

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DO ALUNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (IC) PIBIC/UFPE/CNPq

IDENTIFICAÇÃO

Nome do Orientador: José Araújo dos Santos Júnior

Nome do Aluno: Wiliane de Paiva Costa

Título do Projeto: "PADRONIZAÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO GAMA PARA ANÁLISE DE URÂNIO NATURAL EM ÁREAS DE ALTO "BACKGROUND" RADIOATIVO"

RESUMO DO TRABALHO

Os radionuclídeos naturais representam mais que 70% de contribuição da dose de radiação ambiental na qual os seres vivos são expostos, tendo como principais emissores os radionuclídeos primordiais, compostos principalmente pelas séries radioativas naturais do ^{238}U e do ^{232}Th , acompanhadas da contribuição do ^{40}K . Os níveis desses radioelementos na crosta terrestre, dependem principalmente da formação geológica de cada área do planeta, das atividades desenvolvidas, dos hábitos alimentares e de vida, portanto, devem ser monitorados a nível ambiental para evitar exposições externas e a contaminação, garantindo a aplicação dos requisitos de proteção radiológica. Partindo deste princípio, justifica-se a importância do uso de metodologias que permitam avaliar com alto grau de precisão e exatidão os níveis desses radionuclídeos. A espectrometria gama tem sido utilizada mundialmente na avaliação das concentrações específicas dos radionuclídeos naturais em matrizes ambientais, tendo em vista ser um método não destrutivo, rápido, multielementar, de baixo custo e com excelente desempenho na qualificação e quantificação desses elementos radioativos. A presente pesquisa, teve como objetivo padronizar um espectrômetro gama de alta resolução com detector HPGe-Be, pertencente ao Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE, utilizando a construção de uma curva de eficiência em energia e modelagem para ajustes, de forma a garantir a identificação e medidas dos níveis de radionuclídeos naturais em área de alto "background", especificamente no depósito de urânio natural de São José de Espinharas na Paraíba. Para padronização do sistema de medidas, calibração em energia, foram utilizadas fontes radioativas pontuais de ^{241}Am , ^{137}Cs e ^{60}Co adquiridas da Agência Internacional de Energia Atômica (do inglês IAEA). A curva de eficiência foi construída com fontes padrões de ^{241}Am , ^{133}Ba e ^{152}Eu dopando amostras de solo. Os resultados permitiram calcular as atividades do urânio pelos fótons de aproximadamente 63 keV e 93 keV do ^{234}Th , assumindo a condição de equilíbrio radioativo secular.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	3
OBJETIVOS	4
METODOLOGIA	4
<i>Sistema de medidas</i>	5
<i>Escolha das fontes radioativas utilizadas na calibração do espectrômetro gama</i>	5
<i>Preparação dos padrões para construção da curva de eficiência</i>	6
<i>Arranjo experimental para as análises dos padrões</i>	7
<i>Análise qualitativa do urânio natural</i>	7
<i>Cálculo da atividade específica do urânio em amostras ambientais</i>	7
<i>Avaliação da resolução em energia</i>	7
<i>Limite de detecção (LD)</i>	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
<i>Curva de eficiência</i>	9
<i>Análise e interpretação do espectro gama</i>	10
<i>Resolução para energias utilizadas na qualificação do urânio natural</i>	11
<i>Limite de detecção</i>	11
<i>Cálculo das atividades usando a calibração da eficiência em energia</i>	11
CONCLUSÕES.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
DIFICULDADES ENCONTRADAS	13
ATIVIDADES PARALELAS DESENVOLVIDAS PELO ALUNO	13

INTRODUÇÃO

A radioatividade ambiental se origina das fontes naturais ou da contaminação radioativa do meio ambiente provocada pelo homem. As fontes naturais de radiação provem dos raios cósmicos, dos radionuclídeos produzidos pela interação da radiação cósmica com a atmosfera, solo e água, e dos radionuclídeos primordiais das séries naturais do ^{238}U e do ^{232}Th , além do ^{40}K e ^{87}Rb . Estes radionuclídeos promovem maior contribuição para a exposição do ser humano no meio ambiente, quando comparados com todas as fontes de radiação terrestre (KANNAN et al., 2002; SUJO et al., 2004), destacando-se principalmente os radionuclídeos terrestres que apresentam meias vidas suficientemente longas para permitir que a atividade permaneça existindo mesmo nos dias de hoje.

