



TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA

CONTENT OF THE RADIO ELEMENTS POTASSIUM, URANIUM, THORIUM AND THE EVALUATION OF THE ANNUAL RADIATION DOSE OF CARBONATITE FROM LONGONJO – HUAMBO - SW OF ANGOLA

CONTENIDO DE LOS ELEMENTOS RADIOELÉCTRICOS POTASIO, URANIO, TORIO Y LA EVALUACIÓN DE LA DOSIS ANUAL DE RADIACIÓN DE CARBONATITA DE LONGONJO – HUAMBO - SO DE ANGOLA

Domingos Cordeiro¹, José Manuel Muambongue², Hector Manuel Fernández Núñez³, Pedro Claude Nsungani⁴

e493954

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i9.3954>

PUBLICADO: 09/2023

RESUMO

As medições da radioatividade gama espectrométrica no carbonatito de Longonjo foram feitas a pé e visaram a obtenção dos teores de concentrações dos radioelementos de K, eU e eTh, a partir de afloramento e solos. Com objetivo de avaliar a distribuição espacial de três radioelementos naturais e calcular a dose anual da radiação no ambiente envolvente a área de estudo que atravessa a interface carbonatito / solo – ar. Os mapas gerados de K (%), eTh (ppm), eU (ppm) e, o modelo de elevação de terreno possibilitaram a entender o comportamento e as direções de mobilidade dos radioelementos. As concentrações do ⁴⁰K atingiram o valor máximo de 12,40%, média de 3,27 % e apresenta elevado coeficiente de dispersão (Cd = 76,69 %). Para o eU (ppm) os valores de teores variam entre 34,12 ppm a 88,31 ppm, média de 18,48 ppm, seis vezes superior à abundância média da crosta terrestre que oscila entre 2 e 3 ppm. A distribuição é irregular, cuja o coeficiente de dispersão (Cd = 96,35%). O eTh é o radioelemento mais abundante, com o valor máximo de 4170,00 ppm, média 626,37 ppm, apresenta valores bastante elevados em relação a abundância de tório na crosta terrestre que varia entre 8 ppm a 12 ppm, apresenta a distribuição muito irregular (Cd = 122,41%). Os valores calculados da dose anual de radiação (DAR) são relativamente altos, variam entre 327,91 e 72145,84 µSv/ano e a média é de 11391,92 µSv/ano, representando risco aos elementos da biota incluindo as populações locais.

PALAVRAS-CHAVE: Radiatividade. Carbonatito. Longonjo.

ABSTRACT

The measurements of gamma spectrometric radioactivity in the carbonatite of Longonjo were carried out on foot and aimed to obtain the concentration levels of the radioelements of K, eU and eTh, from outcrops and soils in the study area. Subsequently, were generated the maps of K (%), eTh (ppm), eU (ppm) and the terrain elevation model, which made it possible to understand the behavior and directions of mobility of radio elements. The ⁴⁰K concentrations reached a maximum value of 12.40%, an average of 3.27% and a high dispersion coefficient (Cd = 76.69%). For the eU (ppm) the values range from 34.12 ppm to 88.31 ppm, with an average of 18.48 ppm, six times higher than the average abundance of the earth's crust, which ranges from 2 to 3 ppm. The distribution is irregular, with the dispersion coefficient (Cd = 96.35%). eTh is the most abundant radioelement in the carbonatite of Longonjo its maximum value is 4170.00 ppm, the average is 626.37ppm it presents very high values in relation to the abundance of thorium in the Earth's crust, which varies between 8 ppm and 12 pmm shows a very irregular distribution (Cd = 122.41ppm). For the calculated values of the annual radiation dose (DAR) the range variety from 327.91 to 72145.84 µSv/year and the calculated average is

¹ Doutorando do curso de Geologia, na especialidade de Recursos Minerais Sólidos, Universidade Agostinho Neto. Investigador do Instituto Geológico de Angola.

² Doutor em Ciências Geológicas. Professor Associado da faculdade de Ciências da terra, Universidade Agostinho Neto.

³ Doutor em Ciências Técnicas. Professor titular de la Universidad Tecnológica de la Habana – José Antonio Echeverría, CUJAE.

⁴ Doutor em Geologia. Professor Associado da faculdade de Ciências da terra, Universidade Agostinho Neto.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

11391.92 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ and is relatively high and may cause risks to local populations and other elements that constitute the biote.

KEYWORDS: *Radiactivity. Carbonatite. Longonjo.*

RESUMEN

Las medidas de la radiactividad espectrométrica gamma en la carbonatita de Longonjo se realizaron a pie y encaminadas a obtener las concentraciones de K, eU y eTh, a partir de afloramientos y suelos, el objetivo de evaluar la distribución espacial de tres radioelementos naturales y calcular la dosis anual de radiación en el área de estudio que atraviesa la interfase carbonatita/suelo - aire. Los mapas generados de K (%), eTh (ppm), eU (ppm) y el modelo de elevación del terreno permitieron comprender el comportamiento y las direcciones de movilidad de los radioelementos. Las concentraciones de 40K alcanzaron valor máximo 12,40 %, un promedio de 3,27 % y mostraron un alto coeficiente de dispersión ($Cd = 76,69$ %). Para eU (ppm) los valores de contenidos varían entre 34,12 ppm a 88,31 ppm, una media de 18,48 ppm, seis veces superior a la abundancia media de la corteza terrestre, que oscila entre 2 y 3 ppm. La distribución es irregular con el coeficiente de dispersión ($Cd = 96,35$ %). eTh es el radioelemento más abundante, con valor máximo de 4170.00 ppm, promedio de 626.37 ppm, presenta valores altos en relación a la abundancia de torio en la corteza terrestre, que varía entre 8 ppm y 12 ppm, presenta una distribución irregular ($Cd = 122,41$ %). Los valores calculados de la dosis anual de radiación (ARD) son relativamente altos, oscilando entre 327,91 y 72145,84 $\mu\text{Sv}/\text{año}$ y el promedio es de 11391,92 $\mu\text{Sv}/\text{año}$, representa un riesgo para los elementos biot, incluidas las poblaciones locales.

PALABRAS CLAVE: *Radiactividad. Carbonatita. Longonjo.*

INTRODUÇÃO

O défice do conhecimento do nível radioativo do carbonatito de *Longonjo* despertou a necessidade de conhecer os teores dos radioelementos de K, eU, eTh, bem como mapear a distribuição espacial de cada um dos elementos e o cálculo da dose anual da radiação (DAR) da área anómala do carbonatito de *Longonjo*, esta razão que, levou ao estudo destes três (3) radioelementos que possuem isótopos radioativos naturais capazes de produzir um campo de radiação gama que atravessa a interface carbonatito / solo – ar, que chega a expor os transientes e outros elementos da biota da referida área susceptíveis aos efeitos danosos da radiação ionizante.

A zona do afloramento do carbonatito (monte *Tchimbilundo*) é contigua ao depósito secundário do mesmo que o circunda e, dista a três (3) quilómetros da vila de *Longonjo* que é afetada pelas águas meteóricas que percolam a superfície e as poeiras vindas do *Tchimbilundo* à vila, o que aumenta o risco de exposição a contaminação da referida população. Recorreu-se ao cálculo da dose anual de radiação (DAR) que a população local está exposta, em que o *Sievert* (Sv) é a unidade para avaliação do impacto da radiação ionizante sobre os seres humanos, cuja unidade no sistema internacional o *Joule* por quilograma (J/kg) segundo (Grasty, 1984).

Os objetivos deste trabalho científico residem em avaliar a distribuição espacial da radiação natural dos três (3) radioelementos K (%), eU (ppm) e Th (ppm) do carbonatito de *Longonjo* com recurso a radioatividade terrestre e calcular a dose anual da radiação no ambiente envolvente a área de estudo que atravessa a interface carbonatito / solo – ar capaz de perigiar a vida humana e outros seres vivos na área de estudo.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

A presença de pequenas dimensões centimétricas de granitos, argilas oriundas da alteração de brecha feldspáticas carbonatítica, fenitos e também em pequenos veios de quartzo justifica a existência dos elementos radioativos K, eU e eTh no monte *Tchimbilundo*, o urânio e o tório são absorvidos em argilas coloidais e óxidos de ferro, durante o processo de intemperismo os minerais que apresentam maiores teores de Th são estáveis e podem acumular-se nos depósitos de minerais pesados, o tório livre devido à quebra do mineral durante o intemperismo, pode ser retido nos óxidos-hidróxidos de Fe e Ti ou em argilitos. Segundo (Le Maitre, 2002), um carbonatito é definido como uma rocha composta por mais de 50% de carbonato modal primário (isto é, magmático) com menos de 20% de SiO₂ e as principais características geoquímicas dos carbonatitos são as altas abundâncias em estrôncio (Sr), bário (Ba), fósforo (P) e elementos de terras raras (ETR).

A descoberta do fenómeno da radioatividade por (Becquerel, 1896), e a aplicabilidade em prospecção ficou comprovada apenas no fim da década 30, e nos anos de 1945 a 1957 registou-se uma popularidade crescente entre os cientistas da época, pouco tempo depois entrou em declínio. A prospecção radiométrica atinge o auge na década de 60, provocada pela demanda de urânio para os reatores atômicos, seguindo-se outras aplicações da radioatividade na medicina e na agricultura.

REFERENCIAL TEÓRICO

A radioatividade é definida como a capacidade que alguns elementos químicos que são fisicamente instáveis emitirem energia sob forma de partículas ou radiação eletromagnética, possuindo uma constante e lenta desintegração. Tais isótopos libertam energia através de ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas em alta velocidade, que é designada por radiação. A radioatividade natural ou espontânea é a que se manifesta nos elementos radioativos e nos isótopos que se encontram na natureza, ao contrário da radioatividade artificial ou induzida que é aquela produzida por transformações nucleares artificiais.

