

OCORRÊNCIA DE URÂNIO EM POCINHOS, PARAÍBA – A ANOMALIA DE SÍTIO BRAVO: PETROGRAFIA E RADIOMETRIA

Ebenézer Moreno de Souza
Emerson E. de Farias
Crescêncio Andrade Silva Filho
Heldio Pereira Villar
Elvis J. de França
Clovis A. Hazin

Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Comissão Nacional de Energia Nuclear – DIAMB/CRCN-NE/CNEN, emsouza@cnen.gov.br, emersonemiliano@yahoo.com.br, candrade@cnen.gov.br, hpvillar@cnen.gov.br, ejfranca@cnen.gov.br, chazin@cnen.gov.br

RESUMO

A ocorrência uranífera de Sítio Bravo, Município de Pocinhos, Estado da Paraíba, Brasil, dista cerca de 50 km a noroeste de Campina Grande. Anteriormente, valores radiométricos da região encontrados acima da radiação de fundo foram considerados pontuais e restritos a um afloramento. Considerando-se a necessidade de detalhamento dessa anomalia, os estudos desenvolvidos neste trabalho visaram reconhecer a geologia e a radiometria associada, bem como o tipo de mineralização da rocha, os radionuclídeos presentes, suas respectivas atividades e frações de massa na rocha. Para isso, foram realizados perfis radiogeológicos perpendiculares às estruturas regionais e medições diretas de radioatividade utilizando cintilômetro. Também foram coletadas amostras de rocha nos afloramentos mineralizados existentes na porção mediana do perfil e na margem do riacho para análise por espectrometria gama de alta resolução. A rocha mineralizada é um granito de textura grossa a muito grossa, constituída de feldspato potássico (ortoclásio), plagioclásio, e muitos vazios. A descrição petrográfica em lâmina delgada revelou como minerais essenciais plagioclásio (albita-oligoclásio) e ortoclásio perítico, enquanto os acessórios foram a biotita, inclusa nos grandes cristais alterados de plagioclásio, sericita, zircão, raros opacos (hematita) e pseudomorfos de biotita. Ocorrem alguns vacúolos decorrentes da lixiviação do quartzo (que está ausente). A lixiviação da sílica, a albitização, hematitização e o enriquecimento em urânio foram evidências de fenômenos do metassomatismo hidrotermal, responsável pela alteração do granito. Ao empregar espectrometria gama por meio de detector de germânio, as concentrações de atividade dos radionuclídeos na amostra de granitóide foram $19,2 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,3 \text{ kBq kg}^{-1}$ para ^{238}U , $20,00 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,10 \text{ kBq kg}^{-1}$ para ^{226}Ra , $2,02 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,04 \text{ kBq kg}^{-1}$ para ^{232}Th e $0,40 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,08 \text{ kBq kg}^{-1}$ para ^{40}K . A mineralização de urânio é epigenética, com origem metassomática, em que o urânio está associado à albitização, hematitização, lixiviação da sílica e enriquecimento do urânio na rocha hospedeira, similar a outras ocorrências no Nordeste.

Palavras-chave: granito, metassomatismo, ^{238}U , espectrometria gama, radioatividade natural.

ABSTRACT

The uraniferous occurrence of Sítio Bravo, Pocinhos, Paraíba State, Brazil, is located at 50 km northwest of Campina Grande, Paraíba State. Previously, the radiometric values of the region found above the background radiation were considered punctual and restricted to an outcrop. Taking into account the necessity of detailing of such anomaly, the studies carried out in this work focused at recognizing the geology and the radiometry associated, as well as the type of rock mineralization, the radionuclides, their respective activities and chemical element mass fractions in the rock. For this, radiogeologic profiles were carried out perpendicularly to the regional structures and measurements were performed along the profile. Rock samples were collected in the mineralized outcrops found in the profile center and the river margin. The mineralized rock is a granitoid rock with texture varying from gross to very gross and formed by potassic feldspate (orthoclase), plagioclase and several gaps. The petrographic description by means of thin section revealed as essential minerals the plagioclase (albite-oligoclase) and perthitic orthoclase, while the accessories were biotite, included in the huge altered plagioclase crystals, sericite, zircon, rare opaque minerals (hematite) and biotite pseudomorphs. There were some vacuoles derived from the quartz leaching (which is absent). The silica leaching, the albitization, the hematization and the uranium enrichment are evidences of hydrothermal metasomatism phenomenon, responsible for the granite alteration. By using high resolution gamma ray spectrometry by means of a germanium detector, the activity concentration of radionuclides in the granitoid rock were $19,2 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,3 \text{ kBq kg}^{-1}$ for ^{238}U , $20,00 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,10 \text{ kBq kg}^{-1}$ for ^{226}Ra , $2,02 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,04 \text{ kBq kg}^{-1}$ for ^{232}Th and $0,40 \text{ kBq kg}^{-1} \pm 0,08 \text{ kBq kg}^{-1}$ for ^{40}K . The mineralization type was epigenetic with metasomatic origin, in which the uranium is associated to the albitization of host rock (granite).