A maior preocupação dos órgãos de controle de radiação ionizantes, entre eles, a Agência Internacional de Energia Atômica, do inglês: International Agency Energy Atomic (IAEA), e no Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), tem sido com a exposição externa devido à irradiação gama. Neste contexto, para predizer qualquer situação de risco, o primeiro passo a ser considerado é a monitoração *in situ*, onde possibilita a medida dos níveis de radiação do ambiente e a localização de áreas consideradas de alto "background" (radiação de fundo), direcionando a coleta das amostras, e pelas análises laboratoriais e instrumentais, a qualificação e a quantificação dos radionuclídeos presentes no ecossistema.

Os estudos de monitoração radiométrica têm como base as recomendações da United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) para os limites de permissividade, baseando-se na dose efetiva média global de 2,4 mSv/ano para predizer situação de risco (SANTOS JÚNIOR et al., 2006), o que justifica o monitoramento de áreas com doses acima desse limite primário, visando de certa forma, estabelecer o perfil radiométrico dessas áreas considerada anômala.

A região Nordeste, não foi suficientemente contemplada em termos radioecológicos, contudo, estudos de monitoração aerocintilométricos e geológicos foram desenvolvidos pelas Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRAS) no período de 1977 a 1982, onde foram localizadas algumas importantes anomalias de urânio em rochas e solos, uma destas situada no município de São José de Espinharas, no estado da Paraíba. São José do Espinharas, está localizado no alto Sertão, precisamente na microrregião de Patos e possui uma jazida de urânio com 12 toneladas de reserva e um teor médio de 1.200 mg/kg de U_3O_8 (SANTOS JÚNIOR et al., 2006). Segundo o IBGE, em 2009, esta cidade apresentava uma população de 5.045 habitantes.

Levando-se em consideração a geoquímica do urânio, seus produtos de decaimento (^{226}Ra , ^{222}Rn , etc) e sua longa meia-vida, o urânio pode ser uma fonte potencial de contaminação, onde o reconhecimento de áreas sob influências de processos radioativos (naturais e/ou antropogênicos) é de grande importância no controle radiológico ambiental (PIRES, 1995).

Para realizar as análises radiométricas das áreas e das amostras, utiliza-se de várias metodologias e técnicas nucleares, sendo uma das mais utilizadas e disposta no Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE, a espectrometria gama de alta resolução.

O método de espectrometria gama consiste da detecção da radiação gama emitida pelos radionuclídeos presentes na amostra. Os fótons emitidos interagem com o detector, para produzir um pulso. Cada pulso é amplificado, analisado e distribuído de acordo com a sua energia, produzindo um espectro de contagens por unidade de energia, dos fótons incidentes.

Para o uso da técnica de espectrometria gama, os detectores mais utilizados são do tipo inorgânico sólido e os semicondutores. Esses detectores permitem obter informações e conclusões sobre o nível de radiação presente na matéria. Com as medidas realizadas nesse

detector, é possível calcular as concentrações dos radionuclídeos presentes, estabelecendo condições necessárias para proteger o homem (SANTOS JÚNIOR et al., 2009). Geralmente, no campo da espectrometria gama os detectores mais utilizados são os detectores cintiladores NaI(Tl) devido à sua alta eficiência de detecção, e os detectores semicondutores de germânio (HPGe) que apresentam melhor poder de resolução em energia (SANTOS JÚNIOR et al., 2009).

Estudos vêm sendo realizado pelo Grupo de Estudos em Radioecologia do DEN-UFPE em áreas que apresentam elevados níveis de radiação natural utilizando da técnica radiométrica de espectrometria gama, sendo necessário a determinação de um algoritmo que permita o cálculo das eficiências em energia, principalmente ajustes para energias dos fótons inferiores a 100 keV, que foi objeto de estudo desta pesquisa.

