



DETECÇÃO DA RADIAÇÃO DE FUNDO UTILIZANDO UM DETECTOR DE NaI (TI)

*Alan Djon Ludke¹ ; Jaquiel Salvi Fernandes² ; Vitor Barbier³ ;
Carlos Roberto Appoloni⁴*

INTRODUÇÃO

Todos nós seres humanos estamos envoltos em radiação. Desde o chão que pisamos, no ar que respiramos e até alimentos que comemos, possuem um grau de radioatividade. A principal forma de radiação que temos contato é a cósmica, ou seja, o fluxo primário de partículas de alta energia que incidem continuamente sobre a Terra, procedentes do espaço, e também as radiações secundárias, que se originam da interação das partículas primárias na Atmosfera (FERNANDES, 2005).

Outros elementos ditos naturais, como o Potássio, podem aparecer em uma medida de espectro de fundo radioativo. Este elemento, por exemplo, apresenta 0,0118% do isótopo Potássio-40 (^{40}K), que é radioativo e decai com uma meia vida de $1,248 \cdot 10^9$ anos, emitindo um raio gama de 1460,8 keV.

O ^{40}K está amplamente distribuído na crosta terrestre, com concentrações que variam aproximadamente 0,1 % para calcários, a mais de 4 % para alguns granitos. As concentrações de Potássio no solo têm mostrado um aumento nas últimas décadas em solos sob cultivo, particularmente devido à aplicação de potássio através dos fertilizantes (KLEMENT, 1982).

Na natureza existem cerca de 340 tipos diferentes de nuclídeos, sendo que cerca de 70 tipos são encontrados em elementos pesados e são radioativos.

¹ Ex-aluno do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Campus Videira. Bacharelado em Ciência da Computação. E-mail: alanludke@gmail.com

² Professor Orientador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Campus Videira. E-mail: jaquiel.fernandes@ifc-videira.edu.br

³ Aluno do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Campus Videira. Bacharelado em Engenharia Elétrica. E-mail: vitorcb446@gmail.com

⁴ Professor e pesquisador do laboratório de física nuclear aplicada da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: appoloni@uel.br

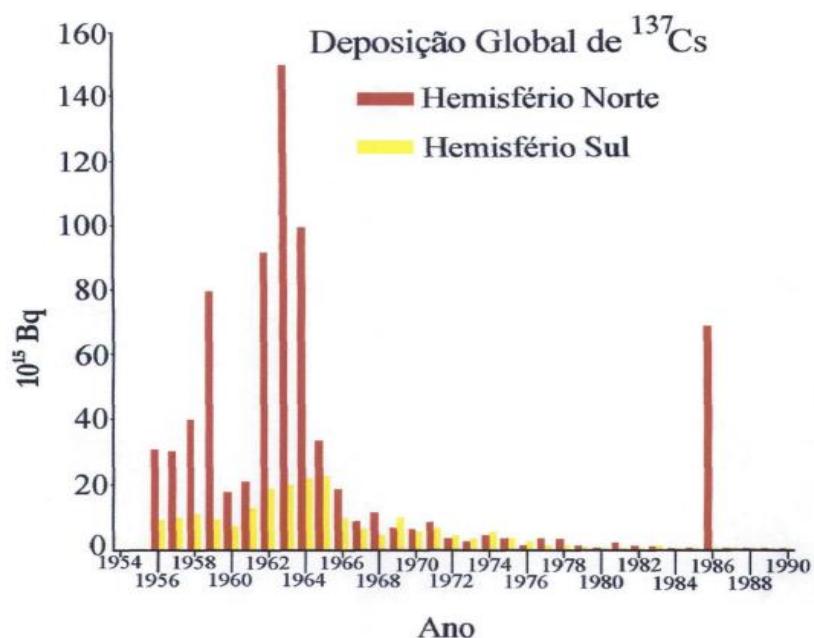


Destes, o ^{40}K , o Urânio-238 (^{238}U) e o Tório-232 (^{232}Th) são os elementos radioativos encontrados em maior abundância na natureza e possuem concentrações variando de acordo com a região e diferentes tipos de rocha e solo (OLIVEIRA, 2014).

Portanto, analisamos a presença do ^{40}K em diversos ambientes do Instituto Federal Catarinense Campus Videira, utilizando uma técnica conhecida como espectrometria de raios gama. Tal técnica é bastante usada na física nuclear, pois trata-se de uma técnica não-destrutiva, e em geral mostra-se um método simples e rápido de identificação e quantificação de radionuclídeos naturais e artificiais emissores de radiação gama, além de possuir um caráter multi-elementar e de não necessitar de processos de separação química dos elementos, possibilitando que se realize medidas de amostras *in situ* (LUZ, 2009).

