

coletor-emissor vai para terra controlada pela tensão recebida pela base.

O segundo sistema de detecção emprega basicamente os mesmos componentes do primeiro, mas é adicionado um conjunto de aquisição de dados para quantificar eventos de ionização detectados e mostrar de forma gráfica os

de 20 mA), além de 1 buzzer eletrônico ativo que trabalha com tensões de 5,0 VDC. Para a amplificação do sinal elétrico do sensor Geiger, empregou-se um transistor amplificador de configuração Darlington do tipo NPN modelo TIP122 com ganho hFE 1000. Não foi necessário o uso de sistemas de filtragem e condicionamento do sinal analógico. O circuito visual/sonoro é alimentado com uma fonte de 5,0 VDC, que pode ser a saída de tensão de uma placa Arduino Uno rev. 3. O esquema elétrico é mostrado na Fig. 2 e sua implementação prática, em uma protoboard, é mostrada na Fig. 5. O sinal de tensão é proveniente do sensor Geiger-Muller conectado à base do transistor Darlington TIP-122. A tensão de 5,0 VDC ingressa no coletor após passar pelos LEDs e pelo Buzzer, de forma que a corrente

pulsos de tensão elétrica gerados. Foi feito um contato elétrico na entrada do coletor para enviar o sinal analógico à porta de entrada A0 da placa Arduino Uno rev. 3. A placa possui um microcontrolador ATmega328p com um conversor digital de 10 bits, de forma que os pulsos de tensão são convertidos em sinais digitais discretos no intervalo de 0 a $1023 (2^{10})$.

A placa Arduino é conectada a uma das portas seriais do microcomputador através da interface USB. O cabo de comunicação fornece alimentação de 5,0 VDC para funcionamento da placa e a tensão aplicada ao coletor é obtida da saída de tensão da placa Arduino Uno. Na memória do microcontrolador, foi gravado um código de leitura serial simples usando o ambiente de desenvolvimento do Arduino. A Fig. 6 mostra uma imagem do código, na linguagem do Arduino. O código basicamente estabelece uma comunicação serial a uma taxa de 115200 bits por segundo (*baud rate*), realiza a leitura dos dados, em seguida a conversão analógico-digital dos mesmos e o envio dessa informação através da interface USB.

No microcomputador há um aplicativo elaborado em Labview v. 2010 que primeiramente estabelece uma comunicação com a placa Arduino Uno através de uma das portas seriais. A Fig. 7 mostra o código que está na linguagem G no formato de diagrama de blocos. O Labview é uma plataforma de desenho de sistemas e ambiente de desenvolvimento para a linguagem de programação visual G, da empresa National Instruments, normalmente empregada para aquisição de dados, controle de instrumentos e automação industrial sobre uma variedade de sistemas

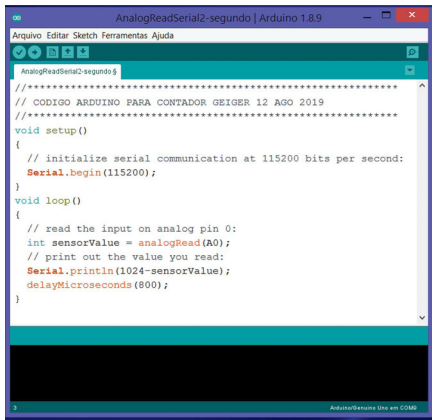


Figura 6 - Código desenvolvido no IDE da plataforma Arduino para leitura dos dados analógicos do sensor Geiger-Muller e subsequente conversão para o formato digital. Os dados digitais são enviados através de comunicação serial para um microcomputador.

operacionais [14, 15].

Os programas em Labview são chamados de instrumentos virtuais (VIs), pois sua aparência e operação imitam instrumentos físicos, como osciloscópios e multímetros. Esse programa contém um conjunto de ferramentas de aquisição, análise, exibição e armazenamento de dados, bem como meios para solucionar problemas de lógica de código. No Labview, é construída uma interface de usuário, ou painel frontal,

com controles e indicadores. Os controles são knobs, botões de pressão, sintonizadores e outros mecanismos de entrada. Indicadores são gráficos, LEDs e outros displays de saída. Depois de criada a interface do usuário, criam-se códigos usando VIs e estruturas para controlar objetos do painel frontal. O diagrama de blocos contém esse código.

O código gráfico é simples, sendo que o fluxo de informação vai da esquerda para a direita do diagrama mostrado no display. Inicialmente, emprega-se a ferramenta VISA (Virtual Instrument Software Architecture) do Labview para estabelecer comunicação com a interface universal serial bus (USB) à qual está conectada a placa Arduino.