Essas medidas exigiram a padronização do HPGe-Be para obtenção de resultados eficientes, a partir dos quais, foram calculadas, de forma indireta, doses e outras grandezas dosimétricas, auxiliando a obtenção dos resultados dos projetos de mestrado e doutorado desenvolvidos no RAE-DEN-UFPE.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi realizar a padronização do sistema de espectrometria gama de alta resolução com detector HPGe-Be do Departamento de Energia Nuclear da UFPE para avaliação radiométrica em áreas de alto δ background radioativo, usando as recomendações da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos se destacam:

- (a) Calibração em energia do sistema de espectrometria gama de alta resolução;
- (b) Medidas experimentais com a construção de uma curva de eficiência em energia;
- (c) Modelagem dos dados experimentais e ajuste da curva de eficiência;
- (d) Determinação de um algoritmo para calcular as eficiências em energias para os radionuclídeos naturais, principalmente o urânio natural;
- (e) Ensaios experimentais iniciais em amostras de solo e rochas do depósito de urânio natural de São José de Espinharas - PB.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário utilizar como metodologia os seguintes critérios: escolha das fontes radioativas com energias específicas para calibração do sistema de medidas, dopar matrizes ambientais, neste caso amostras de solo com padrões líquidos fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), levantar as curvas de calibração e eficiência em energias, determinar um modelo para calcular as eficiências de energias dos principais radionuclídeos naturais localizados em áreas com níveis elevados de radiação, calcular a resolução em energia, definir os limites de detecção e realizar medidas de amostras de solo e rochas para testar as curvas e modelos estabelecidos, conforme apresentado a seguir.

Sistema de medidas

O sistema de medidas utilizado foi composto por um espectrômetro gama de alta resolução com detector semicondutor de germânio hiperpuro com janela de berílio, HPGe-Be da Canberra®, 4,54 cm de diâmetro, volume ativo de 41,1 cm³, com eficiência nominal de 27,7%, resolução de 1,77 keV para a energia de 1.332 keV do ⁶⁰Co, e foi acoplado a um MCA ("multichannel analyzer") com 8.192 canais e software Genie-2000® também da Canberra®.

Para minimizar os efeitos das interferências da radiação de fundo do laboratório, o detector foi envolvido por uma blindagem de chumbo com aproximadamente 600 kg e uma superfície interna constituído de uma liga de cobre e zinco, o que garantiu a atenuação do efeito de retro espalhamento.

A Figura 1 apresenta em destaque: (a) o detector interligado ao recipiente criogênico, onde é utilizado nitrogênio líquido para seu resfriamento indireto através de haste de cobre interligada ao detector; (b) módulo multicanal (MCA) para seleção dos canais eletrônicos por regiões de interesse em termos de energia e (c) detector gama na blindagem de chumbo com abertura superior para posicionamento das amostras.

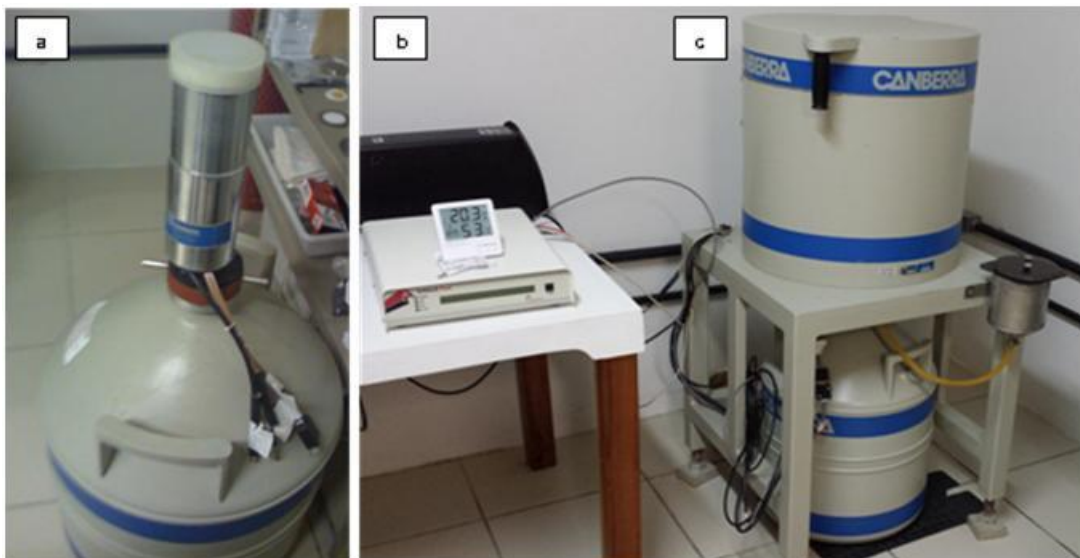


Figura 1. Sistema de espectrometria gama.