Também buscamos observar a presença do isótopo radioativo Césio-137 (^{137}Cs) em áreas de solo não cultivadas ou que não tenham recebido nenhuma espécie de cobertura (pavimentação). O ^{137}Cs foi globalmente distribuído dentro da estratosfera terrestre como apresentado na Figura 1. O maior período de deposição global de ^{137}Cs ocorreu nos períodos de 1958 e 1963/1964, tendo havido um período menor de deposição em 1971 e 1974, causado por testes nucleares de superfície por países que não concordaram com o tratado de proibição de testes nucleares de 1963 (WALLING & QUINE, 1990).

Figura 1- Distribuição de ^{137}Cs entre os hemisférios ao longo dos anos.



Fonte: Scheibel (2002, p. 24)



Além desta fonte de ^{137}Cs , em 1986 ocorreu o acidente nuclear de Chernobyl, onde uma nuvem radioativa acabou distribuindo partículas radioativas, inicialmente para a Europa e depois, em menor intensidade, para o restante do planeta (WALLING & QUINE, 1990).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto iniciou em julho de 2016 e foi finalizado em junho de 2017 no Instituto Federal Catarinense – Campus Videira. O sistema de espectrometria que foi utilizado, mostrado na Figura 2, é composto por um detector de iodeto de Sódio dopado com Tálio (NaI [TI]), sendo o cristal de 2 x 2 polegadas. O NaI (TI) é um cintilador inorgânico e pertence ao grupo dos cristais alcali-halogênios. Estes tipos de detectores são muito utilizados na detecção de radiação gama (γ), devido sua alta eficiência nas medidas dos feixes de fótons gama de baixa intensidade (FERNANDES, 2005).

Além de sua capacidade de produção de luz visível, o NaI (TI) responde linearmente num grande intervalo de energia para elétrons e raios γ . O iodeto de sódio é um material altamente higroscópico, e para evitar sua deterioração pela umidade, é encapsulado normalmente com alumínio, como no caso do detector utilizado (KNOLL, 2000; LIMA, 2006).



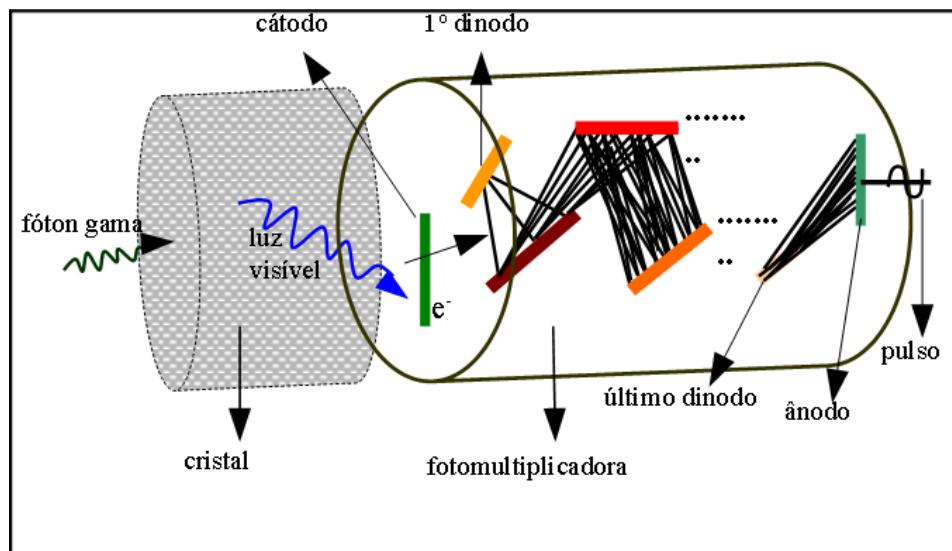
Figura 2 - Sistema de espectrometria gama utilizado.



Fonte: O autor.

O processo de detecção da radiação gama ocorre na interação desta com os átomos do cristal. Através dos processos de interação da radiação com a matéria, são produzidos fótons com comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético (processo de cintilação). Esses fótons atingem o cátodo da base da eletrônica do detector, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3- Representação esquemática do funcionamento da fotomultiplicadora do detector de NaI (TI).



Fonte: Fernandes (2005, p. 42).

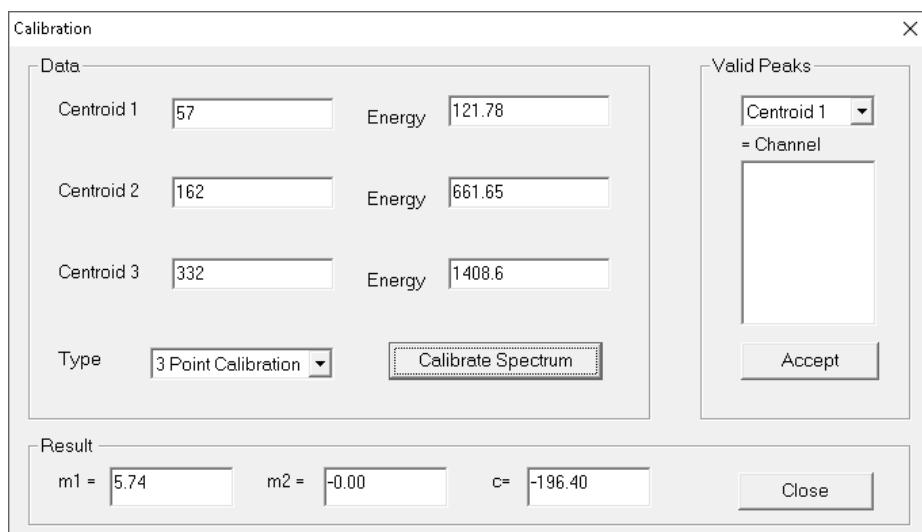


O processo de cintilação conta com 7 estágios:

1. Interação do fóton, onde uma fração de sua energia é convertida em energia cinética da partícula carregada;
2. Redução da velocidade da partícula carregada, resultando em ionização e excitação;
3. Conversão de uma parte dessa energia imediatamente em luz. Ela pode também se transformar em calor ou ser emitida como luz posteriormente;
4. Alguns dos fótons resultantes atingem o cátodo;
5. Alguns dos fótons que atingem o cátodo, dão lugar a fotoelétrons;
6. A multiplicação de elétrons ocorre na fotomultiplicadora;
7. O pulso de corrente elétrica é analisado, neste caso, pelo software disponibilizado.

O software utilizado é o “Spectrum Acquisition & Analysis” fornecido com o detector. Nele é possível observar os 1024 canais, onde são depositadas as energias conforme determinadas na calibração, por exemplo, se for estipulado que a energia 1460,8 keV será depositada no canal 50, cada vez que a fotomultiplicadora receber um pulso de corrente proporcional à energia de 1460,8 keV, uma contagem é acrescida no canal correspondente. Assim, utilizando-se de parâmetros conhecidos na calibração é possível determinar e identificar os canais próprios para cada energia/elemento conforme a Figura 4.

Figura 4 - Exemplo de calibração utilizando 3 pontos.



Fonte: O autor.



Os canais que a energia da fonte de ^{137}Cs e ^{152}Eu , com atividade de 170,2 kBq e 59 kBq respectivamente, seriam contados, ficaram conhecidos devido ao processo de calibração do equipamento, que consistia em utilizar pastilhas de baixa atividade como critério para definição. Já a energia em si destes elementos, foi verificada por meio de revisão literária, mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Raios Gama do ^{152}Eu .

Energia (keV)	Probabilidade (%)
121.7817	31.1
344.2785	14.99
1408.006	4,3

Fonte: Swan (2016).

Tabela 2 – Raios Gama do ^{137}Cs .

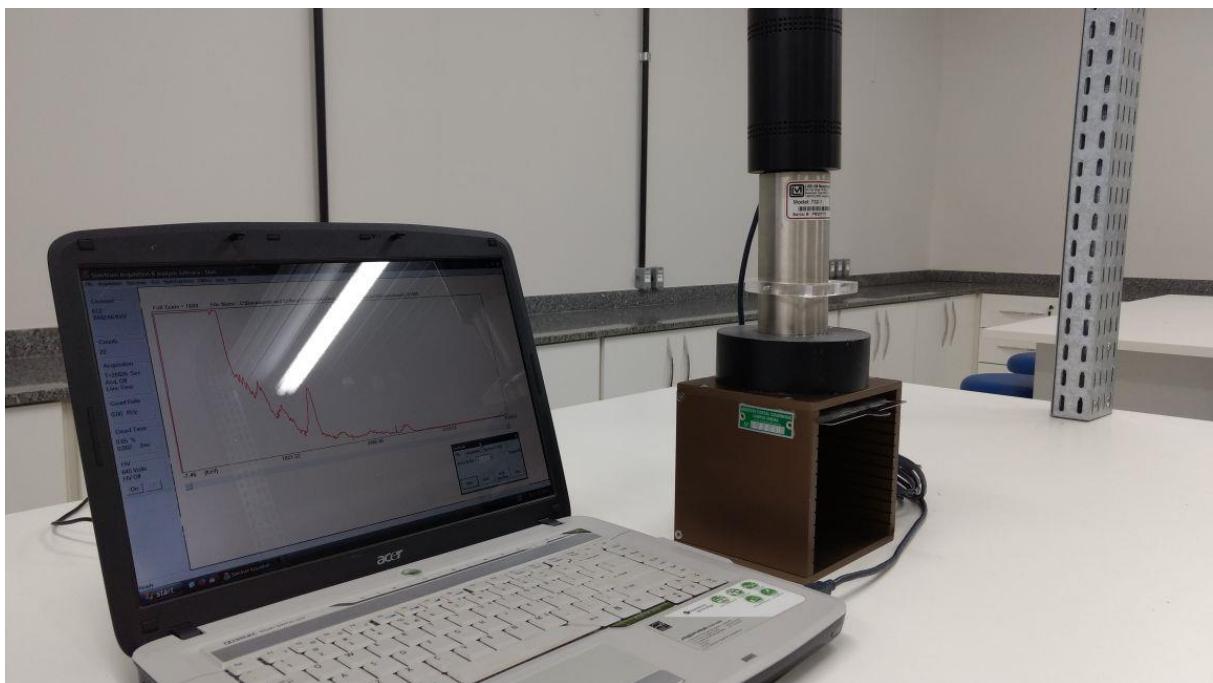
Energia (keV)	Probabilidade (%)
662	85
36	1
32	6

Fonte: Lindley (20XX).