Para a comunicação ser sincronizada, é necessário especificar os parâmetros de comunicação serial a serem empregados, incluindo-se o *baud rate*, igual a 115200 bits por segundo, e o número de bits por caractere, que indica o número quantitativo de bits usados para representar um único caractere durante a comunicação serial, neste caso, 8. O

bit de paridade foi indicado como nulo, e é selecionada a porta de comunicação específica. Em seguida, o código realiza a leitura da informação, enviada pela porta de comunicação, e o aplicativo simultaneamente inicia a contagem do tempo.

O algoritmo do código é de relativa simplicidade: em essência, o programa realiza a leitura dos dados da porta serial, recebe a informação em formato de string, converte os dados para valores

numéricos e envia os dados digitais de tensão elétrica e tempo para armazenamento e apresentação visual no display do computador. Os eventos de ionização são muito rápidos e aparecem como picos de tensão elétrica, de boa resolução e muito estreitos. No código gráfico, é implementada uma rotina de contagem desses eventos de ionização. É contado qualquer pico de tensão maior que um valor de limiar da tensão digital acima do nível de ruído elétrico. Com a contagem do número de eventos de ionização e o tempo, calcula-se o valor do número de eventos detectados por segundo, ou conta-

O algoritmo do código é de relativa simplicidade: em essência, o programa realiza a leitura dos dados da porta serial, recebe a informação em formato de string, converte os dados para valores numéricos e envia os dados digitais de tensão elétrica e tempo para armazenamento e apresentação visual no display do computador

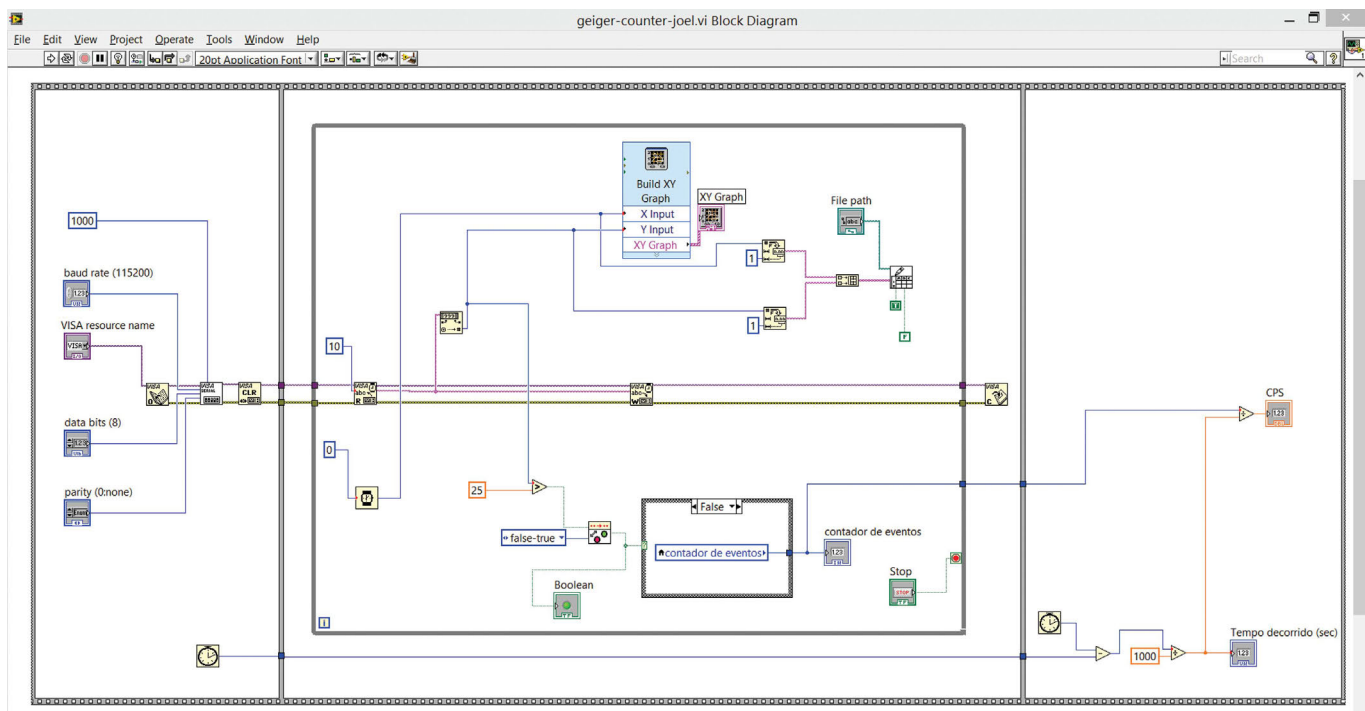


Figura 7 - Código em Labview para o sistema de detecção de radiação ionizante com aquisição de dados para contagem e visualização gráfica dos eventos de ionização.

