

GAMAESPECTROMETRIA NO ATERRO SANITÁRIO DE PALESTINA DE GOIÁS-GO

Patrícia da Silva Gomes ¹
Assunção Andrade de Barcelos ²
Fernanda Luisa Ramalho ³
Izabella Borges Rodrigues Costa ⁴
João Batista Pereira Cabral ⁵

INTRODUÇÃO

Os radionuclídeos exercem uma função fascinante na geoquímica, atuando como testemunhas da história geológica do nosso planeta. Esses átomos instáveis, que passa por decaimento radioativo ao longo do tempo, proporciona informações sobre o passado, permitindo aos pesquisadores, técnicas de datação de rochas e minerais, delinear o movimento de placas tectônicas, dinâmica de elementos químicos e até mesmo revelar informações das mudanças climáticas (SOUZA, 2006; XAVIER et al., 2007). Por meio do estudo de radionuclídeos, a geoquímica possibilita desvendar as informações mais profundas da Terra, desde sua formação aos processos atuais que o transformam e moldam, iluminando tanto nosso passado quanto o futuro.

Os radionuclídeos ou radioisótopos são isótopos instáveis sujeitos ao processo de decaimento radioativo (UNEP, 2016). Os radionuclídeos podem ser medidos através da gamaespectrômetro equipamento para medição dos elementos como ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . Das aplicações da gamaespectrometria em alguns estudos, podemos citar: integração de levantamentos gamaespectrométricos para o mapeamento da vegetação sobre substratos ferruginosos (MENDONÇA et al., 2019); processamento e interpretação de dados de gamaespectrometria em área agrícola, suas concentrações/alterações e relações com atributos de fertilização (SANTOS; MENEZES; NASCIMENTO, 2008); mapeamento geológico-geofísico com base em levantamentos geológicos e geofísicos e gamaespectrometria de ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th (ROSA; HARTMANN; LIMA, 2021).

Em relação à análise dos radionuclídeos, tal como determinar as concentrações naturais de urânio, tório e potássio em distintos solos e sedimentos, pode-se citar trabalho de Queiroz et

¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, patriciaslvgomes@gmail.com;

² Pós-Doutorando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, assuncao-barcelos@hotmail.com;

³ Pós-Doutoranda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, ramalho_luisa@hotmail.com;

⁴ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, izabella.costa@discente.ufj.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Jataí - UFJ, jbcabral2000@yahoo.com.br.

al. (2017) que mediu a concentração de Th, U e K em águas superficiais e sedimentos marginais do rio Piracicaba. Na pesquisa de Cardoso et al. (2009), determinou-se a partição geoquímica dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb em áreas circunvizinhas à Unidade de Mineração e Atividade de Urânio, situada na Província Uranífera de Lagoa Real, município de Caetité, sudoeste do Estado da Bahia. Para tanto, é necessário realizar amostragens em áreas diversas, como em regiões urbanas e áreas naturais, de modo a avaliar sua distribuição geográfica.

Além do uso na medicina, teve um aumento nas indústrias, levando a um crescimento na exposição humana a radionuclídeos, por vezes sem conhecimento dos seus riscos. Por exemplo, em trabalho de (LIU et al., 2021), destaca-se a mineração de urânio na China, no início da década de 1960, os reservatórios de rejeitos contêm rochas e resíduos, sendo fontes potenciais de contaminação radioativa a longo prazo. Outras práticas industriais, como a mineração, produção de fertilizantes fosfatados, processamento de minerais, seu transporte e descarte de resíduos industriais contendo radionuclídeos, podem contribuir com aumento das concentrações no solo (ENE et al., 2023).

Os radionuclídeos podem ser definidos em duas categorias principais: naturais e artificiais. Os radionuclídeos naturais, como ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , são encontrados naturalmente na crosta terrestre e contribuem para a radioatividade no ambiente (VENUNATHAN; KALIPRASAD; NARAYANA, 2016). Enquanto os radionuclídeos artificiais são originados por ações humanas, como testes nucleares, acidentes nucleares e operações industriais envolvendo materiais radioativos (CHANDRA et al., 2023; EL-ALFY; EISSA; ABD EL-HAMID, 2023).