Seguia-se sempre uma série de passos para a calibração:

1. Montava-se o equipamento sobre a mesa do laboratório como mostrado na Figura 5 e realizava-se uma medida de fundo com duração de 600 segundos;

Figura 5 - Fotografia do equipamento utilizado e o software para aquisição dos dados.



Fonte: O autor.



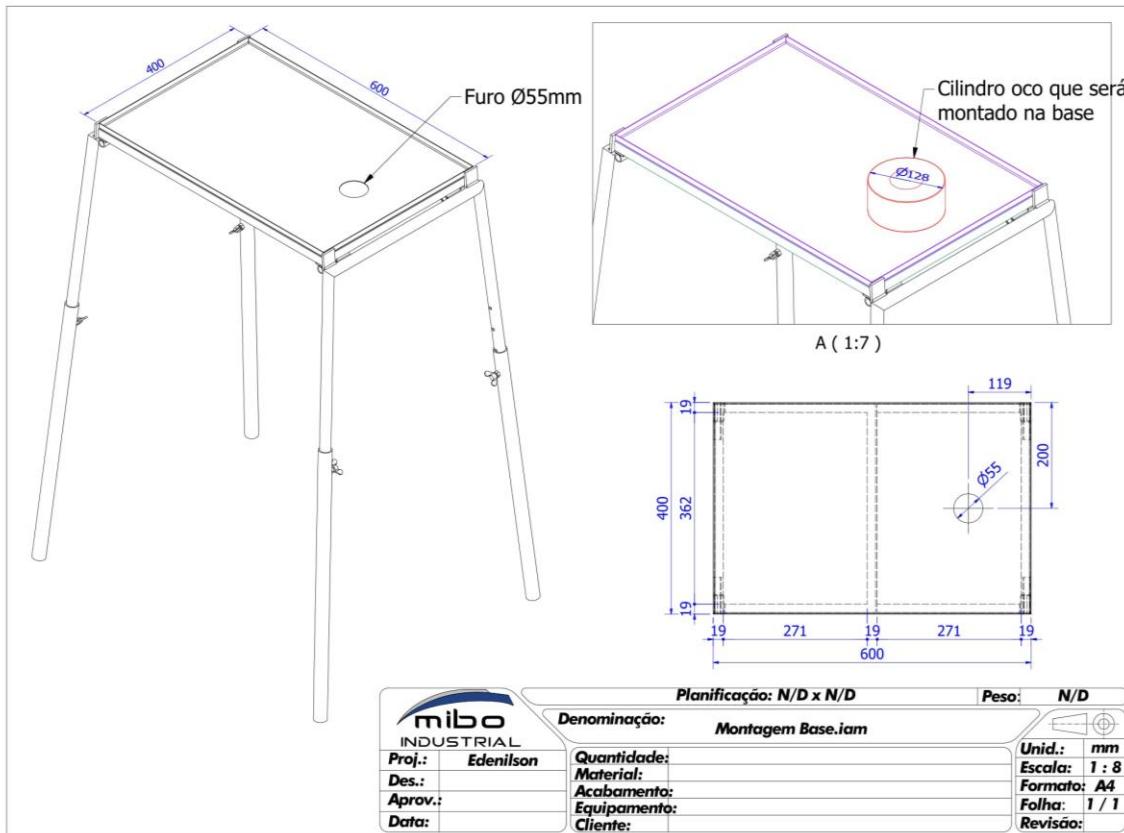
2. Executava-se outra medida na mesma localização e com mesmo tempo, porém com a pastilha radioativa de baixa atividade com aproximadamente $3,7 \text{ cm}^2$ de ^{137}Cs , distante 2 cm do detector;
3. Efetuava-se mais uma medida com os mesmos parâmetros, porém trocando a pastilha de ^{137}Cs pela de ^{152}Eu do mesmo tamanho;
4. Analisava-se os picos com mais contagens das três medidas anteriores e determinava-se uma região de interesse (do inglês Region of Interest [ROI]). Para estabelecer qual canal do ROI era o centroide, ou seja, o canal central do pico, verificava-se o canal que tinha maior número de contagens e também o formato do pico;
5. Fazia-se a calibração conforme Figura 4 com os centroides e as energias encontradas, gerando um resultado dado em ‘m1’, ‘m2’ e ‘c’.