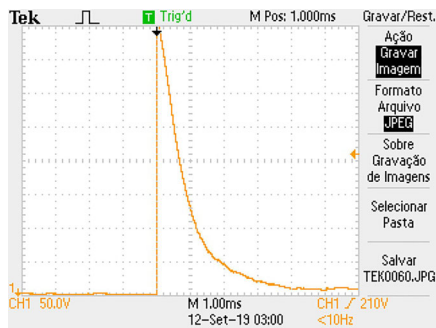


Figura 8 - Captura de tela de um osciloscópio digital Tektronix TDS 1001C com uma medida de pulso característico de tensão elétrica referente a evento de ionização gerado pelo sensor Geiger-Muller, mediante aplicação de uma tensão de +407,0 VDC, com carga de 10 MO, 12 pF para 100 MHz e uma impedância de 3 MO.

gens por segundo (cps).

Ademais, cabe destacar que a confecção do conjunto experimental proposto (placas Arduino U, sensor de radioatividade e fonte de alimentação de alta tensão) pode custar aproximadamente 400 reais, dez vezes menos que um conjunto comercial. O conjunto com aquisição de dados necessita adicionalmente de um microcomputador e do Labview, entretanto estes podem ser empregados no desenvolvimento de experimentos didáticos variados.

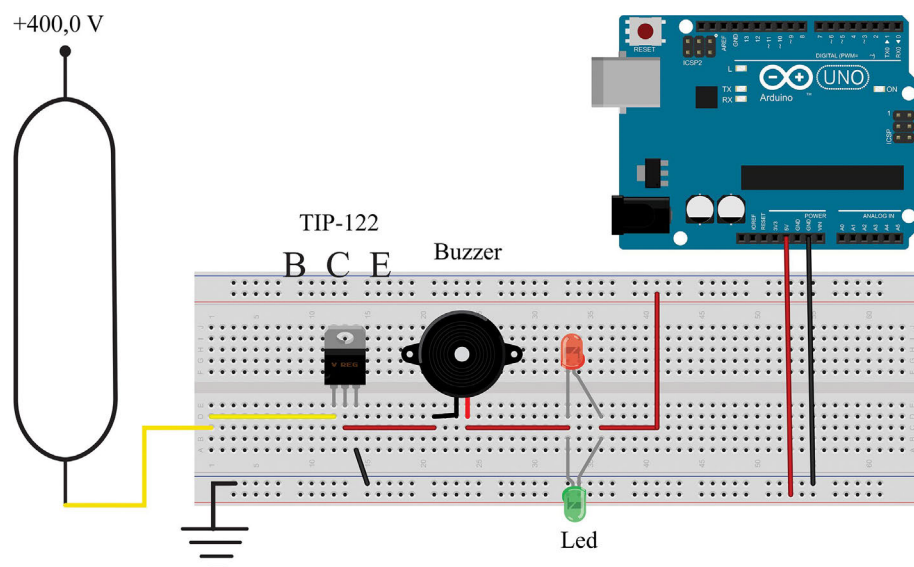


Figura 9 - Circuito de detecção visual/sonoro para eventos de ionização que emprega um sensor Geiger-Muller modelo SI-22G. Para alimentação do circuito, emprega-se a tensão de 5,0 VDC de uma placa Arduino Uno rev. 3. É estabelecida uma corrente entre o terminal positivo da placa e o emissor do transistor TI-122 toda vez que pulsos de tensão são gerados por eventos de ionização no tubo Geiger e conectados à base do transistor.

3. Resultados e discussão

Para testar o sistema de detecção de radiação ionizante, foi empregado o radioisótopo 241 do Amerício com meia-vida de 432,2 anos. O amerício-241 possui uma atividade de 3,43 Ci/g (curies por grama, ou $126,8 \text{ gigabecquerels } 126,8 \times 10^9 \text{ Bq por grama}$) (CDC 2019, p. 103). O amerício-241 decai principalmente por decaimento alfa para Np-237 (com energias de 5.486 MeV), com um subproduto de raios gama (especialmente com energias de 59.5409 keV). O tubo Geiger-Muller SI-22G foi testado com diversas tensões elétricas que variavam entre 400 VDC e 480 VDC. A Fig. 8 mostra a média de 128 picos característicos de tensão obtida com um osciloscópio digital quando aplicada uma tensão positiva de +407,0 VDC ao sensor, a qual é a tensão recomendada de operação pelo fabricante. No gráfico, cada divisão vertical corresponde a 50,0 VDC e cada divisão horizontal a 1 ms. A carga é de 10 MO, 12 pF para 100 MHz da ponta do osciloscópio Tektronix TDS 1001C mais uma impedância de 3 MO.