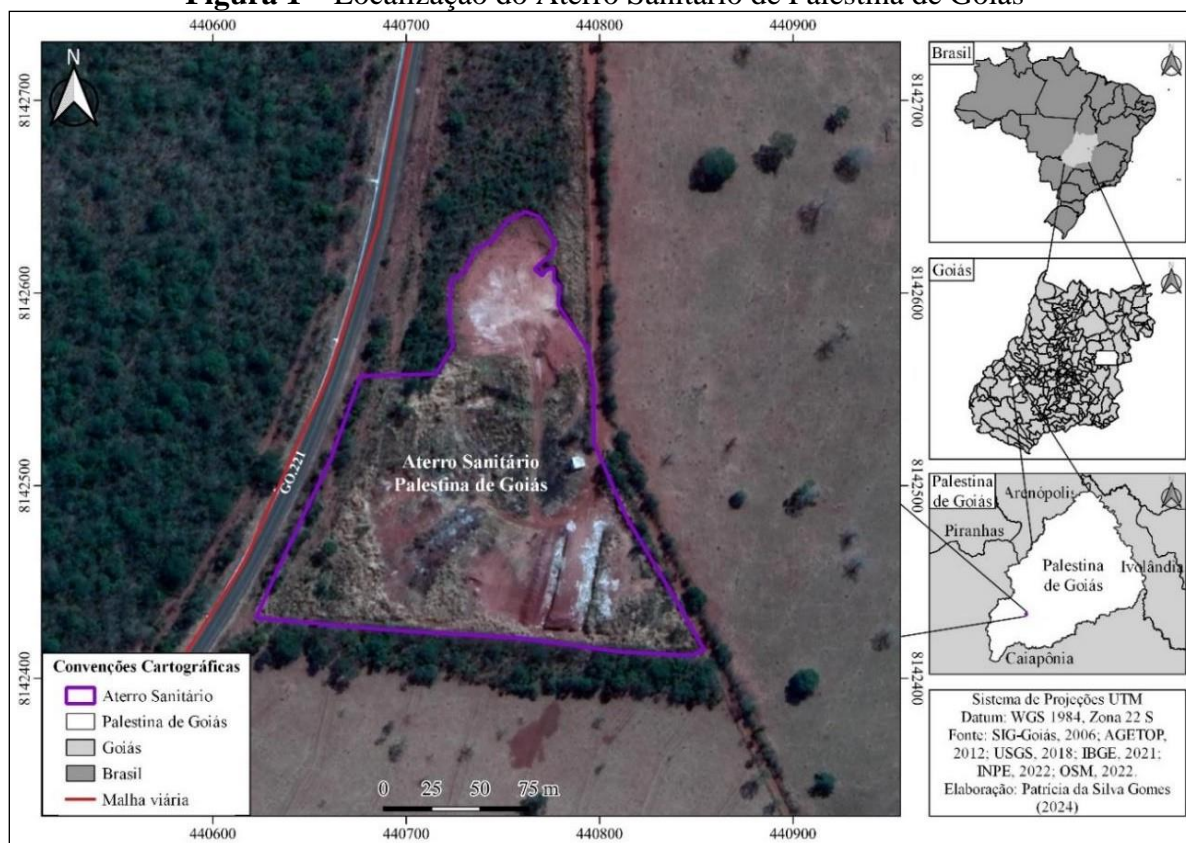
Em solos, a presença de radionuclídeos pode proceder de vários processos, como intemperismo e a erosão de rochas contendo minerais radioativos, partículas radioativas da deposição atmosférica e a descarga de efluentes radioativos em corpos d'água (OLADELE; UGBEDE; AROGUNJO, 2023).

Assim, o presente trabalho justifica-se devido à importância de apresentar resultados que possibilitem entender a geoquímica dos radionuclídeos na região, que exerce importantes desempenhos na produção acadêmica atual, sendo um dado importante e que pode contribuir no futuro, por não haver valores de referência para radionuclídeos no Brasil, sendo utilizado a média mundial estabelecida pela United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Diante do exposto, o objetivo é analisar as concentrações dos radionuclídeos $^{238}\text{Urânio}$, $^{232}\text{Tório}$ e $^{40}\text{Potássio}$ no solo através da gamaespectrometria na área do aterro de Palestina de Goiás.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo se situa no Aterro Sanitário de Palestina de Goiás, região Sudoeste do Estado de Goiás, entre as coordenadas de longitude 440600, 440900 Leste e latitude 8142400, 8142700 sul (Figura 1). As leituras dos radionuclídeos foram realizadas in situ, em trabalhos de campo no mês 09/2022. Segundo o censo do IBGE de 2022, o município tem uma população de 3.132 habitantes e uma área de 1.318,047 km², a cidade é conhecida por sua tranquilidade e hospitalidade. A economia local é baseada principalmente na agropecuária, com destaque para a produção de grãos e a pecuária.

