

# Simulador de Medidor de Atividade para Práticas de Ensino

## Activity Meter Simulated for Education Practices

Daniele G. Mesquita<sup>1</sup>, Aline G. Dytz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil

### Resumo

A partir da necessidade de capacitar profissionalmente os estudantes de Física Médica, foi desenvolvido um simulador de medidor de atividade. Este simulador tem como objetivo auxiliar no treinamento dos testes de controle de qualidade para a rotina em Medicina Nuclear sem haver qualquer possibilidade de exposição e/ou contaminação por radiação ionizante. O protótipo para simular um medidor de atividade utiliza uma fonte luminosa para simular parâmetros análogos à fonte radioativa. A analogia principal se baseia em relacionar a intensidade luminosa com a atividade de uma fonte radioativa, sendo uma grande intensidade luminosa correspondente a uma alta atividade de um radioisótopo. Para implementação, foram realizadas programações com placa Arduino UNO, na qual, por meio da programação do código junto ao circuito eletrônico, executou-se o decaimento de intensidade luminosa em um LED RGB, que produz três cores com intensidades iniciais diferentes. Cada cor é análoga a um radionuclídeo comumente utilizado nos serviços de Medicina Nuclear, e assim, cada cor reduz sua intensidade luminosa de acordo com o tempo de meia vida correspondente. Os resultados obtidos através da utilização da placa Arduino UNO garantiram o comportamento da intensidade luminosa das fontes de acordo com a mesma função matemática que descreve o decaimento radioativo. A aplicação deste protótipo pode ser realizada no ensino e aprendizagem de estudantes no que diz respeito aos procedimentos de testes de controle de qualidade análogos aos realizados em medidores de atividades convencionais. O protótipo também pode auxiliar no ensino da metrologia das radiações.

**Palavras-chave:** física médica; medicina nuclear; proteção radiológica.

### Abstract

*From the need to professionally train medical physics students, an activity meter simulator was developed. This simulator aims to assist in the training of quality control tests for the routine in Nuclear Medicine departments without any possibility of exposure and/or contamination by ionizing radiation. The prototype for simulating an activity meter uses a light source to simulate parameters analogous to the radioactive source. The main analogy is based on relating light intensity to the activity of a radioactive source, being a high light intensity corresponding to a high activity of a radioisotope. For implementation, programming was performed with Arduino UNO board, in which, by programming the code next to the electronic circuit, the light intensity decay was performed on an RGB LED, which produces three colors with different initial intensities. Each color is analogous to a radionuclide commonly used in Nuclear Medicine services, and thus each color reduces its light intensity according to the corresponding half-life. The results obtained by using the Arduino UNO plate guaranteed the light intensity behavior of the sources according to the same mathematical function that describes the radioactive decay. The application of this prototype can be done in the teaching and learning of students regarding the quality control test procedures similar to those performed in conventional activity meters. The prototype can also help in teaching radiation metrology.*

**Keywords:** medical physics; nuclear medicine; radiation protection.

## 1. Introdução

Atualmente o Laboratório de Física Médica do Instituto de Matemática, Estatística e Física da Universidade Federal do Rio Grande, dispõe apenas de um radionuclídeo não selado, o Ba-137m, diluído a partir de um gerador de Césio-137 (de 74 Bq na data de calibração), utilizado para demonstrações de decaimento radioativo, detectado por um contador Geiger-Müller, que identifica apenas o número de interações presentes no volume sensível do contador. Além do gerador de Césio-137, o Laboratório conta ainda com fontes didáticas seladas de Cs-137, Sr-90, Na-22, Am-241, Co-60, de baixa atividade (atividades inferiores a 37 Bq - nível de radiação no qual encontram-se isentas dos requisitos legais de proteção radiológica) utilizadas para medidas e simulação de procedimentos em proteção radiológica em medicina nuclear. Devido a limitação dos materiais presentes, assim como a quantidade de

Ba-137m disponível para estudos e procedimentos, o Laboratório conta com diversas práticas metodológicas para simulação de rotina em medicina nuclear.