Segundo (UNSCEAR, 2000), (ATSDR, 1999), (IAEA, 2003), relatam que os radionuclídeos como das séries de ²³⁸U e ²³²Th são os que principalmente originam a desintegração radioativa e, seguindo-se o ⁴⁰K.

Poucos trabalhos foram efetuados na região em estudo de índole radioativo, há escassa bibliografia acessível, nomeadamente:

Segundo J.M.C., (1953), os minerais radioativos K, eTh e eU estão associados a pegmatito quartzo – feldspáticos, na estrada de Lucala a Quizenga, as medidas feitas sobre rochas eruptivas, xisto metamórfico do complexo de base e grés vermelho.

Na notícia sobre as ocorrências de minerais radioativos na localidade de elege num filão de quartzo, identificaram se tório (K) e urânio (eTh), segundo, (J.M.C., 1953), o detector do tipo Baldwin revelou radioatividade superior à normal.

Segundo Afonso (1972), na prospecção radiométrica entre o contato do complexo gnaiss-migmatítico-granítico e os porfíroides do centro do país não foram encontradas quaisquer anomalias



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

radioativas em que foi utilizado o cintilómetro portátil, marca ratemeter, Scintillation Gamme, Type 1597 A, série 363.

Os resultados do levantamento aerogeofísico radiométrico realizados recentemente no âmbito do plano nacional de geologia apresentam anomalias de K, eTh e eU, correlacionáveis com a geologia (Araujo, 1992). Segundo (Cordeiro, 2021), os granitos leucocráticos, granitos biotíticos porfiroblásticos e sienitos nefelínicos, portanto, rochas ígneas ácidas às intermediárias são favoráveis para a localização de anomalias de potássio. Assinalam-se em carbonatitos, sienitos e granitóides e argilas coloidais e óxidos de ferro anomalias de eU e eTh (Ribeiro, 2013).

LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

Situa-se a sul do quadrante SW da carta 1:250 000 da Folha D33/D – Huambo, a 55 km WSW da cidade do Huambo (via asfaltada que liga o Huambo a Benguela), e a 3 km a SW da sede do Município do *Longonjo* (picada em moderado estado de preservação). O acesso foi um dos aspectos ou requisitos que ditou a seleção desta área entre as outras anomalias radiométricas interpretadas inicialmente a partir dos dados da aerogamaespetrometria (Cordeiro, 2021), a figura nº1 ilustra a localização da anomalia do carbonatito de *Longonjo*.

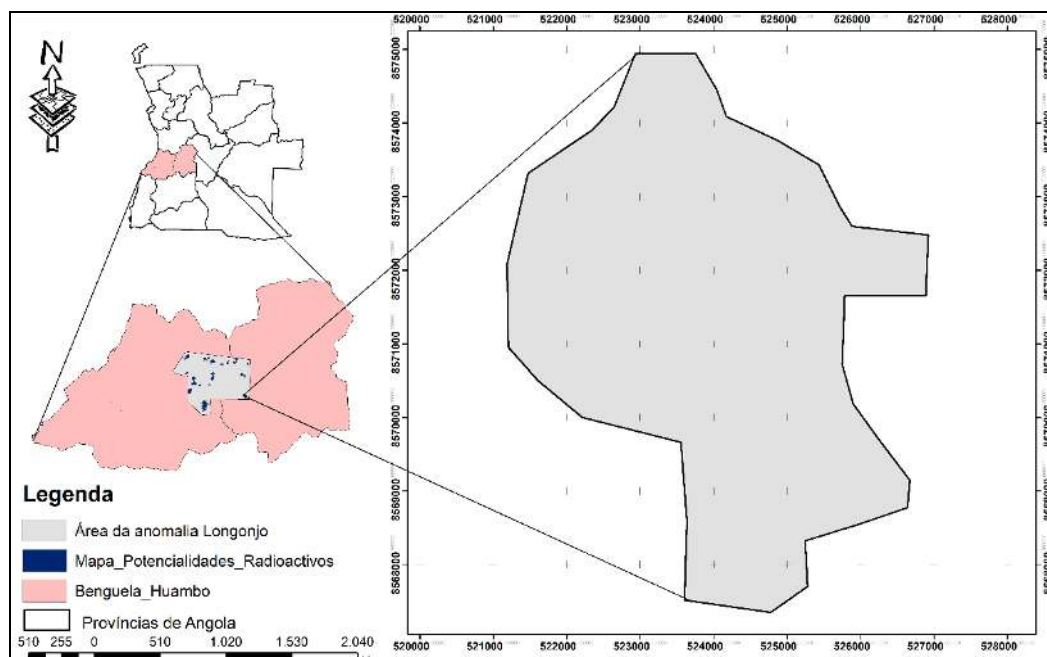


Figura 1 – Localização da anomalia radiométrica do carbonatito de *Longonjo*. **Fonte:** Elaborado pelos autores com dados de pesquisa do Planageo

GOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DA ÁREA

Aspectos Geomorfológicos

Na área de estudo é identificado uma grande unidade geomorfológica, conhecida por Cadeia Marginal de montanhas, incide-se com maior predominância na parte norte e leste da área de estudo



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

(Marques, 1977), caracterizada por relevo de desníveis bastante acentuado, como resultado da movimentação da flexura do flanco atlântico, nela pode-se observar cotas maiores de aproximadamente 2620 metros de altitudes, referir que esta unidade localiza-se em zona instável desde a Gabela, estende-se ao Oeste do Huambo até a Nordeste de Lubango. Ainda segundo Marques, (1977) a geomorfologia de Angola está resumida em apenas sete (7) unidades (I - Planalto Antigo, II – Cadeia Marginal de Montanhas, III – Zona de transição, IV – Orla meridional da Bacia do Congo, V – Orla Setentrional da Bacia do Calahari, VI – Bacia do Zambeze e por último a VII - Orla Litoral.

Neste estudo foi usada a figura nº2, gerada a partir dos dados de altitude colhidos durante os trabalhos de campo na anomalia do carbonatito de *Longonjo*, que auxiliou na compreensão do relevo local. As rochas carbonatíticas do *Longonjo* formam o monte *Tchimbilundo* que atinge os 1.752 metros de altura e que sobressai de uma pene planície de 1.450 metros de altitude média. Este complexo carbonatítico corresponde a uma estrutura intrusiva em granitos paleoproterozóicos, com morfologia alongada em arco na direção NW com 4,5 km por 2 Km, com uma rede hidrográfica anelar-centrifuga, e consiste num grande *inselberg* que se destaca numa zona de peneplanície, é constituído por uma diversidade litológica constituída por carbonatitos (zona central), brechas carbonatíticas (periferia do complexo) e depósitos de vertente (espessos mantos em torno do *Plug* central).

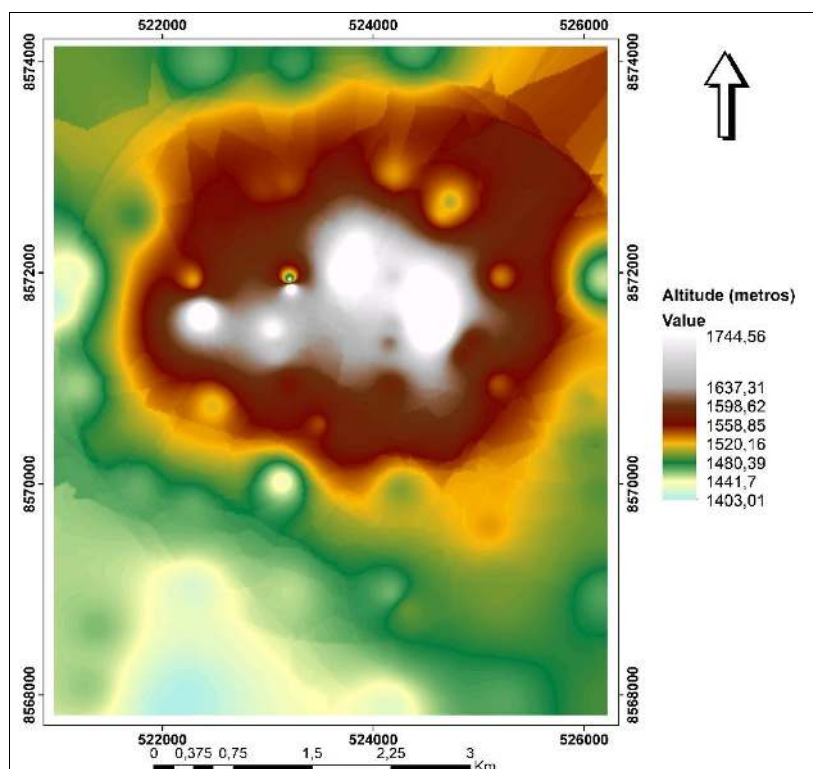


Figura 2 – Ilustra o modelo de elevação digital do terreno a partir das cotas adquiridas durante o levantamento no campo com o Radiómetro RS 230, *BGO-SUPER – SPEC*

Fonte: Dados de pesquisa dos autores



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

ASPECTOS PRINCIPAIS LITOLÓGICOS

O complexo carbonatítico do *Longonjo* é constituído por uma diversidade litológica: por carbonatitos (zona central), brechas carbonatíticas (periferia do complexo) e depósitos de vertente (espessos mantos em torno do *Plug* central), cuja descrição litológica segue-se abaixo:

Depósitos de vertente e aluvionais

Em redor da intrusão alcalino-carbonatítica do *Longonjo* observam-se extensos e espessos depósitos de vertente com fortes evidências de pedogénese. Aí observa-se um regolito ferralítico de tonalidade fortemente alaranjada a avermelhada e com teor argiloso significativo. No meio destes depósitos encontram-se, igualmente, laterites espessas em métricas com hidróxidos de ferro (goethite, limonite e hematite) em crescimentos concêntricos. Os afloramentos de rochas do complexo são rodeados por depósitos de vertente, que são o produto da desagregação e alteração das rochas da estrutura principal, possuem tamanhos diferentes influenciados pelos diferentes graus de inclinação da superfície nas diferentes áreas da estrutura, resultando na tendência dos materiais mais grosseiros nas áreas mais inclinadas e materiais mais finos nas áreas mais suaves (Loureiro, 1995).