Escolha das fontes radioativas utilizadas na calibração do espectrômetro gama

Para escolha das fontes radioativas utilizadas na calibração em energia do sistema de espectrometria gama de alta resolução, foi utilizado o documento técnico da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), TECDOC 619 (IAEA, 1991). Neste caso, as fontes utilizadas para calibração em energia foram: ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs e ⁶⁰Co, cujas energias e probabilidades de emissão são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação das fonte pontuais utilizadas na calibração do HPGe-Be.

FONTE	EMISSÃO (keV)	PROBABILIDADE (%)	t_{1/2} (ano)
²⁴¹ Am	59,54	36,00	432,17
¹³⁷ Cs	661,66	85,10	30,17
⁶⁰ Co	1.173,24	99,86	5,27
	1.332,50	99,98	

t_{1/2}: tempo de meia vida.

As fontes pontuais, no momento das medidas, apresentavam atividades radiométricas da ordem de μCi .

Preparação dos padrões para construção da curva de eficiência

Para construção da curva de eficiência em energia foi necessário preparar padrões radioativo dopando amostras ambientais, neste caso solo, com fontes líquidas de ²⁴¹Am, ¹³³Ba e ¹⁵²Eu. Cada padrão foi construído adicionando-se alíquotas suficiente para obter bom desempenho nas medidas radiométricas. A Tabela 2 apresenta as fontes radioativas e as meias-vidas.

Tabela 2. Fontes utilizadas para construção da curva de eficiência.

FONTE	t_{1/2} (ano)
²⁴¹ Am	432,17
¹³³ Ba	10,57
¹⁵² Eu	13,50

A escolha dos padrões foram baseadas na faixa de fótons gama emitidos e na amplitude de energia suficiente para analisar todos os radionuclídeos naturais e antrópicos de interesse radioecológico. As energias utilizadas para os cálculos das eficiências experimentais dos referidos radionuclídeos foram: (a) fotopico de aproximadamente 59,54 keV do ²⁴¹Am; (b) fotopico de aproximadamente 80,99 keV do ¹³³Ba e (c) as emissões do ¹⁵²Eu compreendidas no intervalo de 121,78 keV a 1,408,02 keV, que inclui 14 transições gama.

Antes da dopagem das matrizes de solo para preparo dos 3 (três) padrões, as amostras, coletadas de área de baixa radiação de fundo, foram limpas, peneiradas a uma granulometria inferior a 1,00 mm, quarteadas e alíquotas de 250 gramas adicionadas em recipientes de polietileno. Em seguida, alíquotas de cada padrão líquido foi adicionado em cada matriz de solo, realizada secagem em estufa à 40°C, homogeneizadas e os recipientes lacrados para garantir a integridade de cada padrão.

Conhecendo-se o volume de padrão adicionado em cada amostra de solo, foi possível calcular a atividade radiométrica de cada radionuclídeo nos padrões de solo. Essa metodologia permitiu realizar medidas experimentais no espectrômetro gama HPGe-Be e levantar os dados experimentais necessários para obter o modelo matemático que descreve o comportamento da eficiência de contagem por energia.

Arranjo experimental para as análises dos padrões

Para realizar a calibração do espectrômetro gama e a construção da curva de eficiência, cada padrão radioativo (fontes pontuais e padrões de solo) foram medidos por um período de tempo de 1.800 segundos, posicionando-os diretamente sob o detector, sem interposição de barreiras e com ajuste automático do tempo morto. As transições gamas foram norteadas pelo multicanal com janela expandida.

Análise qualitativa do urânio natural

Para qualificação do urânio natural, neste caso, o isótopo ^{238}U e testar as eficiências em baixa energia, foram utilizadas as transições gamas emitidas pelo ^{234}Th , filho do ^{238}U , especificamente as emissões de aproximadamente 63 keV e 93 keV, assumindo a condição de equilíbrio radioativo secular. Os testes foram realizados após definição da equação de ajuste da eficiência de contagem, tendo em vista a necessidade de posteriormente quantificar este radionuclídeo.

Cálculo da atividade específica do urânio em amostras ambientais

Para testar as eficiências em energias obtidas após determinação dos ajustes experimentais e algoritmo obtido pela curva de eficiência, utilizou-se amostras de solo e rochas da jazida de urânio de São José de Espinharas - PB, pertencentes ao projeto do Grupo de Radioecologia (RAE) intitulado "Dosimetria ambiental de uma área uranífera do município de São José de Espinharas - PB", obtendo-se as atividades específicas do ^{238}U no local estudado.