Figura 1 – Localização do Aterro Sanitário de Palestina de Goiás



Fonte: GOMES, P. S. (2024).

Neste trabalho foi utilizado o gamaespectrômetro modelo Portátil PGIS-2- NUVIA Dynamics Inc. (Figura 2A), do Laboratório de Geociências Aplicadas da Universidade Federal de Jataí. Este é um método bastante utilizado para a leitura das concentrações dos radionuclídeos, sendo um aparelho móvel e de campo, pode ser transportado à mão ou usado com uma mochila (Figura 2B).

Figura 2 - Espectrômetro Gama Portátil



Fonte: GOMES, P. S. (2023)

A gamaespectrometria é muito usada no mapeamento geológico e prospecção mineral de radioelementos, os resultados das medições são expressos em % para o ^{40}K potássio, enquanto o ^{238}U (urânio equivalente) e ^{232}Th (tório equivalente) obtém os teores em ppm, com as leituras feitas em campo (MACÊDO FILHO et al., 2021). As leituras dos radionuclídeos foram realizadas in situ, obtendo os dados de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . O PGIS-2 foi sincronizado com um celular específico do aparelho que possui a imagem da área objeto da pesquisa.

No entanto, antes de ir a campo, alguns procedimentos e preparações foram realizados, a fim de garantir georreferenciamento da imagem do local de estudo e de se realizar a medição dos radionuclídeos no aterro de Palestina de Goiás (Figura 3A). A imagem para georreferenciamento é obtida por meio do programa do Google Earth para localização e delimitação da área do aterro a ser analisada, nesse local foi percorrido com o gamaespectrômetro para as medições das concentrações do ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . Após georreferenciar no software MAPConvert, a imagem é transferida para o celular Android via cabo USB. Desse modo, a imagem já calibrada é inserida na pasta PEI nos arquivos do celular. Realizado estes procedimentos, basta conectar o aparelho PGIS-2 com o celular PEI_CORE. A imagem estará pronta para ser carregada e utilizada para aquisição dos dados (Figura 3B).

Figura 3 – Área do Aterro de Sanitário de Palestina de Goiás



Fonte: GOMES, P. S. (2022); Google Earth (2022).

Após a leitura dos valores de radionuclídeos, os dados foram salvos e exportados em KML. Com o software DATAView do aparelho PGIS-2, são selecionadas as variáveis ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K , onde foram exportadas no formato TXT e enviadas para o Excel. Os dados foram organizados em colunas e empregues. O equipamento PGIS-2 faz as leituras na unidade de partes por milhão (ppm) e (%), comparando os resultados com as concentrações dos radionuclídeos da literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

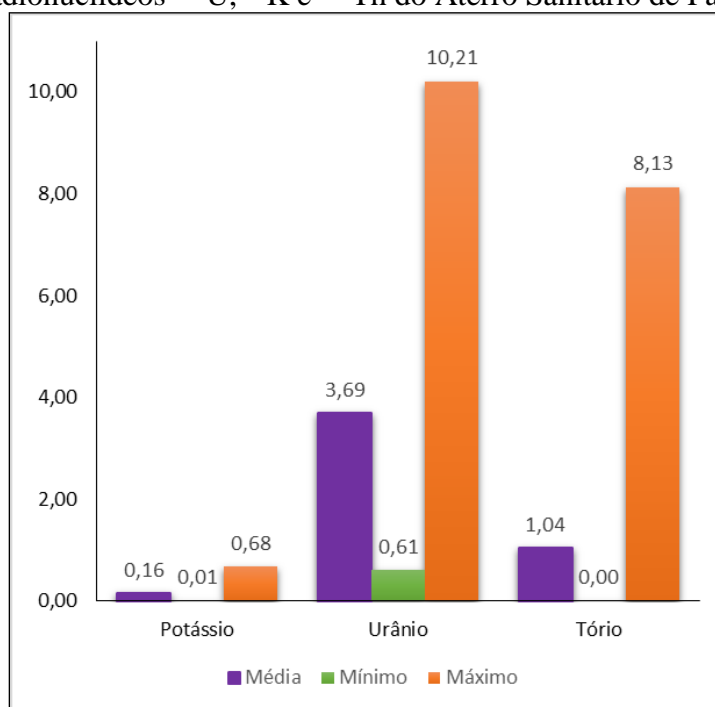
As concentrações dos radionuclídeos obtidas no aterro de Palestina de Goiás podem ser vistas na figura 4, que expõe os valores obtidos no local do aterro onde despejam o lixo. Os dados coletados foram expressos em ^{238}U ppm, ^{40}K % e ^{232}Th ppm.