Brechas carbonatíticas

As brechas encontram-se em pequenos afloramentos a NW do monte *Tchimbilundo* e apresentam tonalidades alaranjadas com zonas cinzentas azuladas. Observam-se fragmentos líticos de dimensões centimétricas de granitos, granitóides e possíveis fenitos, com formas subangulosas a angulosas. O cimento é silicioso e carbonatado. Denotam-se também diversos clastos ovalados de lapilli (Loureiro, 1995).

Rochas feldspáticas-carbonatíticas e carbonatitos

A zona de afloramentos (brechas feldspático-carbonatíticas e carbonatitos com frequência muito silicificados e em parte substituído por hematite) é subcircular, com um diâmetro de cerca de 3km, mas a área ocupada pela estrutura tem aproximadamente 6 km de diâmetro. Segundo o seu ambiente de formação, o maciço é classificado como sub vulcânico. As rochas carbonatíticas intrudem nas rochas de complexo granito-gnáissico do Pré-câmbrico Angolano (Arcaico). O núcleo da estrutura contém ferrocronatito que estão rodeados pelo corpo principal de calciocronatito; parte deste ferrocronatito foi substituído por hematite (Loureiro, 1995). estas rochas foram intensamente afetadas pelos processos hidrotermais e sub sólidos, uma vez que veios de quartzo foram observados nos carbonatitos, que em alguns casos aparecem orientados, bem como a substituições dos carbonatos originais por quartzo, dolomite e ankerite. Esses minerais também foram identificados nos veios que se formaram posteriormente aos carbonatito.

Resume-se geologicamente, que o maciço é constituído por: carbonatitos, brecha feldspático-carbonatíticas, depósitos de vertentes e aluviões, as brechas poligénicas são difíceis de interpretar,

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

pois são brechas de composições múltiplas. Estão representadas por poucos afloramentos de pequenas dimensões.

Alguns clastos são de rochas carbonatíticas e outros são mono minerais, formados principalmente por feldspatos (geralmente microclina) e todos cimentados por uma matriz muito fina (Loureiro, 1973).

Rochas silicificadas

Afloram na zona central do complexo, em particular no monte *Tchimbilundo*, apresentam-se sempre muito alterados e com conteúdo carbonatado essencialmente calcítico. A SW do monte *Tchimbilundo* observam-se fortes estruturas de fluxo magmático nos carbonatitos. Estas rochas são compactas e apresentam tonalidades acastanhadas a levemente esbranquiçadas. A granularidade é essencialmente fina a média, sendo que por vezes a calcita encontra-se muito desenvolvida formando cristais centimétricos e denotam-se zonas algo silicificadas.

Em termos de mineralogia principal observa-se calcita, óxidos (escassa magnetite) e hidróxidos de ferro (goethite, hematite e limonite) e como mineralogia acessória encontra-se quartzo, agregados finos de carbonatos (dolomite e/ou ankerite) e, possivelmente, barita. Observam-se agregados friáveis de tonalidades esbranquiçadas e alaranjadas intensamente alterados que poderão corresponder a fosfatos e flúor-carbonatos de terras raras.

Alguns clastos são de rochas carbonatíticas e outros são monos minerais, formados principalmente por feldspatos (geralmente microclina) e todos cimentados por uma matriz muito fina. Os carbonatitos aparecem fortemente alterados, afetados por processos hidrotermais e exógenos, causando silicificações acompanhadas de dolomitização ou ankeritização. Minerais produzidos durante esta etapa, como silicatos e fosfatos de terras raras, também foram observados. Às vezes, a barita é abundante, principalmente em rochas afetadas por processos hidrotermais (Loureiro, 1995).

A maioria dos carbonatos primários e hidrotermais é afetada por processos exógenos, onde há uma substituição dos carbonatos pela goethite e pelos minerais membros do grupo holandita (Loureiro, 1995), a figura 3 ilustra o mapa geológico do carbonatito do *Longonjo*.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

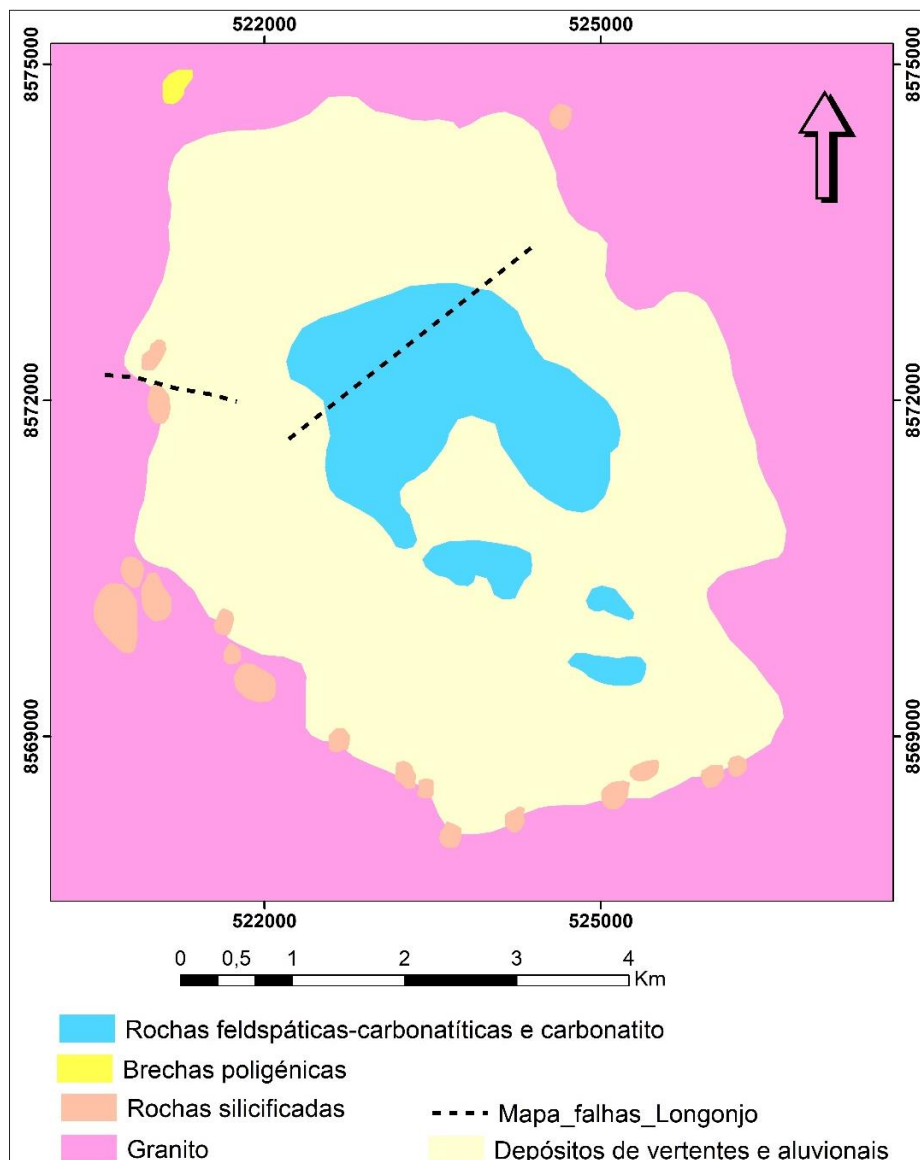


Figura 3, Mapa geológico do carbonatito do *Longonjo* modificado
Fonte: (LOUREIRO,1973)

Minerais metálicos

Os solos na área anómala são enriquecidos em terras raras e tório, mas são pobres em Nióbio. Com análise da fluorescência de raios-X foram detectados Ce, Ba, La, Nb, Sr, Y, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Ca, Th, Ti, U e Mo (Loureiro, 1995). O grande valor económico que o carbonatito de Longonjo representa foi anteriormente alvo de estudos, (Loureiro, 1967), muito recentemente uma empresa Australiana *Ozango* Minerais S.A mantém estudos de prospecção com o objetivo de exploração de minerais como praseodímio (Pd) e neodímio (Nd).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos preconizados, este trabalho técnico científico possui um desenvolvimento sequencial, que começou com a seleção de uma das anomalias radiométrica interpretada a partir do projeto do Plano Nacional de Geologia (PLANAGEO), dados cedidos pelo Instituto Geológico de Angola (Cordeiro, 2021), identificada como carbonatito de Longonjo após a sobreposição com o mapa geológico à escala 1:1000.000 (Loureiro, 1995). Foram necessárias a recolha e a pesquisa bibliográfica relacionada com a temática da radioatividade natural dos elementos radioativos de K, eU e eTh, com ênfase das rochas ígneas e sedimentares, auxiliou na definição dos métodos e técnicas para a realização da pesquisa de campo e tratamento dos dados radiométricos.

Utilizou-se o Radiómetro RS 230, *BGO-SUPER – SPEC* portátil, fabricado por Canadenses *RADIATION SOLUTIONS INC.*, cedido pelo grupo de pesquisadores da *SSASCAL-Angola*, que auxiliou na obtenção dos dados gama espectrométricos terrestres medidos *in situ*, no total foram setenta e uma (71) estações utilizadas como pontos de medições e de recolha de amostras numa malha irregular devido ao condicionalismo da geomorfologia do monte e arredores de *Tchimbilundo* figura nº2 – ilustra o modelo de elevação digital do terreno do carbonatito de *Longonjo*.