Para o cálculo desta atividade específica, utilizou-se a Equação 3 (IAEA, 1989), que leva em consideração a área total líquida do fotopico (N_{Ei}), a eficiência de contagem para a energia considerada (ϵ); o tempo de contagem (t); a abundância gama do emissor (I_γ) e a massa da amostra analisada (m).

$$A = \frac{N_{Ei}}{\epsilon \times I_\gamma \times t \times m} \quad (3)$$

A eficiência em energia foi determinada em função da modelagem realizada com os padrões nas matrizes ambientais.

Avaliação da resolução em energia

Com o objetivo de verificar a capacidade do sistema de separar fótons com energia próximas, foram analisadas as resoluções para as energias de 63 keV e de 93 keV, utilizando a Equação 1 definida pela literatura (KNOLL, 1989).

$$R = \frac{FWHM}{E} \times 100 \quad (1)$$

Neste equação, R representa a resolução em energia; FWHM a medida da largura do fotopico à metade da altura máxima e E a transição média do fotopico. Quanto menor o valor de R, melhor a resolução do sistema em energia, de forma que transições mais próximas possam ser separadas identificadas. As interferências do sistema, tais como ruídos, fótons de baixa energia, e outras, influenciam para o alargamento do fotopico, diminuindo desta forma a resolução.

Limite de detecção (LD)

O limite de detecção (LD) também é um parâmetro muito importante para instrumentação nuclear, permitindo obter maior confiabilidade nos resultados que estão dentro do padrão mínimo de medida.

Neste pesquisa, os LDs para as energias de aproximadamente 63 keV e 93 keV foram calculados pela Equação 2, conforme recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1989).

$$LD = 4,66 \times \sigma \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do projetos são apresentados a seguir, com base na padronização necessária para o bom funcionamento do sistema de medidas, apresentadas e discutidas por tópicos neste capítulo.

Calibração em energia

A Figura 2 apresenta a reta de calibração do espectrômetro gama HPGe-Be, realizada em função dos canais do sistema multicanal e da energia do fóton incidente, utilizando os padrões ^{241}Am , ^{137}Cs e ^{60}Co , conforme descrito na metodologia.

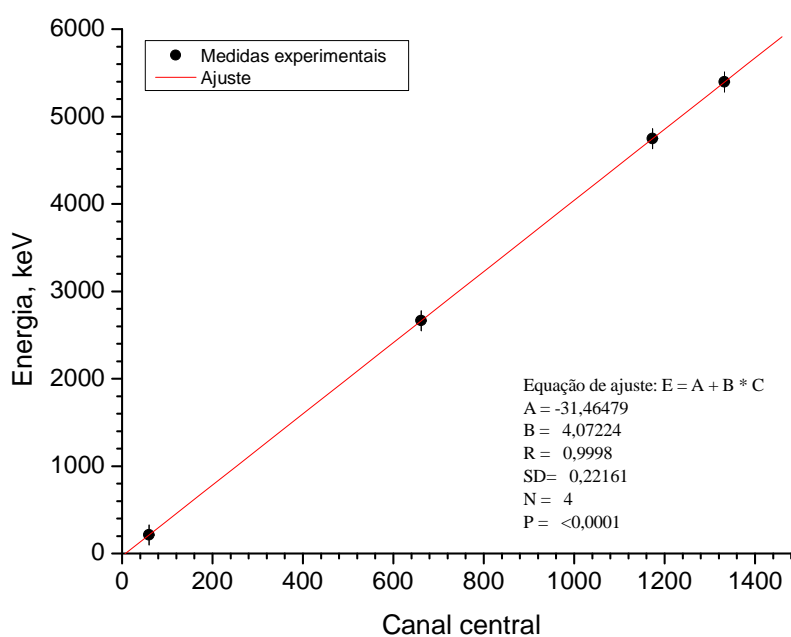


Figura 2. Reta de Calibração para o Espectrômetro Gama HPGe-Be.

Os dados experimentais no intervalo de energia utilizado para calibração, neste caso aproximadamente 59 keV a 1.400 keV, se ajustaram perfeitamente ao modelo linear, mostrando excelente ajuste, $R = 0,9998$, o que denota proporcionalidade na relação canal e energia.