A largura a média altura do pico é de 655 μs ; a assimetria do pico (tempo de subida 6,3 μs e tempo de descida 1600,0 μs , sobre uma média de 128 picos) é atribuída a diferentes eventos, como tempo de deslocamento dos elétrons ao anodo, tempo de deslocamento de íons positivos, efeitos de ionização

em avalanche, entre outros [18]. Para o sistema de alerta visual/sonoro, foi empregado o circuito mostrado na Fig. 9. Nesse caso, emprega-se a saída de tensão de 5,0 VDC da placa Arduino para alimentação dos leds e do buzzer.

Para o caso do sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados, foi empregada a saída de tensão de 3,3 VDC da placa Arduino Uno, em vez da saída de 5,0 VDC. A Fig. 10 mostra um gráfico com a captura de tela da medição da tensão positiva de saída analógica da placa Uno de 3,36 VDC em relação ao ground GND, usando o osciloscópio. Como pode ser notado, o sinal de tensão contínuo tem uma razão ruído-sinal considerada desprezível. A queda de diferença de potencial elétrico produzida por um evento de ionização detectado não atinge o valor nulo exatamente, mas aproximadamente um valor de 0,9 VDC. Esse sinal aparece no display do computador através do Serial Plotter do IDE da plataforma Arduino como um pico de tensão elétrica invertido, embora positivo, no meio de um entorno de potencial máximo de 3,34 VDC. A largura a meia altura desse pico é de aproximadamente 50 μs .

No circuito do sistema de aquisição é estabelecida uma tensão de +3,34 VDC entre coletor e emissor, isso quando um evento de ionização é detectado. O pulso de tensão entre base e terra possibilita o estabelecimento de uma corrente entre coletor e emissor que produz uma queda na diferença de potencial entre esses dois terminais, como mostrado na captura da imagem do display do osciloscópio na Fig. 11.

Para usar o sinal de tensão invertido na contagem de eventos ionizantes, é necessário inverter o pico e deslocar o valor de voltagem positiva embaixo do pico para valor zero de tensão, de for-



Figura 10 - Sinal de tensão contínuo de 3,3 VDC da saída da placa Arduino Uno rev. 3 mostrada no display do osciloscópio.

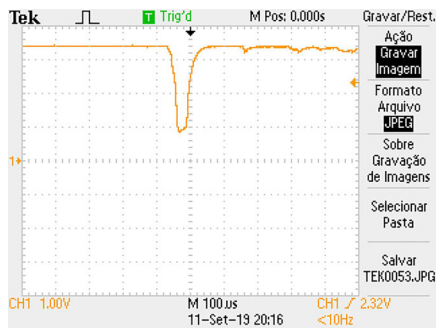


Figura 11 - Sinal de tensão entre coletor e emissor na presença de eventos de ionização detectados pelo tubo Geiger-Muller conectado à base do transistor TIP-122.

ma a obter apenas um pico de tensão positiva. O processo é realizado no código de leitura serial da placa Arduino Uno, mostrado na Fig. 12.

Para conseguir a inversão, realiza-se a subtração do valor de tensão analógica detectada na porta A0 do valor máximo fornecido pela placa, que é de 3,34 VDC. Dessa forma, quando não há corrente entre coletor e emissor o sinal de tensão deverá ser 0,0 VDC. Quando há corrente entre coletor e emissor, a queda de potencial subtraída do valor 3,34 VDC (valor digital 685) produzirá um pico de tensão positivo que indica um evento de ionização. Esse pico de tensão, embora muito estreito, pode ser lido por um código de aquisição em Labview. A Fig. 13 mostra uma captura de tela do plotter serial do IDE do Arduino onde aparecem alguns picos de tensão bem definidos, com valores positivos de tensão correspondentes a alguns

```

AnalogReadSerial2-segundo | Arduino 1.8.9
Arquivo Editor Sketch Ferramentas Ajuda
AnalogReadSerial2-segundo
// CODIGO ARDUINO PARA CONTADOR GEIGER 12 AGO 2019
// CODIGO ARDUINO PARA CONTADOR GEIGER 12 AGO 2019
void setup()
{
  // initialize serial communication at 115200 bits per second
  Serial.begin(115200);
}
void loop()
{
  // read the input on analog pin 0:
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // print out the value you read:
  // Serial.println(1024-sensorValue);
  Serial.println(685-sensorValue);
  delayMicroseconds(1200);
}
  
```

Figura 12 - Código desenvolvido no IDE do Arduino para inversão do sinal de tensão entre coletor e emissor do TIP-122.