Foram realizadas várias medidas in situ, ou seja, no local de estudo como laboratório de física, bloco dos professores, salas de aulas no andar inferior e áreas abertas sem pavimentação, localizado próximo a um lago, e áreas abertas, mas pavimentadas. Para que o equipamento fosse preservado e adotássemos um padrão para cada medida, confeccionou-se uma mesa de apoio.

Foram realizados estudos que analisavam a melhor alternativa de padronização das medidas do espectro. Verificou-se que a melhor forma era fazer uma mesa para fixação do detector e também de um laptop que contém o software de análise, pois assim, além de fornecer segurança e estabilidade para os equipamentos, ganharíamos uma mobilidade prática ao trocarmos de um lugar a outro. Além de fornecer adaptação de altura, a mesa de apoio conta com as bases retráteis, ou seja, quando o experimento for realizado é possível contrair/compactá-la para uma locomoção facilitada. A Figura 6 mostra o projeto da mesa.



Figura 6 - Projeto da mesa para aquisição dos espectros.



Fonte: O autor.

O produto final seguiu o modelo, mas com algumas alterações. Ela foi construída de metal e conta com 1 metro de altura (padrão adotado) quando montada. A chapa onde será colocado o equipamento tem 60 cm por 40 cm e contém um orifício de raio de 5.5 cm para a fixação do equipamento. Este orifício, será sobreposto por um cilindro de chumbo, então achou-se necessário facilitar a fixação do cilindro fazendo um lugar específico para seu depósito sobre a base, como pode-se observar na Figura 7.

Para estabelecer a relação entre o sinal do detector de NaI (TI) e a energia dos fotópicos, realiza-se a calibração em energia na qual são utilizados, preferencialmente, radionuclídeos com um pico de emissão ou até três picos que sejam separados e bem definidos pelo detector de NaI (TI) na faixa de energia de interesse (KAKOI, 2013).



FICE

6ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 e 06 de setembro

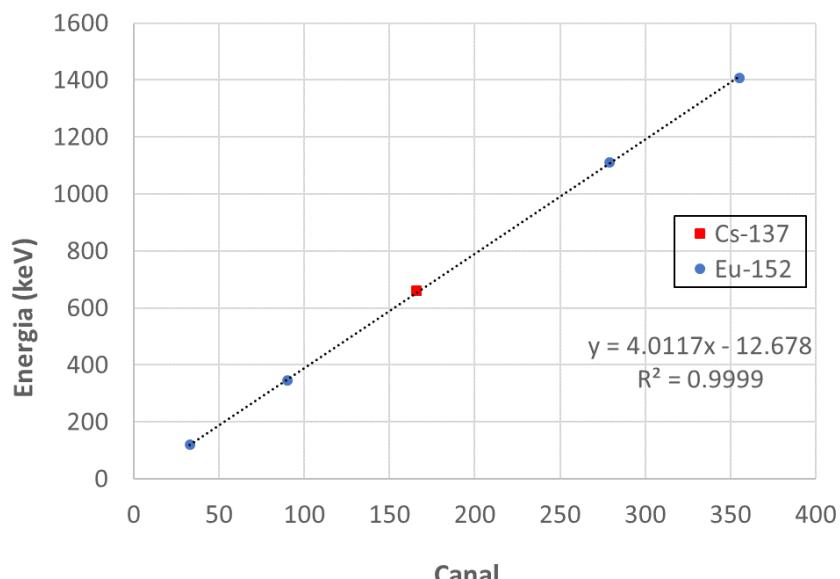
Figura 7 - Fotografia da mesa de apoio dos equipamentos para aquisição dos espectros.



Fonte: O autor.

Utilizamos para tanto as mesmas pastilhas para formular a curva de calibração do detector de NaI (TI) utilizado no projeto, mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Curva de calibração do detector de NaI (TI).



Fonte: O autor.



Foram realizadas medidas em vários locais, como em uma sala de aula comum, identificada como A05, no laboratório de física, na sala dos professores, em uma área com pavimentação e outras sem. Todas são localizadas em blocos diferentes do Instituto, sendo no bloco de salas de aula no andar inferior, bloco de laboratórios, bloco dos professores, pátio e gramado próximo ao lago, respectivamente. Adotou-se um tempo de 4 horas para cada aquisição pois, com isso, conseguíamos adquirir uma quantidade de contagens significativas para posterior comparação e análise do espectro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