Como a manipulação dos radiofármacos requer cuidado e proteção do profissional responsável, visando a mínima exposição, evitando contaminações do indivíduo ocupacionalmente exposto e das superfícies de manipulação, para excelência da manipulação é necessário de profissionais qualificados, e essa qualificação é feita por meio de simulações de procedimentos de proteção radiológica. Com o foco de minimizar as exposições é possível desenvolver simulações sem a utilização de materiais tóxicos ou radioativos, levando o princípio de ALARA à forma mais literal.

O medidor de atividade se faz presente em todos serviços de medicina nuclear. Essencial na rotina diária, necessita de um controle de qualidade especificado por legislação<sup>1</sup>. Desta forma o simulador

de medidor de atividade foi desenvolvido para auxiliar na capacitação de estudantes sem qualquer possibilidade de exposição às radiações ionizantes.

A proposta do simulador de medidor de atividade se baseia em utilizar a fonte luminosa para realizar discussões iniciais quanto ao comportamento das radiações. Para realizar a analogia, utilizou-se uma placa de Arduino para estipular o decaimento luminoso de um LED, e com sua plataforma demonstrar os dados de saída que confirmam o decaimento exponencial da intensidade luminosa para assegurar a analogia aplicada.

Neste trabalho será apresentado os materiais que compõe o protótipo do simulador de medidor de atividade, descrevendo o aparato experimental e sua aplicação, além da discussão de seu funcionamento e sua execução.

## 2. Materiais e Métodos

Os materiais utilizados para confecção do simulador de medidor de atividade contaram além da utilização de uma placa de Arduino UNO e de um notebook ASUS (46CA/BRA-WX158H, processador Intel® Core™ i5-3317U, memória RAM 8GB e disco rígido 500GB), com os seguintes componentes:

1. uma placa *protoboard*;
2. um LED RGB (Light Emitter Diode Red, Green and Blue);
3. quatro resistores de 220  $\Omega$ ;
4. três resistores de 1000  $\Omega$ ;
5. dezesseis fios Jumpers;
6. quatro botões;
7. dez cabos de cobre flexível (unifilar);
8. três LED das cores verde, vermelho e branco;
9. fita isolante;
10. máquina de solda;
11. estanho;
12. placa de circuito impresso (PCI);
13. cola quente;
14. um cano de PVC de diâmetro 10 cm e 26 cm de comprimento;
15. caixa de papelão de 19 cm X 20 cm X 13 cm;
16. 1,10 cm de papel *contact* da cor cinza marmorizada;
17. um gargalho, com tampa, de garrafa PET.

A metodologia aplicada para desenvolver o protótipo de simulador de medidor de atividade está baseada na analogia em que se relaciona a intensidade luminosa de uma fonte de LED com a atividade de uma fonte radioativa comumente utilizada em serviços de medicina nuclear.

Para aplicar as analogias plausíveis, utilizou-se a automatização com uma placa Arduino UNO. Esta placa foi acoplada a um circuito eletrônico, modificando este de acordo com a necessidade de funcionamento e com o código programado para a execução da emissão luminosa dos LEDs utilizados. Os itens identificados de 1 ao 13 foram usados. Para desenvolver um protótipo visualmente semelhante à um medidor de atividade convencional utilizou-se dos materiais recicláveis, conforme itens 14, 15, 16 e 17.

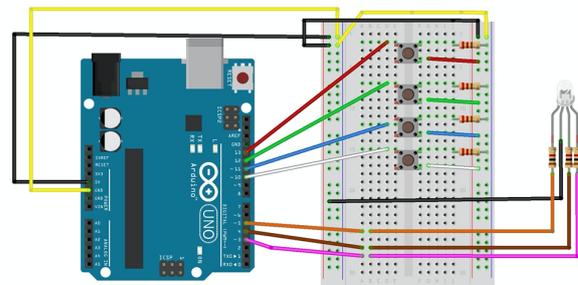
O código programável para o Arduino UNO foi desenvolvido a partir da primeira montagem do circuito utilizando o LED RGB sobre a placa “pront o board”. Com base nos exemplos disponíveis no software do Arduino, selecionou-se a programação para emissão de LED de cor única. Com o código, programou-se a expansão para emissão luminosa do LED RGB, de forma que as cores primárias sejam emitidas individualmente (vermelha/red, verde/green e azul/blue).