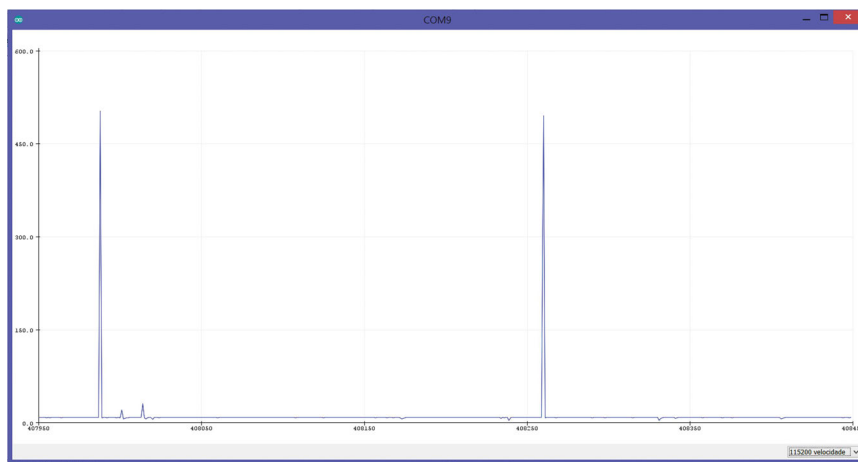


Figura 13 - Tela do serial plotter do IDE da plataforma Arduino com picos de tensão digitais, devido à radiação de fundo, em função do tempo, após o processo de inversão do sentido do sinal. Mostram-se pulsos bem definidos em amplitude sobre um leve entorno de ruído elétrico.

eventos de ionização devidos à radiação de fundo (ou radiação do ambiente) sobre um pequeno entorno de ruído elétrico.

Após a inversão e normalização dos picos de tensão devido aos eventos de ionização via placa Arduino Uno, é possível conectar essa placa ao micro-computador e empregar o aplicativo de aquisição desenvolvido em Labview. A placa Uno captura os dados analógicos de tensão entre coletor e emissor do TIP-122 e converte esses valores analógicos em valores digitais. Em seguida, o código armazenado na memória da placa Arduino transmite esses dados de forma serial através da interface USB.

Para a detecção dos picos de tensão, foi elaborada uma sub-rotina de contagem de eventos que vai selecionar todos os picos de tensão acima de um valor limiar escolhido além do valor médio de ruído elétrico máximo. De forma simultânea com a detecção dos picos de tensão, é também contabilizado o tempo de duração do processo de aquisição. Na medida em que os dados de tempo e tensão são coletados, eles são imediatamente enviados para uma sub-rotina de armazenamento e plotagem; assim, obtém-se a distribuição dos picos de ionização em função da evolução temporal, em tempo real, no display do computador.

Ao concluir o processo de detecção, o aplicativo calcula o número de cps (medida direta do número de eventos de ionização detectados) por unidade de tempo. A Fig. 14 mostra o painel frontal do aplicativo em Labview após um processo de coleta de dados de eventos de ionização do ambiente em

um tempo de 109 s. O número de eventos detectados é 82, o qual pode ser verificado na contagem visual dos picos.

O resultado da taxa média de detecção de radiação de fundo foi 0,66 cps, nesse intervalo, e foi medido em uma sala fechada, podendo mudar, dependendo do lugar e região. É possível aumentar o tempo de coleta para o intervalo desejado. A Fig. 15 mostra um gráfico com o número de eventos de ionização devidos à radiação de fundo, detectados para diferentes tempos de aquisição. A partir desses dados, é obtida a taxa de contagem média mencionada. No quadro inserido na Fig. 15 mostra-se a distribuição de atividades de radiação de fundo obtidas do gráfico de eventos de ionização em função do tempo. A partir desse gráfico, é alcançado o valor médio 0,66 cps. Essa atividade detectada de radiação do ambiente foi comparada com aquela obtida com um detector de radiação comercial, sendo os resultados compatíveis, embora o sistema construído com o SI-22G apresente uma maior sensibilidade que o detector comercial empregado.