Keywords: granite, metasomatism, ^{238}U , gamma spectrometry, natural radioactivity

INTRODUÇÃO

Situada no sítio Bravo, município de Pocinhos, Estado da Paraíba, Brasil, a ocorrência uranífera estudada neste trabalho foi objeto de pesquisa da extinta NUCLEBRAS Mineração - NUCLAM no ano de 1979 e foi abandonada por não ser significativa em termos de exploração do urânio. Contudo, nessa área foi verificada valores radiométricos bastante elevados em uma trincheira previamente escavada sobre os afloramentos.

A exposição à radioatividade natural é assunto bastante relevante para saúde humana, de modo que há

necessidade de estudos pormenorizados da ocorrência de anomalias radioativas, principalmente na Região Nordeste Brasileira devido a sua geodiversidade intrínseca. Para isso, este trabalho tem como fulcro a litologia hospedeira da mineralização, petrografia associada, tipo de mineralização, radiometria *in situ* e em laboratório utilizando espectrometria gama de alta resolução com detector de germânio hiperpuro (HPGe) para a determinação dos radionuclídeos. No campo foram realizados perfis geológicos e radiométricos em toda área do entorno da anomalia e medições perpendiculares à trincheira.

SÍNTESE GEOLÓGICA

O Município de Pocinhos, Estado da Paraíba, Brasil, localiza-se na região agreste do Planalto da Borborema, distando cerca de 50 km a noroeste de Campina Grande. A área estudada na região de Pocinhos encontra-se geologicamente inserida no “Batólito de Esperança” (Fig. 1). Esse batólito está na parte leste do Terreno Alto Pajeú e é constituído de rochas graníticas de idade tardi-brasiliana

(Oliveira Rodrigues & Brito Neves, 2008), correspondendo, assim, a uma “suíte” granítica de afinidade calcálcica com alto teor em potássio, variando de monzonitos até monzogranitos (Santos et al. 2002). Sua forma é aproximadamente elíptica, cuja área abrange desde as cidades de Remígio e Esperança a N-NE de Pocinhos até às proximidades do açude de Soledade (arredores a oeste da cidade) a W-SW de Pocinhos.