Partindo-se do ajuste linear, foi possível obter a Equação 3 que possibilita ajustar a energia nos canais disponíveis no sistema MCA interligado ao detector.

$$E = 4,07224 \times C - 31,46479 \quad (3)$$

Convém observar que nesta equação, E representa a energia e C o canal central no qual a transição gama está sendo investigada.

Curva de eficiência

A Figura 3 apresenta a curva de eficiência obtida em função da realização das análises dos padrões de ^{241}Am , ^{133}Ba e ^{152}Eu nas matrizes de solo. Com a obtenção dos dados experimentais, utilizou-se um programa estatístico, para modelar a função que melhor representasse o comportamento dos dados experimentais, relacionando energia e eficiência. Pelos ajustes realizados, o modelo Lorentz foi o que melhor representou o ajuste, $R^2 = 0,99446$, $\chi^2 = 1,1333\text{E-}6$.

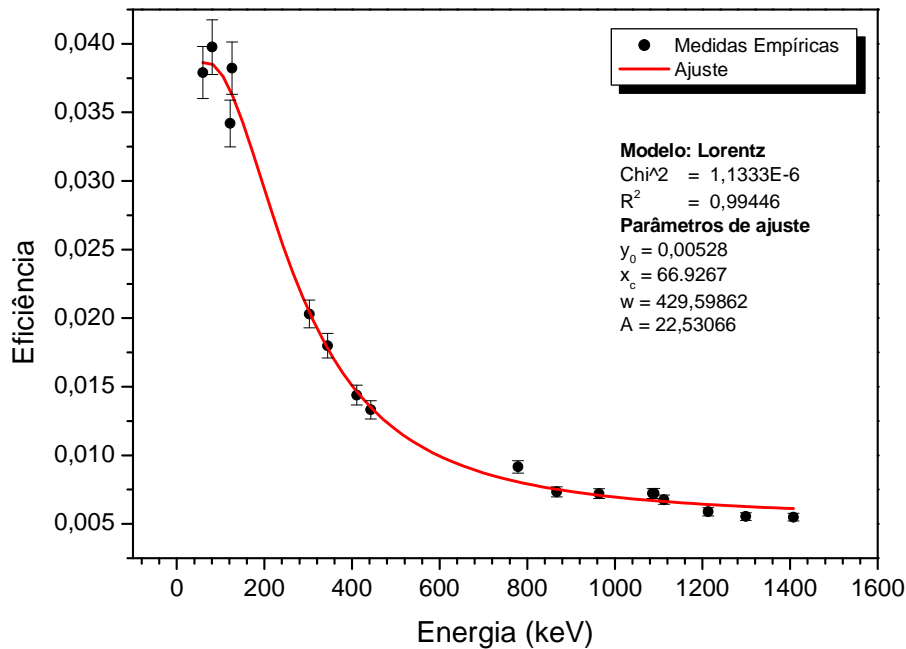


Figura 3. Curva de eficiência em energia para o Espectrômetro Gama HPGe-Be.

Com base no ajuste, foi possível obter a Equação 4 que possibilita o cálculo das eficiências em energia no intervalo entre aproximadamente 59 keV a 1.400 keV.

$$y = y_0 + \frac{2A}{\pi} \times \frac{w}{4(x - x_c)^2 + w^2} \quad (4)$$

Nesta equação, y representa a eficiência em energia a ser determinada; x a energia da transição gama de interesse e y_0 , A, w e x_c os parâmetros de ajustes, cujos valores estão representados na Figura 3.

Análise e interpretação do espectro gama

A análise e interpretação do espectro gama foi necessária para ajustes dos canais (eletrônica do sistema), realização dos cálculos das resoluções em energia, o que evidencia possíveis regiões de interferências no espectro. O programa utilizado no tratamento do espectro foi o Genie-2k da Canberra[®], onde foi possível a identificação dos radionuclídeos, neste caso as energias de 63 keV e de 93 keV para análise do urânio natural. A Figura 4 apresenta um espectro obtido para uma amostra de rocha com destaque para a região de interesse.