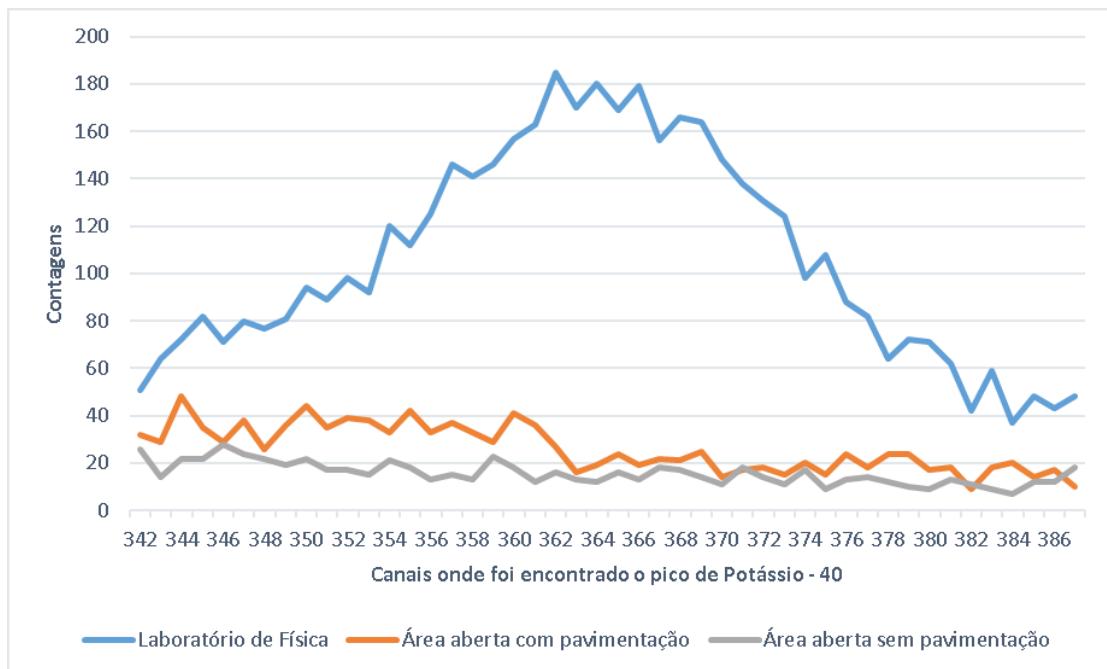
Pode-se notar claramente a presença do radionuclídeo ^{40}K dentro da instituição em cada uma das áreas medidas analisadas, porém com taxas de contagens diferentes entre si. O laboratório de física foi o local onde teve a maior presença do radionuclídeo, com 0,193 contagens por segundo. Quando comparado com ambientes externos, como as áreas abertas com e sem pavimentação, visto na Figura 9, pode-se confirmar a exuberante diferença entre locais com maior uso dos materiais de construção.

De acordo com Ruipérez (1979, p. 117)

Como a maioria dos materiais que o homem utiliza em construções provém de materiais existentes na crosta terrestre, eles serão radioativos em maior ou menor grau dependendo da sua natureza e procedência. Por causa da radioatividade dos materiais de construção, o homem que habita o interior do edifício, se submete a uma radiação, cujo valor dependerá do tipo de material usado.



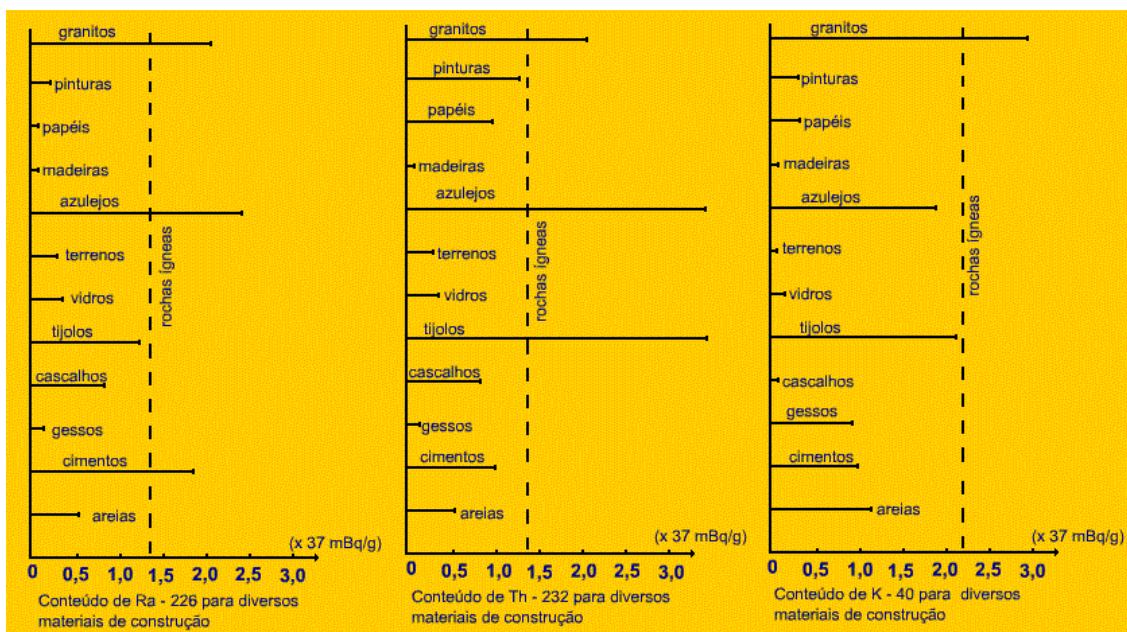
Figura 9 - Gráfico representando o pico de Potássio-40 em diferentes locais da instituição.