O método de interpolação usado para o tratamento foi a *krigagem* ordinária e a sua distribuição dos pontos, tendo-se ajustado um modelo esférico ao variograma experimental, anisótropo. Foram gerados mapas de K (%), eTh (ppm), eU (ppm) e o modelo de elevação de terreno que revela a geomorfologia mais próximo do real, ajudando a compreender as direções de mobilidade dos radioelementos ao longo da anomalia radiométrica de *Longonjo* e conhecer a forma como estão distribuídos espacialmente no perímetro da anomalia interpretada, também permitiu estabelecer o grau de relacionamento entre o substrato rochoso do carbonatito e a zona formada pelos solos regolitos.

Como a radiação emitida pelos radioelementos K, eTh e U são as principais fontes de radiação gama que podem afetar os seres humanos e outros componentes da biota local quando estes ficam expostas a ionização, calculou-se a dose anual de radiação (DAR), presente nas rochas e/ou solo – ar.

$$DAR = 320 + 52,56 \times [(K \times 1,505) + (eU \times 0,625) + (eTh \times 0,310)], \text{ equação (1)}$$

Onde K, eU e eTh são as concentrações de potássio (%), urânio (ppm) e de tório (ppm), respectivamente.

Segundo IRCP (2005) e CNEN (2005) a exposição do público, quer dizer de toda a pessoa não exposta ocupacionalmente, deve ser limitada ou não superior a $1.000 \mu\text{Sv/ano}$ ou 1 mSv/ano .

Adicionou-se o cálculo da Contagem Total (CT) e a Dose Anual da Radiação da Contagem Total (DAR-CT) (tabela 02), obtidos mediante a equação (01) de Grasty *et al.* (1984).

A radiação gama natural emitida pelo radioelemento potássio (^{40}K), tanto pelos radioelementos tório (^{232}Th) e urânio (^{238}U) é detetada até uma profundidade de 40 cm no máximo



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

segundo (MINTY, 1997), nesta base a profundidade de amostragem deu-se até a profundidade de 30 cm para a medição de radiação natural de K, eTh e eU.

Geralmente o urânio acompanha o potássio ao longo dos processos hidrotermais, ambos possuem maior mobilidade do que o tório, o qual apresenta a menor mobilidade geoquímica entre os três (3) elementos. Os minerais com alto teor de Th (como a monazita e o zircão), são estáveis diante do intemperismo e podem acumular-se em depósitos secundários contendo minerais pesados (Dickson; Scott, 1999). O tório livre, devido à quebra do mineral durante o intemperismo, pode ser retido nos óxidos-hidróxidos de Fe e Ti ou mesmo em argilitos, assim como o urânio e o tório também pode se fixar em argilas coloidais e óxidos de ferro.

Segundo (Gunn, 1997) o ^{40}K na natureza é fixa e equivale a 0,0118 de todo o potássio, sua energia de 1,460 MeV emitido pelo isótopo de ^{40}K ao decair para ^{40}Ar usado para estimar o total de potássio presente no ambiente. Enquanto Dickson; Scott, (1999) afirmam que o tório não emite radiação gama durante seu decaimento que termina no isótopo estável ^{208}Pb , o isótopo mais energético emitido pelo isótopo filho vem do tálio ^{208}Tl , portanto, denominado de equivalente ao tório (eTh) e, o urânio por si só também não emite radiação gama durante seu decaimento e o mais energético raio gama emitido pelo isótopo filho vem do bismuto (^{214}Bi), portanto denominado de equivalente ao urânio (eU).

RESULTADOS DA RADIOMETRIA TERRESTRE

Os dados da radiometria Terrestre adquiridos no campo foram submetidos ao processamento no *ArcGis 10.8 Software* (licença do Instituto geológico de Angola), auxiliou na geração de mapa de amostragem de 71 pontos de leituras da radiação natural terrestre e amostragem de material geológico sobreposto ao modelo de elevação de terreno. Produziu-se mapas de concentração de potássio (K), Tório (eTh), e Urânio (eU) e finalmente o mapa que retrata a Dose Anual da Radiação natural dos três radioelementos medidos na área de estudo.

Mapa de amostragem

A distribuição dos pontos de amostragem no terreno na anomalia do carbonatito de *Longonjo*, em que se pode observar que a maior densidade de pontos de medição encontra-se no centro da anomalia, corresponde a zona mais alta da montanha *Tchimbilundo* do carbonatito de *Longonjo*, onde apresenta o afloramento da rocha carbonatítica, cuja altitude varia entre os 1500 a 1760 metros, figura nº 4, distribuição dos pontos de amostragem no terreno.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

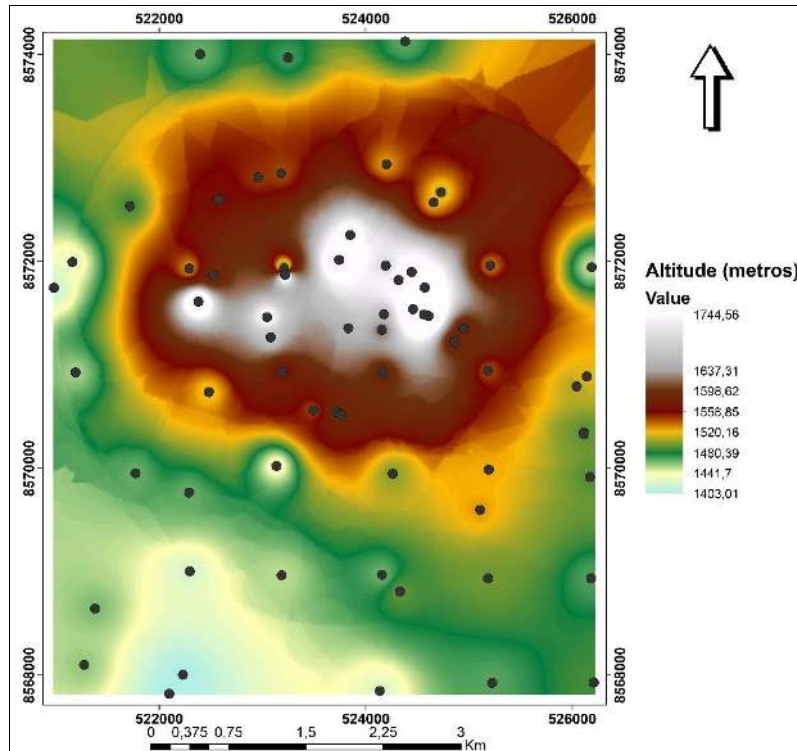


Figura 4, ilustra o mapa de amostragem irregular sobre posto ao modelo digital do terreno
Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)

Posteriormente, se elaboraram os mapas de amostragem de poste classes, utilizando a regra de Sturges:

$$K = 1 + 3,3 \log (n)$$

Onde: n = número total de amostras,

Regra Geral: O número de classes não pode ser inferior a 5 nem superior a 20. O valor da amplitude que corresponde ao tamanho de intervalo foi calculado usando a seguinte formula:

$$A = \text{Rango} / K$$

Onde, Rango corresponde ao valor máximo menos (–) o valor mínimo amostrado. Neste particular os números de intervalos calculados são de 6 classes, obtido em função do número de estações medidos.

Nos três (3) mapas de poste classificados de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm) estão agrupados os pontos por classes, exibindo símbolo e/ou rótulos segundo um determinado intervalo de teores medidos no campo. Estes mapas foram gerados a partir de arquivos de dados contendo as coordenadas X e Y, mais os valores de cada radioelemento medido no campo. Estes mapas são bastante uteis na localização espacial dos pontos com maiores e menores valores da radiação natural entre os pontos medido por elemento.

No mapa da figura nº4, ilustra a distribuição espacial dos pontos de estações medidos, em que, na parte sul predominam as classes com menores concentrações de radioatividade e no centro é onde existe as classes que possuem os valores de maior radioatividade natural dos 3 radioelementos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

Mapas de pontos de estações: Os mapas de distribuição espacial dos pontos de estações medidos de K ilustrado na figura nº5a, indica no centro da anomalia os pontos com maior radioatividade cuja os valores das classes variam entre 0,00 e 12,40 ppm e, na figura nº5b do eU no centro predominam as classes cuja valores variam entre 8,00 ppm a 88,30 ppm, circundado pelos pontos de medições cuja os valores são inferiores a 8,00 ppm. Na figura nº5c do eTh na parte norte e sul indica pontos de estações de medições com valores inferiores 270,00, quando comparada com a parte central, onde predominam as classes com os valores entre 270,10 e 4170 ppm. Conforme ilustrado nas figuras nº5ª, 5b e 5c abaixo representadas.