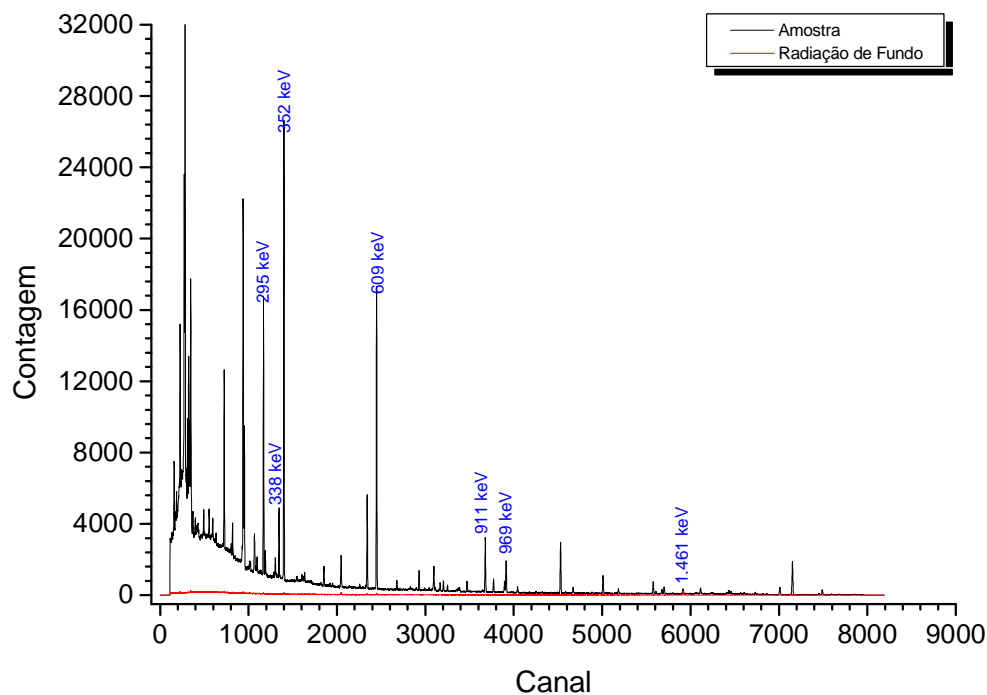


Figura 4. Espectro gama para amostra de rocha da jazida de Espinharas - PB.

Observa-se pelo espectro que, facilmente é possível identificar os fótons com energias acima de 300 keV, primeiro por apresentarem altas intensidades, segundo, por estarem em regiões acima do Compton contínuo. A região de interesse neste trabalho encontra-se abaixo de 100 keV e precisa de cuidados na avaliação dos fótons, de forma a evitar as interferências. Além disso, é possível perceber que para baixas energias ocorrem a formação dos fotopicos com maiores frequências, com transições que justificam a presença do urânio natural, bastando para isso, aplicar os métodos seguros na avaliação de cada transição gama.

A partir da qualificação consegue-se aplicar o modelo estabelecido para os cálculos das eficiências em energia e quantificar o urânio, assim como outros radionuclídeos.

Resolução para energias utilizadas na qualificação do urânio natural

A análise espectral permitiu identificar as regiões de interesse para análise do ^{238}U , fotopicos de aproximadamente 63 keV e 93 keV emitidos pelo ^{234}Th e utilizados para identificação do urânio no equilíbrio radioativo secular.

A Tabela 3 apresenta os valores das resoluções calculadas para os fotopicos referenciados acima.

Tabela 3. Resolução em energia por fotopico.

ENERGIA (keV)	RESOLUÇÃO (%)	DESVIO PADRÃO
63	2,77	0,03
93	1,82	0,04

Esses resultados permitiram mapear as áreas no multicanal utilizadas para identificação de cada transição gama e com isso, verificar a capacidade do sistema diferenciar essas transições diante de interferências. Além disso, observa-se que com o aumento da energia houve uma melhora na resolução do sistema.

Limite de detecção

O limite de detecção obtido para o ^{238}U foi de $2,80 \pm 0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$, o que permite que o sistema de medidas consiga quantificar atividades ligeiramente superior a este valor.

Cálculo das atividades usando a calibração da eficiência em energia

O cálculo das atividades do ^{238}U usando as energias do ^{234}Th e a equação de ajuste das eficiências, em situação experimental real, caso da jazida de urânio de São José de Espinharas - PB, permitiu obter os resultados da Tabela 4.

Tabela 4. Quantificação do urânio com uso da eficiência em energia.