Fonte: O autor.

Estes materiais variam desde areias e cimentos até azulejos usados no chão ou paredes. Nestes, não está presente somente o ^{40}K mas também o ^{226}Ra e o ^{232}Th como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Presença de radioisótopos em materiais de construção.



Fonte: Ruipérez (1979).



As taxas de contagem do laboratório, quando comparadas com demais salas como a sala A05, com 0,138 cps, e a sala dos professores, com 0,118 cps, não possui uma diferença tão grande. A discrepância variou entre 0,055, para a sala A05, e 0,075 cps para a sala dos professores. A Figura 11 consiste em um gráfico que demonstra a diferença de cps entre os mais variados locais que foram efetuadas medidas.

Figura 11 - Gráfico das contagens por segundo (CPS) dos ambientes analisados.

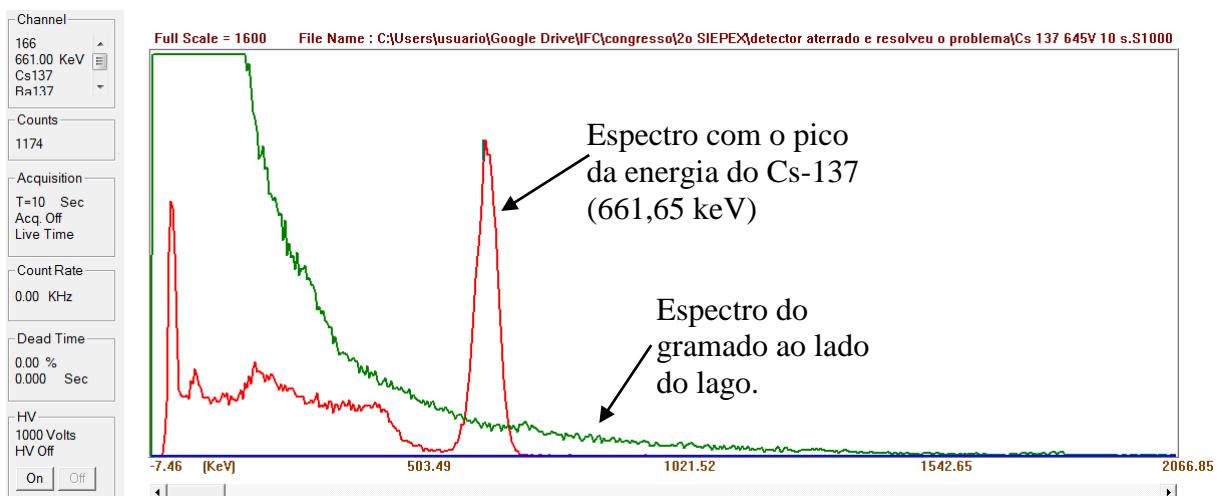


Fonte: O autor.

O detector de NaI (TI) não conseguiu detectar a presença do isótopo radioativo ^{137}Cs nas áreas de solo (sem pavimentação) em nenhuma medida de fundo. A Figura 12 mostra a comparação de um espectro de fundo, onde uma seta indica o espectro do gramado ao lado do IFC Videira, com uma duração de 4 horas, e a outra seta o espectro com a presença da pastilha radioativa de ^{137}Cs com duração de 10 segundos. Pode-se perceber que na região onde aparece o pico do ^{137}Cs , no espectro do gramado não há nenhum pico indicando a presença do radionuclídeo. Acredita-se que a quantidade de ^{137}Cs é muito pequena e o detector provavelmente não consegue discriminar tal quantidade com o fundo existente no ambiente.



Figura 12 - Espectro de fundo confirmando a não detecção do Césio - 137 em uma medida no laboratório.



Fonte: O autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos principais do projeto foi verificar a taxa de contagem do radioisótopo ^{40}K , tanto em ambientes abertos quanto fechados nas dependências do IFC. Com a calibração certa, utilizando as pastilhas radioativas de baixa atividade como parâmetros, pode-se confirmar a presença do ^{40}K em nossa volta. Com a comparação verificou-se que ambientes fechados, com maior proximidade de edificações ou materiais de construção, influenciaram no pico do radioisótopo alvo, apresentando uma maior taxa de contagem. Materiais como areias, cimento, tijolos entre outros influenciam fortemente no espectro. O fato do número de contagens ter sido maior no laboratório de física se explica pela existência de granito sobre as bancadas ao redor da sala, sendo que o granito é o maior contribuinte para a dose de ^{40}K , como pode ser observado na comparação apresentada na Figura 10.

Como foi diminuindo a quantidade de material de construção próximo ao detector nos diversos testes realizados, constatou-se que a quantidade de ^{40}K também diminui. Quanto mais afastava-se dos blocos de sala de aula, mais diminuiu o número de contagens dos espectros para o mesmo tempo de aquisição, chegando a não aparecer no espectro de fundo da área externa.