Com base nos resultados obtidos o potássio e tório estão exibindo concentrações abaixo das médias indicada pela literatura, o potássio no aterro teve uma concentração média de 0,16%, na literatura aparece entre 2 e 2,5%. Quanto ao Tório o valor médio foi de 1,04ppm, sendo a variação média de 8 e 12 ppm, enquanto o urânio apresenta valores um pouco acima da média com 3,69ppm (Figura 4), na literatura o urânio na crosta terrestre fica entre 2 e 3 ppm (DICKSON; SCOTT, 1997; GODOY et al., 2010).

O aterro está sob a Formação Serra Geral e sob os Latossolos Vermelho conforme dados dos shapefiles disponível no site do IBGE. Conforme Dickson e Scott (1997) rochas intermediárias e básicas mostram pouca mudança nas concentrações de radioelementos durante o intemperismo inicial, mas a pedogênese pode resultar em solos com 2-3 vezes o teor de ^{238}U e ^{232}Th da rocha-mãe. O local é rico em matéria orgânica por ser área de aterro, em alguns estudos destaca a entrada de ^{238}U em lagos por meio da eliminação da matéria orgânica sendo levada por erosão do solo; bem como que o ^{238}U ocorre como complexos adsorvidos em matéria orgânica (Bone et al., 2019; Lefebvre et al., 2022), podendo explicar esse acúmulo de

urânio no local de pesquisa.

Figura 4 – Radionuclídeos ^{238}U , ^{40}K e ^{232}Th do Aterro Sanitário de Palestina de Goiás



Fonte: Dados de campo (2022), Organização: GOMES, P. S. (2024).

O ^{40}K potássio em pesquisa de Godoy et al., 2010, apresenta que os maiores teores deste elemento estão localizados principalmente em meias encostas e em fundos de vale, sugerindo que o mesmo, por ser muito reativo, é intensamente lixiviado do manto de intemperismo que capeia os topos de morros. Por ser mais encontrada nestes compartimentos geomorfológicos pode explicar as baixas concentrações de ^{40}K , assim, como o material geológico que pode não conter este elemento com abundância.

A presença de $^{232}\text{Tório}$ na área do aterro com média de 1,04ppm também está abaixo do encontrado na literatura. O ^{232}Th compete ao grupo dos radionuclídeos naturais pesados. Este elemento possui concentrações baixas na maioria das rochas e solos. Como o urânio, o tório pode encontrar-se presente no solo em diversas formas químicas, dependendo dos fatores pH e teor de matéria orgânica no solo (FESENKO e EMLUTINA, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do gamaespectrômetro mostrou-se eficaz na agilidade e eficácia na coleta dos dados.

Dos radionuclídeos analisados a maior concentração foi para o ^{238}U , mas os valores

detectados apesar de estarem próximo das médias observadas na literatura, não indica a presença de contaminação, porém, é uma área antrópica de aterro, recomendando o constante monitoramento do local devido o contínuo descarte de lixo no solo do aterro.

As concentrações de ^{40}K e ^{232}Th apresentaram concentrações que estão abaixo da média estabelecida para solos, conforme a literatura e a média mundial que indica entre 2 e 2,5% para ^{40}K e entre 8 e 12ppm para ^{232}Th .

Os resultados adquiridos fornecem dados da concentração de radionuclídeos no solo da área estudada que são escassos. Ponderando os possíveis riscos, devem ser realizados mais estudos além do solo, avaliando os potenciais riscos à população, associados à presença de radionuclídeos. Ressaltando que há poucas pesquisas sobre os radionuclídeos em solos no Brasil, os dados obtidos fornecem informações que serão disponibilizadas à sociedade.

Palavras-chave: Gamaespectrometria; Solos, Aterro, Radionuclídeos.