Após a medição da radiação de fundo e a calibração, o sistema de instrumentação foi testado primeiramente com uma fonte de Am-241 e, posteriormente, nas proximidades de duas fontes de Am-241 a uma distância menor, 0,2 cm entre sensor e fontes. Em ambos os casos, foram realizadas 12 medições de contagem de eventos detectados em intervalos de tempo que variavam de 60 a 120 s. O gráfico da Fig. 16 mostra duas capturas de tela do painel frontal do aplicativo em Labview: a primeira, na parte superior, mostra uma sequên-

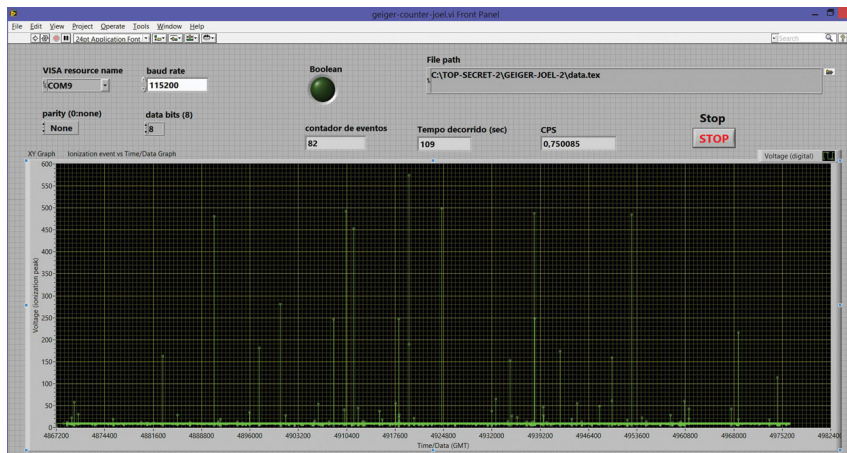


Figura 14 - Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados do processo de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação do ambiente. Como o tempo do LabVIEW é um tipo de dados de 128 bits que representa o tempo absoluto, ele não foi especificado, pois as janelas mostram o tempo transcorrido e o número de eventos detectados.

cia de medidas de atividade de uma única fonte de Am-241 realizada durante um intervalo de 95,0 s, obtendo-se uma taxa de contagem de 5,37 cps. A segunda captura de tela, na parte inferior, mostra uma sequência de medidas para a atividade de duas fontes de Am-241, uma ao lado da outra, durante um intervalo de 109,0 s. Nesse caso, a taxa de contagem obtida foi de 9,67 cps.

Para cada sequência, realizaram-se 12 medições, totalizando 24 testes. Com os dados de taxa de contagem, foi feito o cálculo do valor médio da distribuição de cada conjunto. Assim, para o caso de uma única fonte, foi obtida uma taxa de contagem média de $5,65 \pm 0,49$ cps, e para duas fontes, uma taxa de contagem média de $8,82 \pm 0,43$ cps. Os resultados encontram-se na Fig. 17; na parte superior está a distribuição de atividades para uma única fonte de Am-241 e na parte inferior, a distribuição das atividades correspondentes a duas fontes.

As contagens por segundo são usadas para medições quando encontradas taxas de contagem mais altas ou se estão sendo usados instrumentos portáteis de pesquisa de radiação que podem estar sujeitos a alterações rápidas da taxa de contagem quando o instrumento é movido sobre uma fonte de radiação em uma área de pesquisa. As contagens só se manifestam na leitura do instrumento de medição e não são medidas absolutas do número de decaimentos por unidade de tempo da fonte de radiação. O número de contas por segundo detectadas pelo sensor não deve ser confundido com desintegrações por unidade de tempo (dps), que representa

a taxa de eventos de desintegração atômica na fonte da radiação.

A quantidade de Am-241 em cada fonte pode variar, afetando sua ativida-

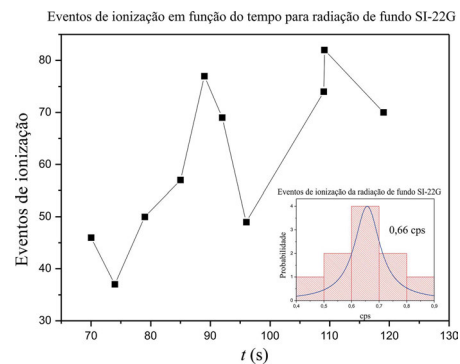


Figura 15 - Gráfico que mostra o número de eventos de ionização devidos à radiação de fundo detectados para diferentes tempos de aquisição. O quadro no lado inferior direito mostra a distribuição de contagens, com destaque para o valor médio.

de. Nas câmaras de ionização comerciais há aproximadamente 0,25 mg de Am-241, o que corresponde a quantidades menores a 31,7 kilobecquerels (KBq, $\sim 1,0 \mu\text{Ci}$) de material radioativo.