Na primeira montagem, foi conectado a tensão de 5 V por um jumper à placa “pront o board” a fim de alimentar o LED RGB pelo catodo. Os terminais anódicos do LED RGB foram ligados à resistores em série de 1000  $\Omega$ , para não danificar o circuito e limitar a corrente, e estes conectados às portas PWM (pulse width modulation) 3, 5 e 6 da placa Arduino UNO, programados para receber o sinal de saída na porta analógica, variando o pulso da tensão e consequentemente brilho luminoso do LED.

Com a programação inicial, o código de emissão luminoso original foi invertido para o LED variar, para cada cor consecutivamente, da intensidade de maior brilho até o menor brilho de forma a ser visível o decaimento. Consecutivamente, o código foi refeito para que cada cor, fonte simulada, seja executada independentemente das outras. Assim, foram inseridos botões ao circuito, designando que cada botão execute a emissão de uma fonte, além de um botão alternativo para congelamento do sistema. Em analogia à um medidor de atividade convencional, os botões podem ser interpretados como a opção para selecionar a janela de energia relacionado a interação da radiação característica para diferentes radioisótopos utilizados na medicina nuclear. Para isso foi necessário a conexão de cada botão com uma porta digital da placa Arduino UNO, portas digitais 10, 11, 12 e 13. A porta digital 10 produz o congelamento da tensão de entrada no circuito, e demais portas, respectivamente, irão acionar as fontes de luz.

Os botões são conectados à entrada de tensão de 5 V, terra e resistores de 220  $\Omega$  conectados a este, fechando o circuito. A construção do circuito semifinal, com o uso do LED RGB, pode ser observada pela Figura 1.

**Figura 1**– Imagem esquemática dos componentes da construção prévia do simulador de medidor de atividade.



Fonte: O autor (2017)

Em vista que a ideia do simulador é possuir algumas condições semelhantes à um medidor de atividade convencional, existe a possibilidade de se utilizar LEDs separados, ou seja, um LED vermelho,

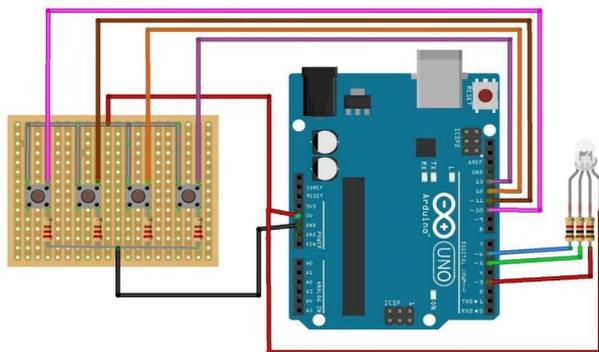
um azul e um verde. Pode-se ainda simular outras cores (ou mais LEDs) para outros elementos radioativos. Para fazer essa separação não é necessário a modificação geral do circuito, ou do código. O LED RGB pode ser substituído por três LEDs, cada um com uma cor monocromática diferente. Acoplados aos terminais das portas PWM na placa “pront o board”, três fios de cobre flexíveis, independentes, foram ligados, e soldados às resistências de  $1000 \Omega$  e ao LED correspondente (que no caso do LED RGB os fios são conectados nas pernas do LED).

Com o circuito definido junto ao código, para poder realizar a montagem do protótipo do simulador de medidor de atividade, este foi levado à placa de circuito impresso (PCI) para fixar o circuito, conforme montagem na placa “pront o board”, utilizando solda de estanho. Na soldagem, as ligações diretas ao Arduino UNO não foram consideradas, sendo assim ligações removíveis para outros usos alternativos da placa.