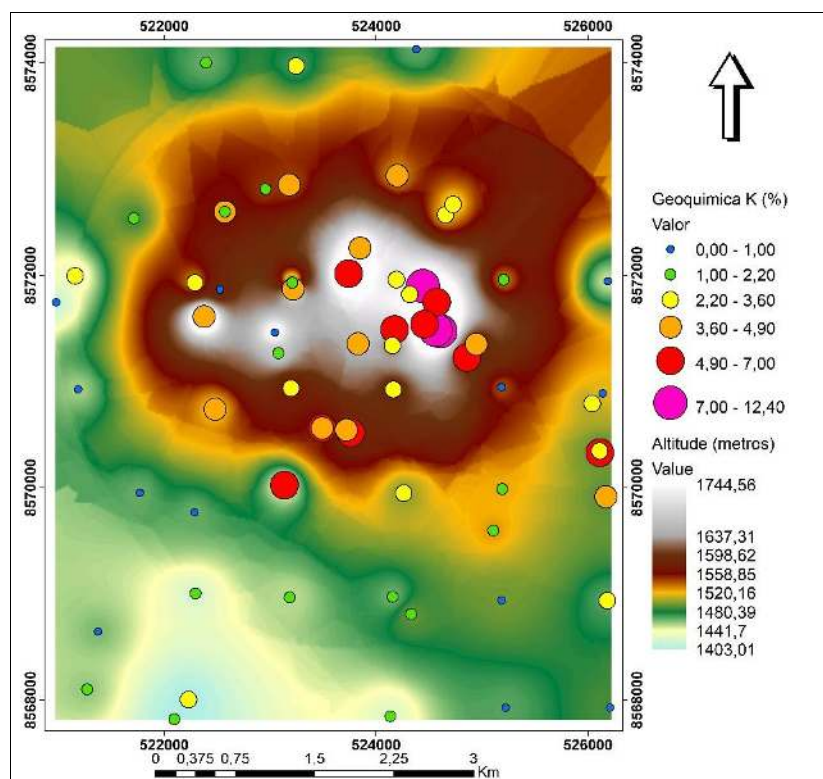


Figura 5, ilustra mapa de amostra por classes de K sobreposto ao modelo digital do terreno

Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

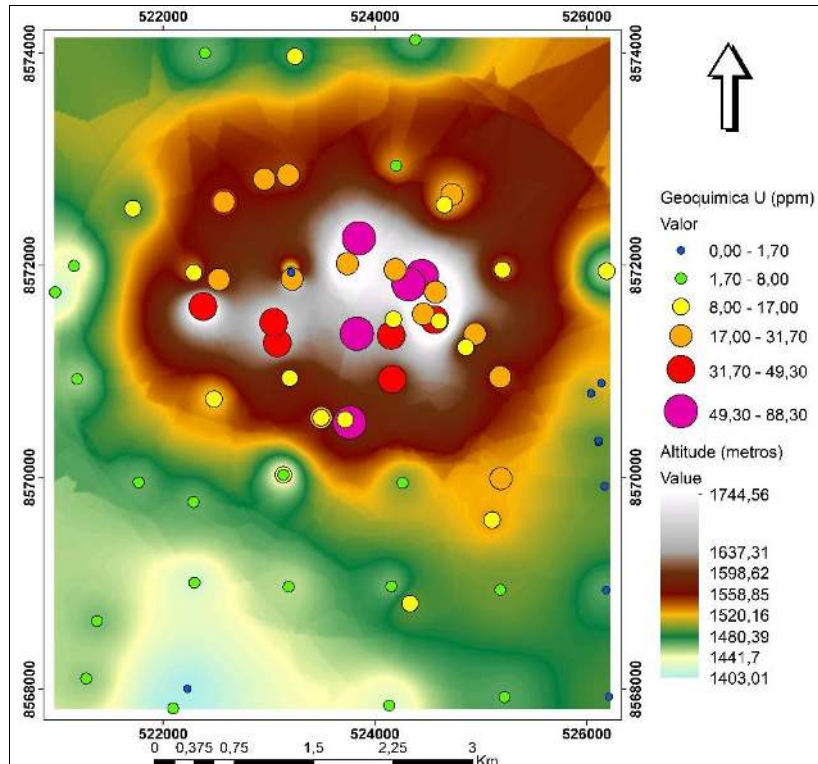


Figura 5b ilustra mapa de amostra por classes de eU sobre posto ao modelo digital do terreno
Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)

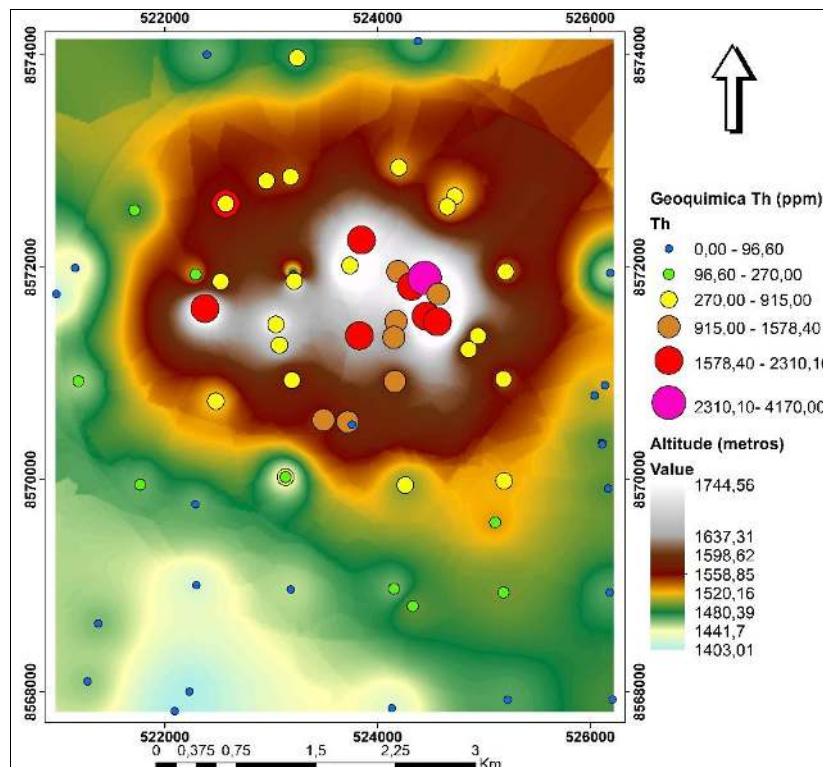


Figura 5c, ilustra o mapa de amostra por classes de eTh sobre posto ao modelo digital do terreno
Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

Tabela nº1 – Distribuição de frequência das concentrações de radioelementos e Dose Anual de Radiação (DAR) da radioatividade terrestre do carbonatito de *Longonjo*

Classes	K		eU		eTh		DAR
	Conc. (%)	Freq	Conc.(ppm)	Freq	Conc.(ppm)	Freq	Conc.(ppm)
1	0 – 0.9	11	0 – 4.1	11	0 – 19,9	11	327,91 – 12297,57
2	0.9 – 1.6	12	4.1 – 7.2	12	19,9 – 126,5	12	12297,57 – 24267,22
3	1.6 – 3	12	7.2 – 10.3	12	126,5 – 449,9	12	24267,22 – 36236,88
4	3-4	12	10.3 – 23.4	12	449,9 – 600,8	12	36236,88 – 48206,53
5	4 – 5.9	12	23.4 – 34.2	12	600,8 – 1318	12	48206,53 – 60176,19
6	5.9 – 12.41	12	34.2 -88.31	12	1318 – 4171	12	60176,19 – 72145,84
Totais de estações	71		71		71		71
Conc. Máxima	12,40		88,30		4170,00		72145,84
Conc. Média	3,27		18,48		626,37		11391,92
Conc. Mínima	0,00		0,10		0,30		400,99
Desvio-Padrão	2,51		17,81		766,76		13096,17
Coef. Disp. (Cd)	76,69		96,35		122,41		114,96

Fonte: Tabela elaborada pelos autores com dados de pesquisa, (2023)

POTASSIO (K)

As concentrações radiométricas obtidas de K (%) em 71 medições no terreno variaram entre 0,00% a 12,40%, apresenta a média de 3,27 % e no centro da anomalia radiométrica de *Longonjo* onde aflora a unidade das rochas feldspáticas-carbonatíticas e carbonatitos com valores mais altos que oscilam entre 4,50 a 12,40. Segundo o critério da classificação (MARANHÃ, 1985), o K (%) possui uma distribuição irregular, apresenta elevado coeficiente de dispersão (Cd = 76,69 %).

Os valores inferiores da radiação de K (%) medidos no terreno abaixo de 4,5 % registam-se nas áreas de depósitos de vertentes e aluvionais (material geológico secundário), até mesmo junto das bordas dos rios que circundam a anomalia verificou-se valores inferiores do K (%) quando comparado com a parte mais alta e aflorante do feldspático-carbonatítico e carbonatito, apesar da grande mobilidade que este radioelemento (K) possui durante a processo de intemperismo e alteração hidrotermal.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

Dada a topografia da área de estudo, fez com que a parte mais elevada (afloramento do feldspático-carbonatítico e carbonatito) ocorresse erosão muito forte, removendo o material geológico por processo de erosão e/ou mecânico), o radioelemento K (%) foi lixiviado e transportado entre as partículas removidas pelo processo mecânico, facilitada pela declividade bastante acentuada e caracterizada pela diminuição relativa de valores da radioatividade de zonas com cotas mais elevadas para zonas com cotas mais baixas, figura nº 6, ilustra o mapa da distribuição espacial do K (%).