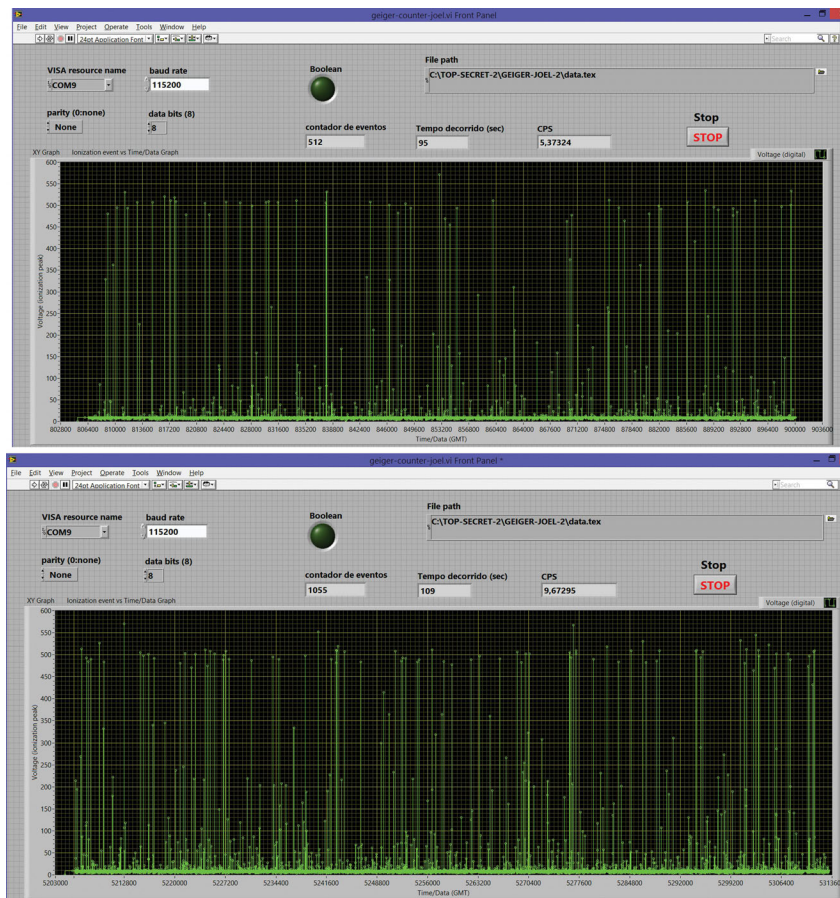


Figura 16 - Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação de: (a) parte superior, uma fonte, e (b) parte inferior, duas fontes de Am-241 situadas a uma distância de alguns milímetros do sensor G-M.

Adicionalmente, testamos o sistema de detecção com uma camisa incandescente de lâmpião de procedência chinesa

encontrada no comércio. A camisa é um saco de tecido em forma de péra, feito de seda, algodão ou rayon. As fibras são impregnadas com sais metálicos de terras raras (como nitrato de tório, que é radioativo, adicionado de metais como o cério). Quando o manto é aquecido em chamas, as fibras queimam e os sais metálicos convertem-se em óxidos sólidos, formando uma casca de cerâmica quebradiça na forma do tecido original. O tório pode decair com emissão parcial de radiação gama e beta. A camisa de lâmpião apresentou uma atividade média de $7,68 \pm 0,38$ cps, sendo, portanto, maior que a atividade de uma amostra de Am-241 e quase compatível com a atividade das duas fontes do mesmo radioisótopo do amerício.

po de sistema de detecção. O preço é muito acessível quando comparado à compra dos equipamentos específicos importados. A disponibilidade de sistemas de hardware e software para prototipagem eletrônica de acesso aberto, como o Arduino, possibilita a aquisição de dados de forma rápida, simples e precisa, sendo possível a integração com o ambiente de desenvolvimento de sistemas e linguagem de programação gráfica Labview.

O Labview é uma ferramenta que facilita a aquisição dos dados, a apresentação visual, o armazenamento, controle e automação do processo de aquisição. Ademais, o seu uso pode ser implantado nos laboratórios didáticos de física de escolas e cursos de graduação para facilitar a automação da aquisição de dados de diversos experimentos que podem ser construídos com relativa facilidade e baixo custo, graças ao atual grau de desenvolvimento da eletrônica, mediante vários tipos de módulos sensores e dispositivos compatíveis com as plataformas de prototipagem eletrônica, e às novas tecnologias de informação e comunicação. Por fim, os sistemas construídos foram eficientes na detecção de radiação gama resultante do decaimento de fontes de radioisótopos de tório e amerício.