No circuito montado sobre a placa “pront o board”, a tensão que alimenta os botões é a mesma que alimenta os LEDs (as pernas do LED RGB ou os LEDs em separado), assim, como o Arduino UNO possui apenas uma entrada de tensão, os seus terminais se conectam sobre a PCI para a partir de um conector esta montagem ser alimentada. Desta forma, para evitar conexões desnecessárias, os terminais de ambos foram soldados junto a um fio e conectados à porta de tensão da placa Arduino UNO, conforme a representação esquemática presente à Figura 2.

Com esta montagem, não houve retorno na execução do programa conforme obtido em outras confecções. Verificou-se que o terminal catódico que ligava a tensão aos LEDs, na realidade estava com a polarização inversa, sendo então um terminal anódico.

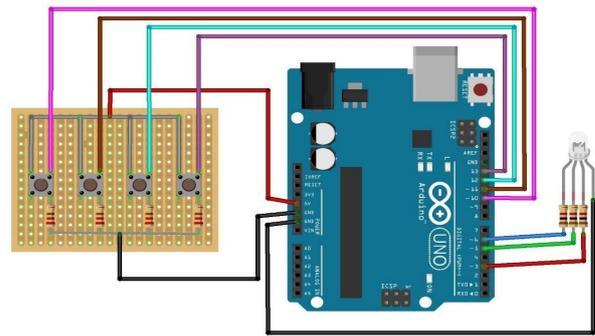
**Figura 2**– Imagem esquemática dos componentes da construção semifinal do simulador de medidor de atividade.



Fonte: O autor (2017)

Para resolver este problema foi substituído ao terminal anódico dos LEDs uma conexão individual para a entrada GND (terra/ground), a qual possui duas portas na placa do Arduino UNO, tornando a porta de tensão única para conexão da placa PCI, conforme esquema apresentado na Figura 3.

**Figura 3**– Imagem esquemática dos componentes da construção final do simulador de medidor de atividade.



Fonte: O autor (2017)

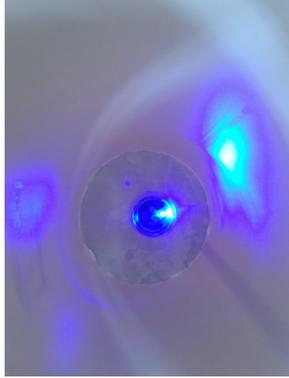
Além desta mudança, o código fonte precisou ser alterado. Inicialmente, os LEDs possuíam decaimento de intensidade luminosa a partir do sinal analógico 0 (máxima intensidade) até o sinal analógico 255 (intensidade mínima). Valores que correspondem aos intervalos do ciclo de trabalho das portas PWM, caracterizando as variações dos pulsos modulados, onde 255 descreve o ciclo de trabalho do PWM sempre ativado, sem variação de pulso. Devido à mudança de polarização dos LEDs, estes valores foram invertidos. Além da inversão, o valor analógico máximo, 255, foi acrescido da função matemática exponencial. Para inserção da função matemática, foi necessário declarar as expressões matemáticas e definir os parâmetros, que corresponde ao valor do expoente da função e determinará a variação do brilho dos LEDs, características que estão detalhadas na subseção 2.1.

### 2.1 Fontes Simuladoras de Radioisótopo e Detector Simulado

Para definir os radioisótopos equivalente para cada cor, levou-se em consideração as energias de emissão do espectro visível, onde o comprimento de onda das cores emitidas se relaciona com as energias de emissão da radiação de um radioisótopo.

Desta forma, devido o comprimento de onda ser inversamente proporcional à energia, uma onda irá possuir um alto valor de energia quando possuir um baixo comprimento de onda e possuirá um baixo valor de energia se possuir um alto comprimento de onda. Assim, em vista que o comprimento de onda da luz azul é a menor do espectro visível, seguido em ordem crescente pelas cores verde, amarela e vermelha, a fonte luminosa azul sofrerá analogias com o radioisótopo de maior emissão de energia, enquanto que a fonte luminosa verde com um radioisótopo de energia intermediária e a fonte luminosa vermelha com um radioisótopo de energia baixa comparados entre si. Assim definiu-se, para vias práticas, que a fonte de luz vermelha será, em analogia, a fonte de Tc-99m, enquanto a luz verde será a fonte de I-131 e a fonte de luz azul o F-18. Na Figura 4 está a imagem da emissão da luz azul no protótipo do simulador de medidor de atividade.