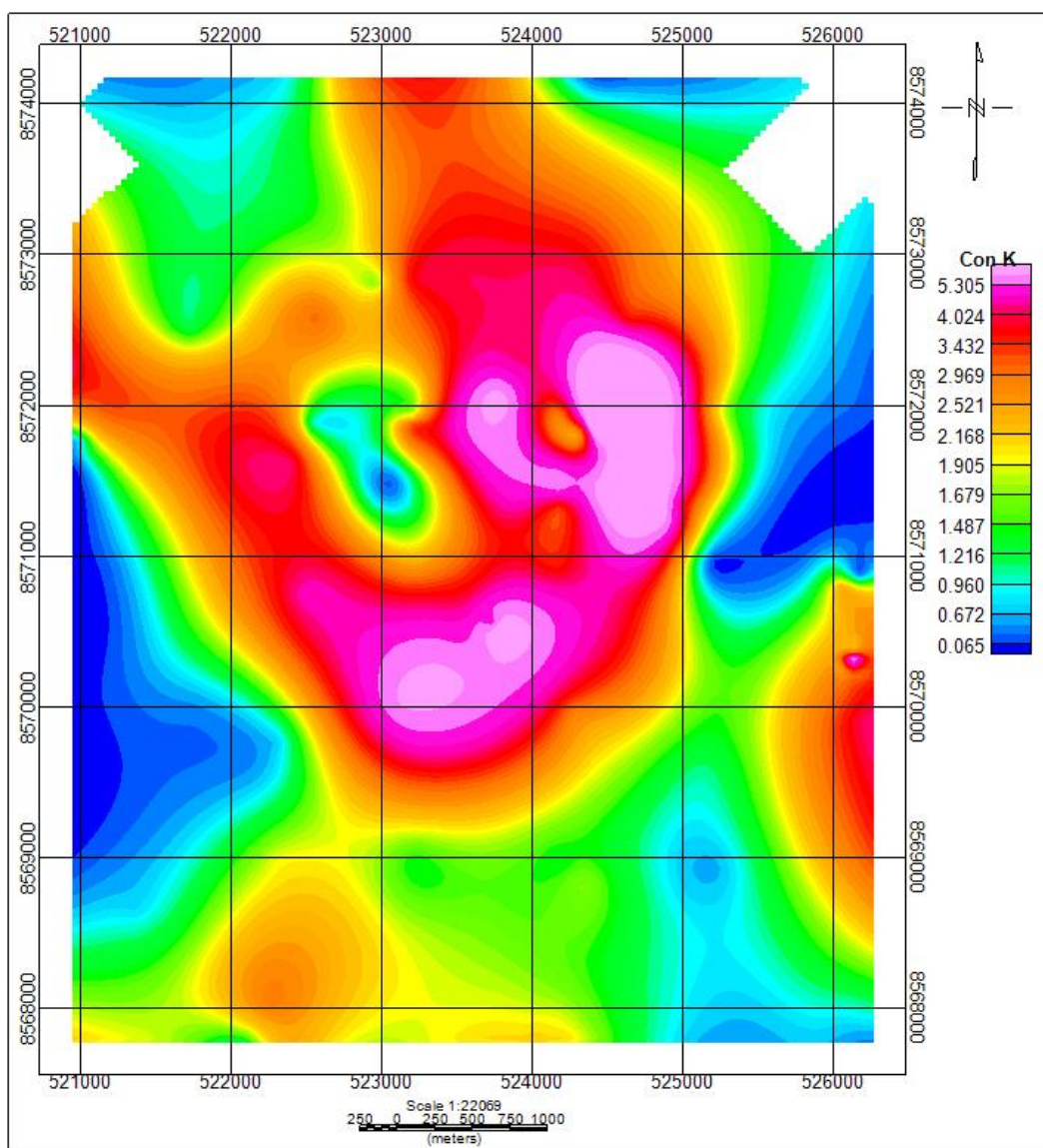


Figura nº 6 ilustra o mapa de distribuição espacial do potássio
Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)

URÂNIO (eU)

Os dados do eU (ppm) medidos no campo, revelam uma ampla distribuição espacial na parte central e ligeira intercalação significativa que varia entre 34,12 ppm a 88,31 ppm com frequência de



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

12 medições, com média de 18, 48 ppm (Tabela nº 01), seis vezes superior da abundância média da crosta terrestre que oscila entre 2 e 3 ppm (Dickson; Scott, 1999), (IAEA, 2003) e (Bonnoto, 2004). A distribuição do eU é irregular cuja o coeficiente de dispersão ($Cd = 96,35\%$), o mapa de distribuição espacial do eU evidência a existência de zonas com valores elevados de radioatividade natural das rochas feldspáticas-carbonatíticas e carbonatitos com valores mais altos que oscilam entre 40,00 ppm a 88,31 ppm, nas partes mais baixas até nas bordas dos rios estes valores vão decrescendo, registando valores inferior a 20 ppm.

Por outro, comprovou-se que à medida que se afasta do centro (afloramento do carbonatito) ocorre uma redução gradual dos teores do eU em direção ao sul, norte, oeste e este, este comportamento vai até a margem do rio Cuiva, provavelmente ao acúmulo de materiais do manto de alteração removido da zona do montante, isto é, a parte da montanha de *Tchimbilundo*, a figura nº7 ilustra o mapa de distribuição espacial do urânio (eU).

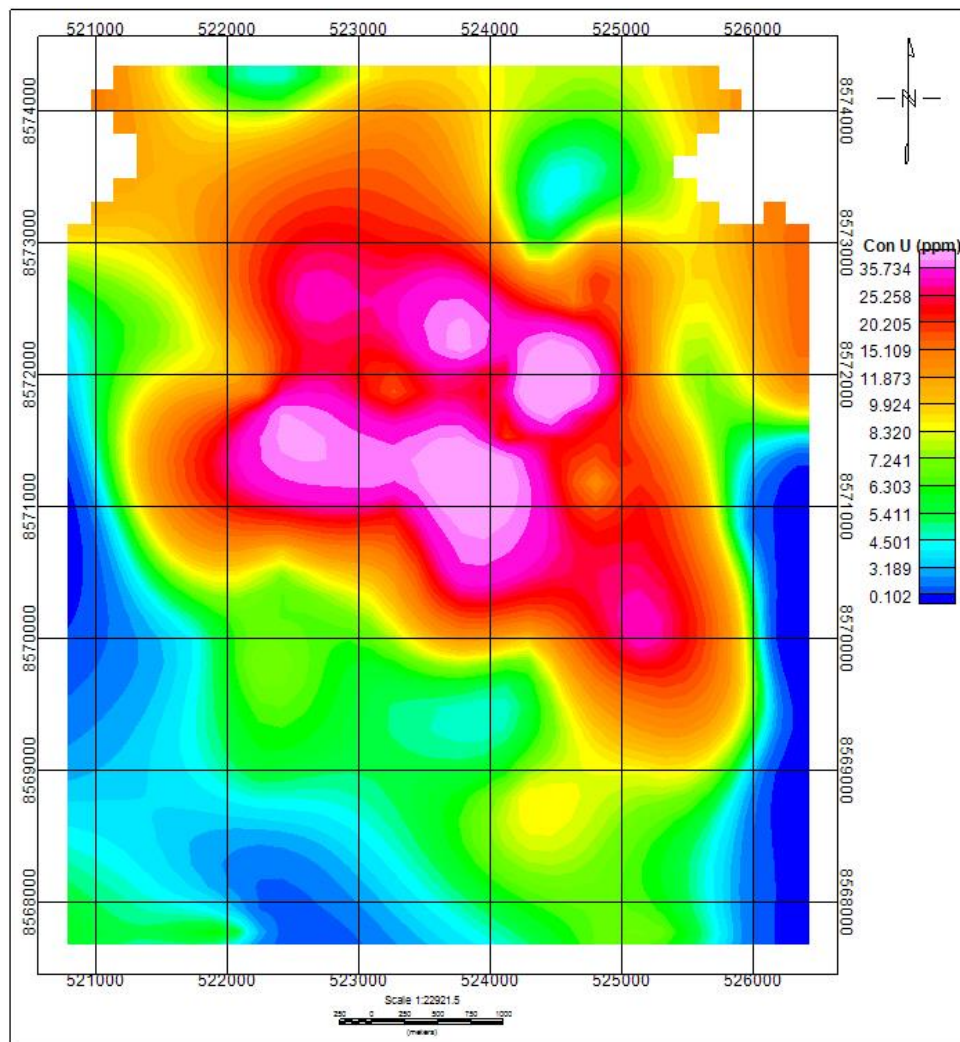


Figura 7 ilustra o mapa de distribuição espacial do urânio
Fonte: dados de pesquisa dos autores, (2023)



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

TÓRIO (eTh)

Os valores medidos da radiometria terrestre revelam que o tório é o radioelemento mais abundante na anomalia do carbonatito de *Longonjo* e apresenta uma distribuição muito irregular ($Cd = 122,41\%$). O valor máximo do teor do eTh atingiu cerca de 4170,00 ppm, a média 626,37 %, em muitos pontos da anomalia alvo da medição radiométrica, apresenta valores bastante elevados em relação abundância de tório na crosta terrestre que varia entre 8 ppm a 12 ppm, (Dickson; Scott, 1999). Tendo em conta a baixa mobilidade do radioelemento tório (eTh) a sua baixa concentração da radioatividade registada nas argilas residuais, devido o processo da adsorção, que ocorre na parte de depósito secundário do carbonatito, segundo (Queiroz, 1975), os valores medidos com certa concentração da radioatividade elevada encontram-se na grande parte mais alta da montanha de *Tchimbilundo* deste carbonatito e começa a decrescer na zona da vertente até nas encostas dos rios provavelmente causado por lentos movimentos ou baixos deslocamentos mecânicos que ocorrem na zona da montante, também é provável que não houve mistura de horizonte dado o movimento lento das massas oriundo da zona alta do carbonatito para as zonas baixas.

Segundo (Queiroz, 1975), o tório (eTh) liberado da rocha do carbonato de origem (depósito primário) na fase do processo de intemperismo e se concentra nas argilas residuais seria mantido neste horizonte durante o deslocamento do manto de intemperismo em zona abaixo, traduzindo-se em elevada resposta gamaespetrométrica terrestre. Isto tem como causa provável à baixa mobilidade de eTh, este comportamento dificulta a sua lixiviação pelas águas meteóricas que percolam o manto de intemperismo que alimentam a zona topograficamente mais baixa, que corresponde neste caso a zonas de depósitos de vertente e sobretudo aluvional, figura nº8 ilustra o mapa de distribuição espacial do radioelemento eU.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