Recebido em: 13 de Novembro de 2020
Aceito em: 21 de Dezembro de 2020

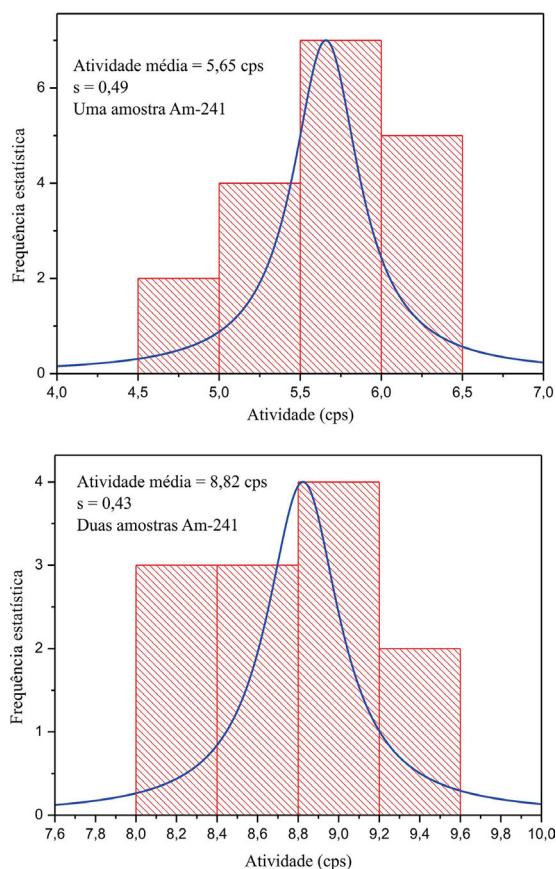


Figura 17 - Gráfico que mostra o número de eventos de ionização devidos à radiação de fundo detectados para diferentes tempos de aquisição.

4. Conclusão

Foi apresentado neste trabalho o processo para fabricar detectores de radiação ionizante por meio de projetos DiY com materiais disponíveis no mercado. Sensores G-M de precisão como o SI-22G podem ser comprados pela internet, e o mesmo ocorre com as fontes de alimentação de alta tensão específicas para esse ti-

Referências

- Minister of Public Works and Government Services of Canada, *Introduction to Radiation* (Canadian Nuclear Safety Commission CNSC, Ottawa, 2012).
- E.M. Yoshimura, *Revista Brasileira de Física Médica* **3**, 1 (2009).
- E. Okuno, E.M. Yoshimura, *Física das Radiações* (Oficina de Textos, São Paulo, 2010), cap. 10, p. 204.
- B.B. Affonso, F. Nasser, S.G. J. Silva, M.C. Silva, E. Zlotnik, M.L. Messina, E.C. Baracat, *Rev. Bras. Ginecol. Obstet.* **32**, 2 (2010).
- E.S. Pino, C. Giovedi, *Revista UNILUS Ensino e Pesquisa* **2**, 2 (2005).
- Tarcísio Lima Filho, Luciano José Quintão Teixeira, Carolina Tatagiba da Rocha, Gláucia Aparecida Mataveli Ferreira, Michele Carvalho de Souza, B. Ceppa **30**, 2 (2012).
- M.N. Mori, *Descontaminação de Embalagens de Clorpirifós Utilizando o Processo de Oxidação Avançada Por Radiação Ionizante*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, 2006.
- E.A. Lucena, R.G. Reis, A.S. Pinho, J.W.S. Silva, A.S. Alves, M.AP. Rio, G.A. de Paula, M.A. Gonçalves Jr, A.A. Reis, *Braz. J. Rad. Sci.* **5**, 1 (2017).
- R. Stam, H. Bijwaard. *Recent Developments in Medical Techniques Involving Ionising or Non-Ionising Radiation*. RIVM Report 300080010/2011, National Institute for Public Health and the Environment, The Netherlands, 2011.
- C.J. Martin, D.G. Sutton, *Practical Radiation in Healthcare* (Oxford University Press, Oxford, 2015).
- F.K. Glen, *Radiation Detection and Measurement* (John Wiley and sons, New York, 2000).
- Site Pocketmagic SI-22G datasheet. https://www.pocketmagic.net/wp-content/uploads/2015/02/SI22G_datasheet.jpg, acesso 09/10/2019.
- S. Babak, *The Advanced Science Journal*, **12** (2014).
- National Instruments Corporation, *Getting Started with Labview* (NIC, Austin, 2001).
- J. Travis, J. Kring, *Labview for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun* (Prentice Hall, Upper Saddle River, 2006).
- C. Nelson, J. Williams, *Boost Converter Operation* (Linear Technology Application Note 19, 1986). Site <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an19fc.pdf>.
- Site Ke Nai DZ, *Conversor Boost 5 V-12 V Step-up para 300 V-1200 V Módulo de Potência*. <https://pt.aliexpress.com/item/32879757631.html>, acesso 09/10/ 2019.
- E.M. Kakuno, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **36**, 1 (2014).