**Figura 4** – Foto da emissão luminosa de cor azul pelo protótipo do simulador de medidor de atividade.



Fonte: O autor (2017).

Conforme tempo de meia vida dos radioisótopos escolhidos, as fontes luminosas devem descrever um comportamento semelhante para as analogias propostas. Assim, sobre o código desenvolvido, inseriu-se velocidades diferentes de variação da intensidade luminosa para cada LED, fator  $\lambda$ . Com essa configuração, a intensidade luminosa referente a cada cor de LED irá diminuir a partir de uma intensidade máxima até uma intensidade mínima, zero, de acordo com o radioisótopo correspondente.

Definindo, ao código do programa carregado no Arduino UNO, a expressão matemática para o decaimento da intensidade luminosa, ou brilho como descrito no código, será exponencial em conformidade à equação (1):

$$I = 255e^{-\lambda x} \quad (1)$$

O valor de intensidade será 255 quando o valor aproximado de  $x$  for zero, que correspondente ao tempo zero de decaimento, em concordância com a equação de decaimento radioativo na atividade inicial, representado no código descrito como:

$$\begin{aligned} \text{brilho} &= 255 * (\text{pow}(2.71, -x)); \\ x &= x + 0.01. \end{aligned}$$

O  $\text{pow}$  representa a função exponencial com base de valor no número de Euler igual a 2,71, valor aproximado, e expoente  $-x$  variando em 0,01. Esta expressão é correta para uma porta/LED apenas. Como o fator  $\lambda$  está relacionado com a velocidade de decaimento do brilho, para cada cor, em analogia aos radioisótopos, o fator foi arbitrariamente estipulado como 2 para o LED vermelho, 1 para o LED verde e 3 para o LED azul. Além disso, como valor 255 da expressão matemática corresponde à atividade inicial esta é administrada em quantidades diferenciadas para cada tipo de radioisótopo, assim, cada LED deverá possuir uma intensidade luminosa inicial diferente, conforme o código descrito a seguir:

$$\begin{aligned} \text{brilho} &= 140 * (\text{pow}(2.71, -(2)*x)); \text{ // para o LED} \\ &\text{vermelho;} \\ \text{brilho} &= 190 * (\text{pow}(2.71, -x)); \text{ // para o LED verde;} \\ \text{brilho} &= 255 * (\text{pow}(2.71, -(3)*x)); \text{ // para o LED azul.} \end{aligned}$$

Estipulando o valor de intensidade inicial, quando o valor de  $x$  for zero, como 140 para o LED vermelho, 190 para o LED verde e 255 para o LED azul. Estes valores foram estipulados para se ter a intensidade de brilho inicial diferente para cada LED, pois, conforme analogia, cada radioisótopo terá uma atividade inicial diferente de acordo com a sua aplicação. Estes valores podem ser alterados conforme necessidade de aplicação. Além disso, visualmente e por gráficos é possível identificar a diferenciação entre os decaimentos de intensidade de brilho das fontes de LED, conforme analogias.

Para simular o detector do radioisótopo, pensou-se em duas opções: utilizar um luxímetro, para medir a iluminância dos LEDs, e o próprio Arduino UNO.

A intensidade luminosa, unidade do SI candela, é definida pelo fluxo luminoso (unidade lúmen) por área. O luxímetro detecta a luz que incide na área sensível do detector, o que nada mais é a iluminância, medida em unidades lux. A iluminância (ou iluminação) é a razão entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte e a superfície iluminada a certa distância. Assim, conforme decaimento da iluminância, detectável pelo luxímetro, é possível realizar a detecção correlacionando com a atividade de um material radioativo.

Com o Arduino é possível outra visualização, a partir das ferramentas de dados recebidos ou emitidos pelas portas PWM da placa, disponíveis no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*), que são o serial monitor e o serial plotter que podem ser acessados quando a placa estiver conectada de forma compatível ao computador. Estas opções informam, no contexto do código desenvolvido para este trabalho, o brilho de entrada, ou intensidade inicial, para cada LED pelo serial monitor, e como este brilho está sendo executado pelo serial plotter.