REFERÊNCIAS

- BONE, Sharon E. et al. Complexation by organic matter controls uranium mobility in anoxic sediments. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 3, p. 1493-1502, 2019.
- CARDOSO, G. V. et al. Geoquímica de radionuclídeos naturais em solos de áreas circunvizinhas a uma Unidade de Mineração e Atividade de Urânio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1909–1917, 2009.
- CHANDRA, K. et al. A review on radionuclide pollution in global soils with environmental and health hazards evaluation. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, n. 12, p. 9245–9266, 2023.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187–200, 1997.
- EL-ALFY, M. A.; EISSA, H. S.; ABD EL-HAMID, H. T. Environmental and Human Risk Assessment of Radioactive Pollution in Sediments of Northern Nile Delta, Egypt. **Soiland Sediment Contamination: An International Journal**, v. 32, n. 7, p. 893–909, 3 out. 2023.
- ENE, A. et al. Gamma spectrometry analysis of natural and man-made radioactivity and assessment of radiological risk in Soils around steel industry. **Romanian Journal of Physics**, v. 68, n. 803, p. 1–11, 2023.
- FESENKO, S.V., EMLUTINA, E.S. Thorium Concentrations in the Environment: A Review of the Global Data. *Biol Bull Russ Acad Sci* **48**, 2086–2097 (2021).
<https://doi.org/10.1134/S1062359021110030>.
- GODOY, L. C. et al. Comportamento dos radionuclídeos potássio, urânio e tório em relação à granulação dos depósitos cenozóicos que capeiam o granito Serra do Carambeí - Pr. **Terra Plural**, v. 4, n. 1, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CIDADES E ESTADOS DO BRASIL**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

LEFEBVRE, Pierre et al. Uranium sorption to organic matter and long-term accumulation in a pristine alpine wetland. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 338, p. 322-346, 2022.

LIU, Y. et al. Determination of radionuclide concentration and radiological hazard in soil and water near the uranium tailings reservoir in China. **Environmental Pollutants and Bioavailability**, v. 33, n. 1, p. 174-183, 1 jan. 2021.

MACÊDO FILHO, H. F. DE et al. ASSINATURAS RADIOATIVAS NA SEDIMENTAÇÃO DA PORÇÃO CONTINENTAL DA BACIA DE CAMPOS - RJ. In: **Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. p. 13-21.

MENDONÇA, B. A. F. DE et al. Mapping vegetation on ferruginous substrates using ASTER and gamma-spectrometry images in the Iron Quadrangle, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 43, n. 4, 2019.

OLADELE, B. B.; UGBEDE, F. O.; AROGUNJO, A. M. Study of activity concentrations of ⁴⁰K, ²³⁸U and ²³²Th for assessment of radiation dose in agricultural soils of southwestern Nigeria. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 33, n. 12, p. 1640-1651, 2023.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Estudo sobre os teores de Tório, Urânio e Potássio nas águas superficiais e sedimento marginal do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 371-380, 2017.

ROSA, P. L. T.; HARTMANN, G. A.; LIMA, B. F. B. Mapeamento geológico-geofísico da região de Mococa, Bacia Sedimentar do Paraná, estado de São Paulo. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n. 3, p. 41-58, 2021.

SANTOS, A. C. L. DOS; MENEZES, P. DE T. L.; NASCIMENTO, C. T. C. DO. Gamaespectrometria aplicada em solo agrícola no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 2, p. 181-194, 2008.

SOUZA, F. **Determinação das concentrações de atividade de ²³⁴U e ²³⁸U em águas subterrâneas de três poços perfurados em rochas da Suíte Intrusiva de Itu(SP)**. Dissertação—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

TOPAN, J. G. O. et al. Geological and Geophysics Description of Igneous Bodies from the Edge of Olinda Sub-Basin, Paraíba Basin, NE Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 639-657, 2018.

UNEP. **Radiação: efeitos e fontes, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. Brasil: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2016.

UNSCEAR. **Sources and effects of ionizing radiation**. New York: UNITED NATIONS, 2000. v. 1.

VENUNATHAN, N.; KALIPRASAD, C. S.; NARAYANA, Y. Natural radioactivity in sediments and river bank soil of kallada river of Kerala, south India and associated radiological risk. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 171, n. 2, p. 271-276, 2016.

XAVIER, A. M. et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, 2007.