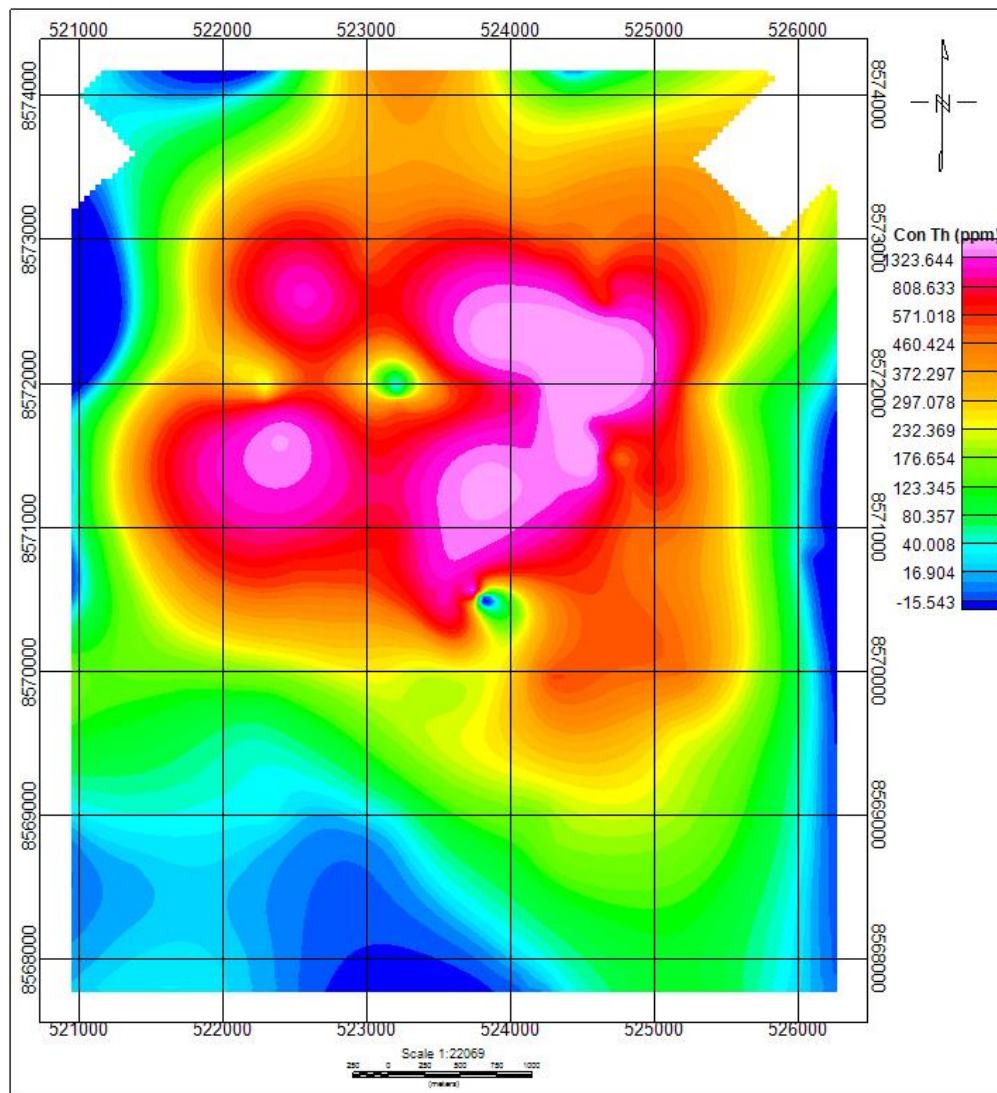


Figura 8 ilustra o mapa de distribuição espacial do radioelemento eTh.

Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)

DOSE ANUAL DE RADIAÇÃO (DAR)

A Dose Anual da Radiação ou Dose Efectiva (DAR), neste específico trabalho de investigação científica é o *Sievert (Sv)*, cuja unidade no sistema internacional é o *Joule* por quilograma (*J/kg*). Para o cálculo da DAR a que a população local (público) está exposta, foram utilizadas as concentrações dos radionuclídeos K, eTh e eU obtidas no levantamento gamaespetrométrico terrestres no Carbonatito de *Longonjo*, uma vez que, o K, eTh e eU representam as principais fontes de radiação gama que afeta os seres humanos (UNSCEAR, 2000), (TAUHATA, 2003) e (NCRP, 2009).

Tais radionuclídeos, presentes nas rochas e respectivos produtos de alteração, produzem um campo de radiação gama que atravessa a interface rocha/solo–ar, expondo os seres humanos e outros componentes da biota local aos efeitos danosos da radiação (UNSCEAR, 2000).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA

Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

O mapa da dose anual de radiação (DAR), revela três grandes zonas de maior concentração com teores muito elevados em relação aos valores sugeridos pela agência internacional de energia atômica e outros organismos $1.000 \mu\text{Sv}/\text{ano}$; (IRCP, 2005), alcançando valores máximos de 72145,84 (Tabela nº 1). De acordo com os valores terrestres medidos em 71 pontos de estações, 12 pontos de estações de medição revelaram valores calculados inferiores de DAR e os 59 pontos de estações registaram valores acima do valor recomendado ($1.000 \mu\text{Sv}/\text{ano}$), que varia entre 327,91 a 72145,84 ppm e a média calculada foi de 11391,92. Figura nº 9 ilustra o mapa da dose anual de radiação.

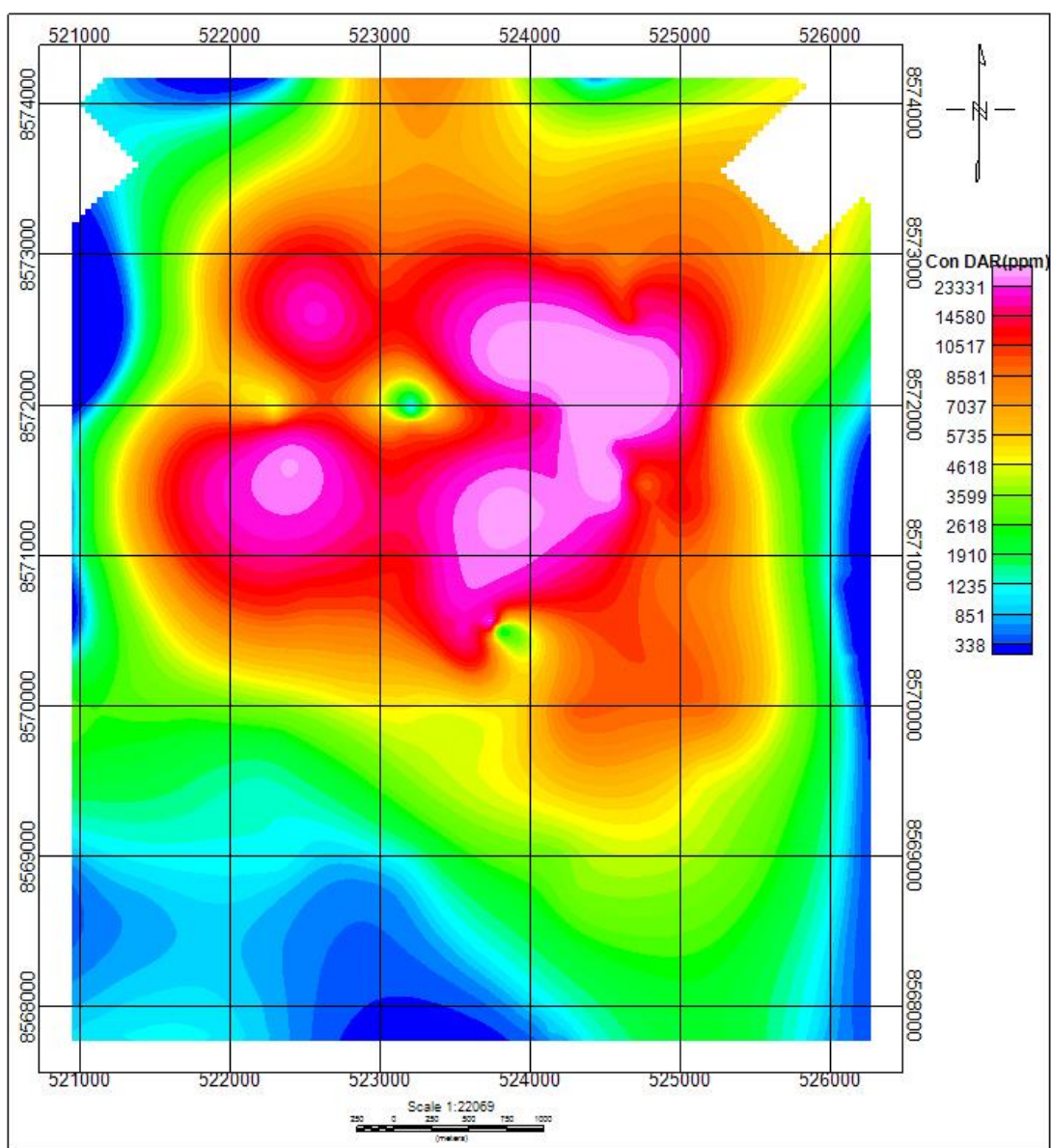


Figura 9 ilustração do mapa de DAR do carbonatito de *Longonjo*
Fonte: Dados de pesquisa dos autores, (2023)

Os dados da gamaespectrometria terrestres representados na tabela nº1, indicam a contagem total (CT) expresso em $\mu\text{R}/\text{h}$ (BARMP, 1997) que corresponde a antiga unidade de medida de taxa de exposição. Tendo em conta que $1\mu\text{R}/\text{h}$ equivale a $0,01\mu\text{Sv}/\text{h}$ (Andreucci, 2001) e (LNMRI,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

2002) a conversão da taxa de exposição em $\mu R/h$ para DAR ($\mu Sv/ano$) foi calculada pela seguinte formula:

$$DAR(CT(Sv(ano)) = 8760 \times (CT((R(h))) / 100. (4),$$

Onde: DAR-CT é calculada a partir da contagem total ($\mu R/h$) e, 8760 corresponde ao número de horas total de um ano.

Como resultados dos cálculos obteve-se valores em DAR_CT entre 327,9 $\mu Sv/ano$ e 72145,84 $\mu Sv/ano$, dos valores mínimos e máximo obtidos pela Equação (01) de (Grasty, 1984) conforme consta (tabela nº2), a média da DAR-CT é de 56775,94 $\mu Sv/ano$.