A ferramenta serial plotter reproduz os dados de saída em forma de gráfico, onde aqui é utilizada para descrever a curva de decaimento luminoso de acordo com a equação acrescentada ao código.

Em comparação com gráficos de decaimento radiativo real, corrobora com a analogia aplicada neste trabalho, que relaciona a intensidade de brilho luminoso com a atividade de uma amostra radioativa.

Assim, com a fonte escolhida, haverá um gráfico de decaimento para cada LED selecionado.

## 2.2 Montagem Final

A montagem do simulador de medidor de atividade foi projetada para visualmente se assemelhar à um medidor de atividade convencional. Para isso, optou-se pelo uso de materiais recicláveis, utilizando caixa de papelão e cano de PVC.

A caixa foi inserida para ser o painel de comando, onde o circuito fica acoplado, enquanto o cano de PVC como local para inserção das fontes radioativas, onde ficam acoplado os LEDs. Desta forma, foram feitas saídas para acoplamento dos LEDs e dos botões, para além de ser o painel de comando do protótipo, a caixa também prover a base deste. A placa PCI foi colada internamente à caixa de papelão, utilizando

cola quente para uma fixação firme. Essa disposição foi realizada para manter o circuito interno preso à base do protótipo.

No centro da caixa cortou-se um círculo para realizar o encaixe de um gargalho de garrafa PET, para, com a tampa desse gargalho, oferecer uma base de sustentação para os LEDs montados na tampa do gargalo.

Antes de realizar a conexão do circuito, para neutralizar o designer do protótipo, a caixa e o cano PVC foram cobertos por um papel contact, de forma a possuir apenas os botões como destaque, de forma de comando. Assim, os LEDs foram acoplados e os botões foram identificados (de acordo com a cor dos LEDs).

Conectou-se a placa PCI e os LEDs à placa Arduino UNO no interior da base, para finalização da montagem do protótipo do simulador de medidor de atividade, conforme mostra a Figura 5.

**Figura 5** – Fotografia do protótipo do simulador de medidor de atividade.



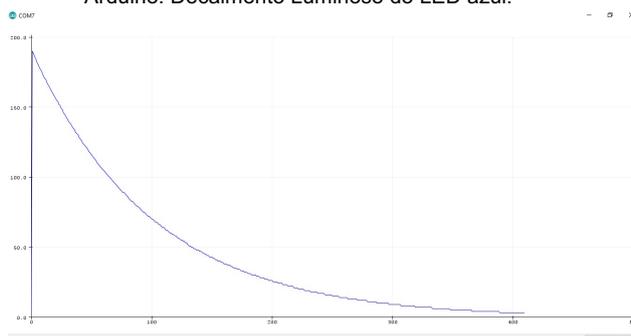
Fonte: O autor (2019).

### 3. Resultados

Para utilizar o protótipo é necessário realizar a conexão de uma fonte de tensão junto ao adaptador presente na placa Arduino, uma bateria de 9 V por exemplo. Esta é a opção para utilizar o simulador de medidor de atividade sem conexão do computador.

De outra forma, a utilização da conexão por computador possibilita a detecção da curva de decaimento exponencial do protótipo, utilizando o IDE do Arduino, conforme Figura 6 que apresenta o gráfico correspondente ao decaimento luminoso do LED azul.

**Figura 6**– Imagem do serial plotter adquirido pelo software Arduino. Decaimento Luminoso do LED azul.



Fonte: O autor (2019).

Para visualizar a viabilidade de aplicação, o controle de qualidade descrito pela CNEN foi testado sobre o protótipo. Observou-se que, em analogia, o único teste, de 8 listados, que não parecia viável para o protótipo seria o teste de geometria, embora esse teste seja exemplificado com diluição de substâncias, em práticas pedagógicas utiliza-se o corante azul de metileno em simulação a um material radioativo. No teste de geometria a atividade de uma fonte deve ser a mesma se o volume dela estiver diluído em outro volume. Exemplo: elui-se uma amostra de Tc-99m em 6 ml, e dilui-se esta amostra em 10ml, a atividade dela tem que se manter constante tanto para 6 como para 10 ml. Os demais testes recomendados pela legislação vigente<sup>2</sup> foram aplicados e são plausíveis com o circuito e analogias utilizadas no protótipo.