Outro objetivo era verificar se o detector de NaI (TI) conseguia detectar a presença do isótopo radioativo ^{137}Cs nas áreas de solo (sem pavimentação), porém sem sucesso. Não houve contagens consideráveis em nenhuma medida de fundo realizada como mostrado na Figura 12.

Uma fonte de ^{137}Cs , encapsulada, com aproximadamente 10 μCi de atividade, posta em contato com uma pessoa por um período de 12 horas, dará uma dose de corpo inteiro de aproximadamente 1 mRem. Uma radiografia de tórax típico de Raio X dá uma dose entre 40 e 200 mRem (PETERSON, 1996). Para efeitos de comparação, a fonte de ^{137}Cs utilizada neste trabalho tem 4,6 μCi de atividade, a qual utilizamos para obter o espectro da Figura 12 por apenas 10 segundo, mesmo assim fornecendo um pico significativamente maior que as 4 horas de aquisições dos espectros obtidos neste trabalho. Diante desta informação, podemos concluir que a radiação existente em nosso meio, no caso do ^{40}K existente no cimento e também em outros materiais de construção, onde foram detectados pelo detector de NaI (TI), é inofensivo ao homem, não podendo causar mal algum a nossa existência.

Apesar disto, verificar a presença de materiais radioativos e monitorá-los é de extrema importância, pois a radiação pode gerar complicações em caso de grandes quantidades ou longos períodos de exposição. Como ela não é algo visível, o desconhecido pode ser perigoso, como no caso de Goiânia onde dois catadores abriram um aparelho contendo uma grande quantidade de elementos radioativos e não sabendo da ameaça acabaram matando, indiretamente, centenas de pessoas.

REFERÊNCIAS

FERNANDES, J. S. **APLICABILIDADE DE UM ESPECTRÔMETRO PORTÁTIL DE CdTe E NaI (TI) PARA A MEDIDA DA ATIVIDADE DE CÉSIO-137 (^{137}Cs) E BERÍLIO-7 (^7Be)**. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/069/37069012.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2017.

KAKOI, A. A. Y. **ANÁLISE DA METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO DOS DETECTORES DE NaI(TI) DO LABORATÓRIO DE MONITORAÇÃO IN VIVO DO IPEN PELO MÉTODO DE MONTE CARLO**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado) -



Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Adelia Aparecida Yuka Kakoi_M.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2017.

KLEMENT, Jr. A. W. **Natural sources of environmental radiation**. In Handbook of Environmental Radiation, pag. 15-21.CRC Press, Boca Raton, FL., 1982.

KNOLL, G. F. **Radiation Detection and Measurement**. 3. ed. Michigan: John Wiley & Sons, Inc, 2000. 816 p. Disponível em: <<https://phyusdb.files.wordpress.com/2013/03/radiationdetectionandmeasurementbyknoll.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

LIMA, C. A. **Avaliação da Performance de Detectores Iodeto de Sódio NaI(Tl) em Centrais Nucleares**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência em Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://antigo.nuclear.ufrj.br/MSc Dissertacoes/Clarindo/Tese completa.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

LINDLEY, T. **Isotope Facts Sheets: CESIUM-137 [137Cs]**. University of Cincinnati. Disponível em: <<http://researchcompliance.uc.edu/RadSafety/Isotope/CESIUM-137.aspx>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

LUZ Filho, I. V. **Níveis de Radiação em Amostras de Fosfato Bicálcico (DCP) e Rações Bovinas e Avícolas por Espectrometria de Raios Gama**. Dissertação de Mestrado, UEL, Londrina, PR, 2009.

OLIVEIRA, S. L. **Elementos de Radioatividade a Partir de Primeiros Princípios e Aspectos Ambientais no Distrito Uranífero de Lagoa Real – BA**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais Com Área de Concentração em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2014. Disponível em: <<http://www.uesb.br/ppgca/dissertacoes/2014/Suzicleide.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

PETERSON, R. S. **Experimental y Ray Spectroscopy and Investigations of Environmental Radioactivity**. Physics Department The University of the South Sewanee, Tennessee. p. 3-8, 1996.

RUIPÉREZ, L. G. **Radiactividad y Medio Ambiente**. Oviedo: Universidad de Oviedo Servicio de Publicaciones, 1979. 179 p.



FICE

6^ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

05 e 06 de setembro

SCHEIBEL, V. TRAÇOS RADIOATIVOS EM AMOSTRAS ALIMENTARES DE EXPORTAÇÃO DO PARANÁ. 2002. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2002. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/012/35012349.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2017.

SWAN, T. Gamma Ray Spectroscopy. Owlcation. 29 out. 2016. Disponível em: <<https://owlcation.com/stem/Gamma-Ray-Spectroscopy>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

WALLING, D. E., QUINE, T. A. Calibration of Caesium-137 Measurements to Provide Quantitative Erosion Rate Data Land Degradation. Rehabilitation. v. 2, p. 161–175, 1990.