ATIVIDADE (Bq.kg^{-1})				CV (%)	AMOSTRA
63 keV	93 keV	MEDIA	DESVIO		
1.268,14	1.787,21	1.527,68	367,04	24,03	Rocha
55,37	56,50	55,94	0,80	1,43	Solo
16,76	10,16	13,46	4,67	34,67	Solo
194,86	286,28	240,57	64,64	26,87	Solo
213,42	290,08	251,75	54,20	21,53	Solo
4.187,96	5.649,53	4.918,74	1.033,49	21,01	Rocha
46,46	48,35	47,40	1,34	2,82	Solo
232,60	371,57	302,08	98,27	32,53	Rocha
2.474,42	3.324,53	2.899,48	601,12	20,73	Rocha
1.633,12	2.672,66	2.152,89	735,07	34,14	Rocha

CV: Coeficiente de Variação.

Observa-se que, foi possível quantificar o ^{238}U pelo uso das eficiências ajustadas, objeto de pesquisa deste trabalho, usando os valores modelados para as energias de 63 keV (eficiência de 0,038657) e 93 keV (0,038183), entretanto, deve-se investigar as influências espectrais na região do Compton contínuo para melhorar a dispersão observada para as

atividades confrontadas, tendo em vista a baixa dispersão obtida para as eficiências nas respectivas energias, neste caso, um coeficiente de variação de apenas 0,87%.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, o modelo utilizado e adaptado para o cálculo das eficiências em energia, permitiu estimar as atividades específicas do ^{238}U em um caso real e experimental da jazida de urânio de São José de Espinharas - PB, possibilitando estudar futuramente as interferências neste intervalo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Atomic Energy Agency (IAEA). X ray and gamma-ray standards for detector calibration. IAEA publication, technical report: **TECDOC 619**, INSS 1011-4289, Vienna, 1991. 157p.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Measurements of radionuclides in food and the environ, **Technical Reports Series 295**, Vienna, 1989.

KNOLL, G. F. **Radiation Detection and easurement**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1989, 754 p.

Kannan, V.; Rajan, M. P.; Iyengar, M. A. R.; Ramesh, R. Distribution of natural and antropogenia radionuclides in soil and beach sand simples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. **Applied Radiation and Isotopes**. v. 57, p. 109-119, 2002.

S. Júnior, J. A.; Amaral, R. S.; Silva, C. M.; Menezes, R. S. C.; Bezerra, J. D. Estudo comparativo entre os detectores HPGe e NaI(Tl) na determinação de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K em amostras de solo. v. 5, n. 4, p. 1-16, 2009.

Santos Júnior, J. A.; Cardoso, J. J. R. F.; Silva, C. M.; Silveira, S. V.; Amaral, R. S. Determination of radionuclides in the environment using gamma-spectrometry. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. v. 269, n. 2, p. 451-455, 2006.

Sujo, L. C.; Cabrera, M. E. M.; Villalba, L.; Villalobos, M. R.; Moye, E. T.; León, M. G.; Garcia-Tenorio, R.; Garcia, F. M.; Peraza, E. F. H.; Aroche, D. S. Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico. **Journal of Environmental Radioactivity**. v. 77, p. 205-219, 2004.

Pires, A. C. B. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás - Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 25, n.1, p. 61-68, 1995.

DIFICULDADES ENCONTRADAS

A dificuldade não prevista e que ocasionou a parada do sistema de medidas gama foi um defeito no módulo multicanal. Essa dificuldade foi superada num prazo de 1,5 mês, tempo que não comprometeu o desenvolvimento das atividades.

ATIVIDADES PARALELAS DESENVOLVIDAS PELO ALUNO

Algumas atividades foram desenvolvidas paralelamente com o projeto de pesquisa, onde se destaca: (a) preparação e tratamento de amostras dos mestrandos e doutorandos do Grupo de Estudos em Radioecologia (RAE); (b) logística com aquisição de nitrogênio líquido para o funcionamento do detector HPGe; (c) organização do Laboratório de Dosimetria Ambiental e o Laboratório de Instrumentação Nuclear II ambos do Departamento de Energia Nuclear da UFPE; (d) vivência das aulas do Prof. José Araújo dos Santos Júnior nas disciplinas de Radioecologia e Tópicos Especiais em Instrumentação Nuclear ofertadas para alunos de mestrado e doutorado do Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN) que funciona no Departamento de Energia Nuclear (DEN); (e) alimentação de planilhas com resultados dos projetos desenvolvidos no RAE; (f) suporte na organização, preparação de reagentes e uso de equipamentos do Laboratório de Dosimetria Ambiental do DEN; (f) entre outras atividades.

Data e assinatura do orientador

Data e assinatura do aluno