Em um segundo momento, foram aplicados novamente os testes de controle de qualidade de um medidor de atividade sobre o protótipo, onde os testes realizados foram: os testes de linearidade, geometria, repetibilidade, ajuste zero e *background*<sup>3</sup>. Posteriormente, obteve-se a viabilidade de demais testes, precisão, exatidão e alta voltagem contemplando por completo os testes de controle de qualidade estipulados pela legislação vigente para um medidor de atividade<sup>2</sup>.

Durante a XI Semana Acadêmica de Física na Universidade Federal do Rio Grande, que ocorreu entre os dias 20 e 24 de agosto de 2018, foi introduzido o uso do simulador de medidor de atividade nas práticas de ensino a partir do minicurso de fracionamento de dose em medicina nuclear<sup>4</sup>. Participaram deste minicurso um total de 7 estudantes, sendo 6 estudantes do segundo ano do curso de Física Bacharelado e 1 estudante do curso de Matemática. A atividade prática do minicurso se baseou na realização de uma simulação da rotina de um serviço de diagnóstico em Medicina Nuclear, envolvendo o fracionamento de dose e a proteção radiológica nesse tipo de procedimento, sem que houvesse qualquer exposição à radiação, devido ao pouco material radioativo disponível no laboratório e aos riscos de exposição e contaminação. Seguindo as orientações da CNEN, foram utilizados Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Para simulação da manipulação e fracionamento de dose, foram utilizados água e corante azul de metileno no lugar do material radioativo. Assim, a partir do simulador de eluidor de Molibdênio-99 disponível no laboratório, desenvolvido por alunos, foi obtido um volume de 3ml de água contendo um valor teórico e simulado de 1,11 Gbq (30 mCi) de atividade de Tecnécio-99m, com meia vida de 6h, como material eluído e não posologia e uso. Para confirmação da atividade obtida, o material deveria ser levado para verificação no medidor de atividade para ser fracionado e encaminhado aos pacientes para injeção e aquisição das imagens, conforme estipulado pela legislação<sup>2</sup>.

Em uma simulação, selecionando o tipo de decaimento luminoso análogo com o decaimento exponencial do Tecnécio-99m no medidor de atividade, observou-se no painel opcional da

plataforma Arduino (*serial plotter*) a forma do decaimento, e a partir desse painel foi possível discutir com os participantes do minicurso a natureza das radiações e as grandezas relacionadas ao decaimento radioativo. Aliado a essas discussões, utilizando a seleção de outro LED, também foi discutida a utilização de Iodo-131 na rotina de Medicina Nuclear<sup>5</sup>.

O software Arduino trabalha com ordens de tempo de milissegundos. Com tempos inseridos de até 100ms, o simulador é utilizado para observação da intensidade luminosa e diferenciação entre os decaimentos de cada radioisótopo selecionado em cada simulação. Com tempos maiores que 100ms, ou seja, utilizando tempos análogos aos tempos de meia vida de diferentes radioisótopos (6h para o Tecnécio-99m e 8dias para o Iodo-131) o simulador de medidor de atividade pode ser aplicado para simular a metrologia das radiações com a detecção da iluminância, utilizando um luxímetro. De outra forma, a metrologia também pode ser utilizada com o Arduino, utilizando os valores de saída do circuito. Esta foi a forma idealizada para utilização no minicurso.

#### 4. Discussão

Como os participantes do minicurso aplicado não estavam familiarizados com os procedimentos da Física Médica, a aplicação do simulador de medidor de atividade foi essencial para promover discussões sobre detectores de radiação, proteção radiológica, decaimento radioativo e suas unidades. Com isso, observou-se a necessidade em salientar outros aspectos importantes para os alunos perceberem o diferencial de se trabalhar em um ambiente hospitalar ou de clínica médica.