Tabela 2, indica os valores de contagem total (CT), dose anual da radiação da contagem total (DAR_CT) e a dose anual da radiação do carbonatito de *Longonjo* (DAR)

Classes	CT		DAR_CT		DAR	
	$\mu R/h$	Freq.	$\mu Sv/ano$	Freq.	$\mu Sv/ano$	Freq.
1	327,91 - 356,63		327,91 - 12297,57		8,76 - 31241 - 08	
2	356,63 - 713,16		1229,57 - 24267,22		31241,08 - 62473,40	
3	713,16 - 1069,70		24267,22 - 36236,88		62473,40 - 93705,72	
4	1069,70 - 1426,23		3623,88 - 48206,53		93705,72 - 124938,04	
5	1426,23 - 1782,76		48206,53 - 60176,19		124938,04 - 156170,36	
6	1782,76 - 2139,30		60176,19 - 72145,84		156170,36 - 187402,68	
Total de Estações	71		71	71	71	
Média	648,13		56775,94		11391,92	
Mínimo	1,40		122,64		400,99	
Máximo	4270,70		3974315,64		72145,84	

Fonte: Tabela elaborada pelos autores com dados de pesquisa, (2023)

Sabendo que o potássio ^{40}K e os radioelementos originados dos decaimentos do ^{238}U e ^{232}Th constituem as principais fontes da radiação gama natural que afetam os seres humanos e outros elementos da biota de uma determinada localidade, surgiu a necessidade de realizar simulações sobre as DAR (equação 1). Os valores representados na tabela nº03 espelham que a área de estudo é intensamente influenciada pelo radioelemento tório (eTh) e seguido pelo urânio (eU), visto que na simulação da exclusão do K obteve-se o DAR médio de 11133,03 $\mu Sv/ano$ para 71 pontos de medições, correspondendo a 3,64% inferior ao valor médio do DAR com a exclusão de K. Com a simulação da exclusão de eU, o DAR médio é de 10784,71 $\mu Sv/ano$, ou seja, 8,55% inferior ao valor médio do DAR com a exclusão de eU, finalmente com a simulação da exclusão do radioelemento tório (eTh), o DAR médio é de 1186,10 $\mu Sv/ano$ e corresponde a 143,74 % ao valor médio do DAR com a exclusão de eTh.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

Tabela 03, ilustra valores de DAR calculados da gamaespetrometria terrestre de acordo com a equação (nº01) de Grasty. (1984), com a simulação exclusão de K, eU e eTh

ID	Valores de DAR ($\mu\text{Sv}/\text{ano}$) da Gamaespetrometria terrestre			
	Com K, eU, eTh	Exclusão do K	Exclusão do eU	Exclusão do eTh
Média	11391,92	11133,03	10784,71	1186,10
Máximo	72145,84	71164,97	397,71	4201,53
Mínimo	400,99	329,80	69245,19	394,48

Fonte: Tabela elaborada pelos autores com dados de pesquisa (2023)

EFEITOS DA RADIAÇÃO ORIUNDA DAS ROCHAS NO SER HUMANO

Este estudo permitiu estabelecer uma relação do ponto de vista da radiometria entre o carbonatito de *Longonjo* e a radioatividade vinda do carbonatito em que jazem os elementos químicos medidos K, eTh e eU. Quando ocorre o contacto da radioatividade com o corpo humano, este pode provocar lesões nos tecidos dependendo do tempo de exposição, números de vezes em que o corpo exposto permaneça na radiação, o tipo de radiação e a parte do corpo exposta. Quanto a contaminação pode ser classificada como:

Interna: Ocorre quando o material radioativo é ingerido, inalado ou adentra por lesões na pele;

Externa: Acontece quando o material se fixa na pele ou em roupas, e pode passar para outras pessoas caso se desprenda da superfície.

Importa realçar que a radiação danifica o código genético, se a contaminação acontece em grandes doses de radiação ionizante causam morte celular, caso aconteça em menor quantidade pode comprometer e/ou prejudicar a multiplicação das células.

CONCLUSÕES

Como resultados obtidos neste trabalho consubstanciado nas medições terrestre da radioatividade natural de ^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U no carbonatito de *Longonjo*, mencionam-se os principais: O uso do método da gamaespetrometria terrestre com Radiómetro *RS 230, BGO-SUPER – SPEC* portátil mostrou-se bastante útil na confirmação da anomalia radiométrica do carbonatito do *Longonjo* interpretados inicialmente com dados da aerogamaespetrometria e na diferenciação dos teores correspondente aos depósitos de vertentes e aluvionais, brechas carbonatitos, rochas feldspáticas-carbonatíticas, carbonatitos e silicificadas da área de estudo. Nas litologias de depósitos de vertentes e aluvionais mediram-se os menores registos de teores dos elementos de ^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U , cuja abrangência da sua área ocupa 60% do total da anomalia radiométrica, quando comparado com o mapa geológico do carbonatito de Longonjo.

Pode-se compreender que a DAR é fortemente influenciada pelas concentrações elevadas de urânio (eU) e de tório (eTh), em que o valor médio de DAR atingiu 11391,92 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$ e o valor máximo é de 72145,84 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$. Deste modo, a simulação em que as concentrações de K foram



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

excluídas obteve-se como valor médio de DAR de 11133,03 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$ para 71 pontos de medições, correspondendo a 3,64% inferior ao valor médio do DAR com a inclusão de K. Com a simulação da exclusão de eU, o DAR médio é de 10784,71 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$, ou seja, 8,55% inferior ao valor médio do DAR com a inclusão de eU. Finalmente com a simulação da exclusão do radioelemento tório (eTh), o DAR médio é de 1186,10 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$ e corresponde a 143,74 % do valor de DAR com a inclusão de eTh.

A inalação e/ou ingestão de poeiras que contêm substâncias radioactivas de K, eTh e eU representa risco as populações de *Longonjo*, assim como todos aqueles que frequentemente acessam esta zona da anomalia de carbonatito de *Longonjo*. A consequência da ingestão de radionuclídeos é a irradiação ou contaminação dos órgãos internos (pulmão) quando continuamente irradiada e causa câncer de pulmão. Tais radionuclídeos, presentes nas rochas e respectivos produtos de alteração, produzem um campo de radiação gama que atravessa a interface rocha/solo–ar, expondo os seres humanos e outros elementos da biota de uma determinada localidade aos efeitos danosos da radiação.

Dada a pertinência e abrangência deste tema sugere-se que haja continuidade de estudos e, se faça estudos epidemiológicos para comprovar a influência da radiatividade natural e os diferentes tipos de câncer, especialmente o de pulmão na localidade de *Longonjo*.

REFERÊNCIAS

AFONSO. **Algumas considerações sobre as séries metamórficas da região central do sudoeste de Angola**. Angola: [s. n.], 1972.

ANDREUCCI, R. **Curso básico de proteção radiológica - aspectos industriais**. [S. l.]: Andeucci, Assessoria e Serviços Técnicos Ltda, 2001.

ARAUJO. **Notícia expliativa da carta Geológica de Angola à escala 1.1000.000**. Angola: [s. n.], 1992.

ATSDR. **Toxicological Profile for Uranium**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999.

BARMP - BRAZIL AIRBORNE RADIOMETRIC MAPPING PROJECT. Paterson, Grant & Watson Limited (PGW), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) and Geological Survey of Canada (GSC). 1997.

BECQUEREL. **El descubrimiento de la Radioactividade**. França: Published by Espasa calpe, 1896.

BONOTTON, D. M. **Radioatividade nas águas: da Inglaterra ao Guarani**. São Paulo: [s. n.], 2004.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de proteção radiológica**: Resolução n. 27. [S. l.]: CNEM, 2005.

CORDEIRO, D. **Determinação de domínios gammaradiométricos como ajuda ao levantamento litológico e na selecção de zonas de concentração de elementos radioactivos, leste de Benguela e oeste do Huambo -sw da Angola**. [S. l.: s. n.], 2021.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

TEORES DOS RADIOELEMENTOS DE POTÁSSIO, URÂNIO, TÓRIO E A AVALIAÇÃO DA DOSE ANUAL DA RADIAÇÃO DO CARBONATITO DE LONGONJO – HUAMBO - SW DE ANGOLA
Domingos Cordeiro, José Manuel Muambongue, Hector Manuel Fernández Núñez, Pedro Claude Nsungani

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, 1999.

GRASTY, R. L.; CARSON, J. M.; CHARBONNEAU, B. W.; HOLMAN, P. B. Natural background radiation in Canada. **Geological Survey of Canada Bulletin**, 1984.

GUNN, P. J.; MINTY, B. R. S.; MILLIGAN, P. R. The Airborne Gamma-Ray Spectrometric Response Over Arid Australian Terranes. In: GUBINS, A. G. (Ed.). **Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration**. Australia: [s. n.], 1997.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Vienna: [s. n.], 2003.

IRCP - INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. [S. l.]: IRCP, 2005.

LE MAITRE, R. W. **Igneous rocks a Classification and Glossary of Terms Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

LNMRI - LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES. **Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante: Recomendações e definições**. [S. l.]: LNMRI, 2002.

LOUREIRO, F. E. V. L. **Carbonatitos de Angola**. Angola: Inst. Inv, Científica Angola, 1973.

LOUREIRO, F. E. V. L.. **A mega-província carbonatítica Brasil-Angola e seus recursos minerais; geologia, petrografia, geoquímica, geologia económica**. [S. l.: s. n.], 1995.

MARQUES. **Notícia Explicativa da folha geológica de Angola á escala 1:100.000 da folha nº 378 - Chibemba**. [S. l.: s. n.], 1977.

MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, 1997.

MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, 1997.

NCRP. **Ionizing Radiation Exposure of the population of the United States, Medical Exposure – Are We Doing Less with more, and Is There a Role for Health Physicists?** [S. l.]: NCRP, 2009

QUEIROZ, F. C. P. **Distribuição da radioatividade natural no perfil de um podzol tropical e suas implicações genéticas**. 1975. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1975.

RIBEIRO. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. [S. l.: s. n.], 2013

UNSCEAR - UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. **Sources and effects of ionizing radiation**. United Nations, New York: UNSCEAR Report, 2000.