Com boa aplicabilidade, a utilização do simulador de medidor de atividade repercutiu positivamente entre os participantes, acrescentando o entusiasmo da aplicabilidade da placa Arduino no laboratório de ensino de Física Médica, e, assim, o incentivo para desenvolver modificações na montagem atual do simulador. É possível acoplar sensores de luminosidade e visores no circuito programável, além de modificações no código do programa para obter valores mais aleatórios e/ou mais pontuais, possibilitando a ampliação da utilização em procedimentos análogos aos de metrologia das radiações.

#### 5. Conclusões

O protótipo foi desenvolvido durante o trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Bacharel em Física com Ênfase em Física Médica<sup>6</sup>. Ele foi testado com a utilização de materiais recicláveis, sendo um excelente equipamento simulador de um medidor de atividades. Sugerem-se algumas melhorias no protótipo, como a elaboração de peças com uso da impressora 3D e a

recursividade do programa. Este primeiro protótipo foi feito com materiais recicláveis, visando não apenas a sustentabilidade nos recursos para ensino e treinamento, mas até mesmo a reciclagem profissional, com a minimização dos custos e reaproveitamento de materiais.

Do ponto de vista legal e ético, não se justifica realizar treinamentos com o uso de materiais radiativos. O uso desses materiais nem devem ser incentivados, pois o uso de materiais emissores de radiações ionizantes é controlado e regulado por normas e procedimentos de proteção radiológica. Assim, o protótipo permite simular os testes necessários para o controle de qualidade sem riscos de exposição às radiações ionizantes, que conforme normas da CNEN, com periodicidade semestral ou maior, são de responsabilidade do profissional da Física Médica, assim como os testes de aceitação<sup>2</sup>.

Assim o trabalho atende às necessidades de desenvolvimento de novas aplicações em metrologia das radiações, importante em todas as áreas da física médica. Um diferencial do trabalho é que ele possui aplicações maiores do que o inicialmente pensado, podendo ser especialmente utilizado para do ensino de física médica e metrologia.

#### Agradecimentos

Dedica-se os principais agradecimentos a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), que aos seus 50 anos contribui com uma formação técnica e cidadã, voltada para as questões de sustentabilidade ambiental e de desenvolvimento humano, cultural, científico e tecnológico.

#### Referências

1. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. CNEN NN 3.01 (Resolução CNEN 164/14); Rio de Janeiro: 2014.
2. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear. CNEN NN 3.05 (Resolução CNEN 159/13); Rio de Janeiro: 2013.
3. Mesquita DG. Simulações para Testes de Controle de Qualidade para Medidores de Atividade Utilizados em Medicina Nuclear. Anais da 16ª MOSTRA DE PRODUÇÃO UNIVERSITÁRIA, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande: 2017.
4. Mesquita DG. Utilização do Simulador de Medidor de Atividade nas Práticas de Ensino em Medicina Nuclear. Anais da 17ª MOSTRA DE PRODUÇÃO UNIVERSITÁRIA, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande: 2018.
5. Thrall J, Ziessman H. Medicina Nuclear. 2ª ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
6. Mesquita DG. Simulador de Medidor de Atividade para Metrologia das Radiações. Trabalho de Conclusão de Curso em Física Bacharelado. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2017.

#### Contato:

Autor Correspondente:  
Daniele Gonçalves Mesquita  
Universidade Federal do Rio Grande/FURG – Rio Grande/RS  
Av. Itália, km 8, bairro Carreiros, Rio Grande, RS, Brasil. CEP: 96203-900. Instituto de Matemática,

Estatística e Física – IMEF/FURG – sala J12, anexo  
pavilhão 2.  
E-mail: [danielemesquita@furg.br](mailto:danielemesquita@furg.br)

Aline Guerra Dytz  
Universidade Federal do Rio Grande/FURG – Rio  
Grande/RS  
Av. Itália, km 8, bairro Carreiros, Rio Grande, RS,  
Brasil. CEP: 96203-900. Instituto de Matemática,  
Estatística e Física – IMEF/FURG  
E-mail: [alinedytz@furg.br](mailto:alinedytz@furg.br)