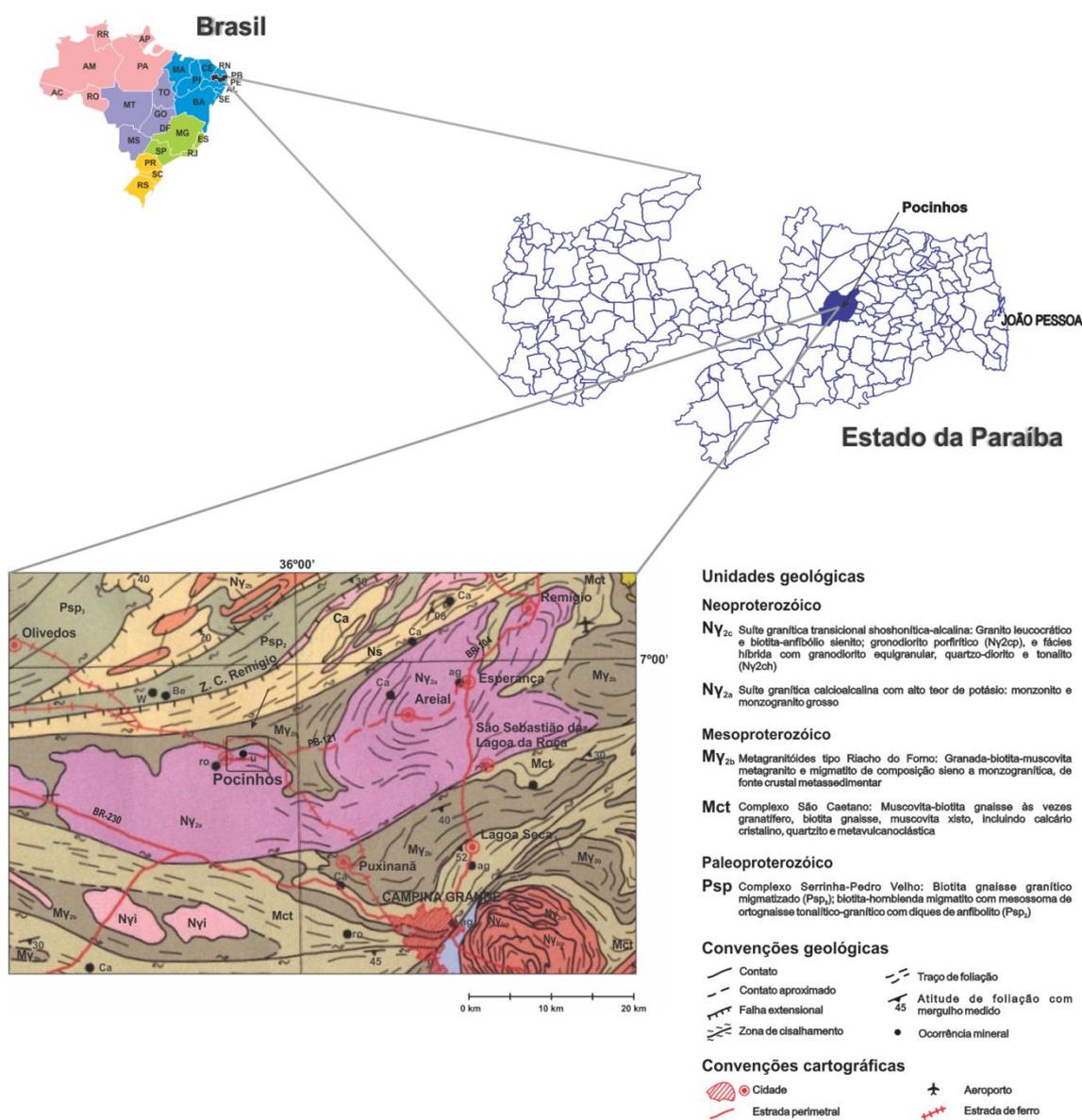


Figura 1. Localização do Batólito de Esperança, Município de Pocinhos, Estado da Paraíba, Brasil. Detalhamento das unidades geológicas, assim como das ocorrências minerais (Be = berílio; Ca = calcário; ag = argila; ro = rochas ornamentais; U = urânio). A ocorrência uranífera está indicada no mapa geológico.

As anomalias de urânio na Paraíba ocorrem em metassomatitos de protólitos arqueano-paleoproterozóicos e paleoproterozóicos dos terrenos Rio Piranhas, São José do Campestre, Alto Pajeú e Alto Moxotó (Santos et al. 2002). As mais conhecidas são as ocorrências de Pocinhos, alvo do presente estudo, Cajá, Pilões, Barra de Santa Rosa e CB-62, além do depósito de Espinharas (Figura 2), conforme discutido por Santos & Anacleto (1985).

A estrutura regional apresenta *trend* de 80° Az e feição de cisalhamento, que determina à rocha

granítica uma textura porfiroblástica, com os feldspatos assumindo aspecto de “caroços” grosseiramente oclares (Santos & Anacleto 1985). Assim, na área da ocorrência de Sítio Bravo, as rochas “graníticas” são porfiríticas, orientadas, com mega-cristais de feldspato potássico e plagioclásio, que apresentam coloração avermelhada e acinzentada, respectivamente, e tamanho variando de 0,5 a 3,0 cm. Geralmente, esses cristais possuem forma alongada e oclar, segundo o *trend* regional, formando uma textura milonítica.

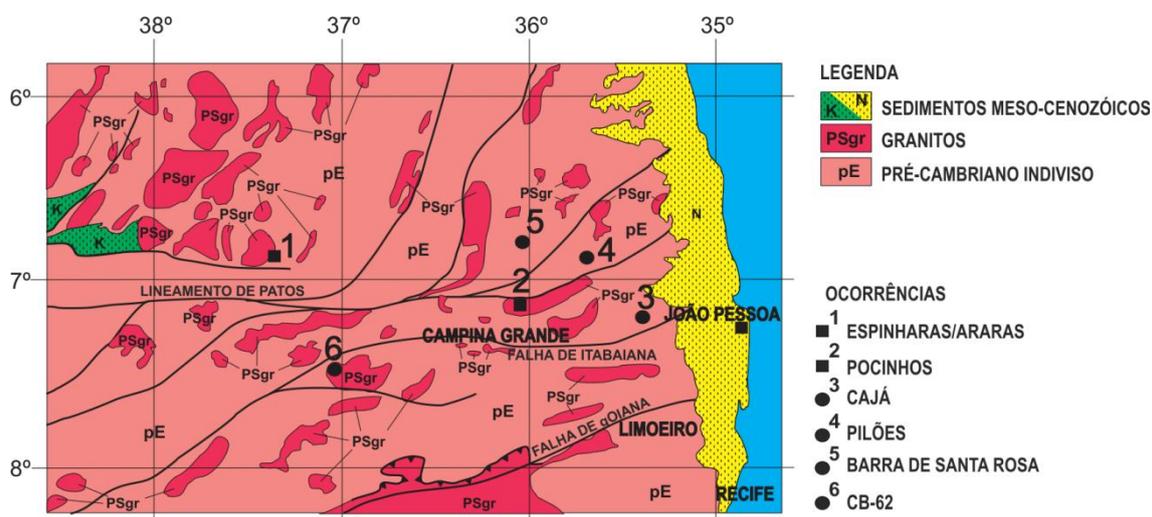


Figura 2 – As ocorrências uraníferas no Estado da Paraíba. 2. Anomalia de Pocinhos. Modificado de Santos & Anacleto (1985).

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de desenvolvimento do trabalho em Pocinhos envolveram o reconhecimento de campo para verificação da geologia local, o levantamento radiométrico e coleta de amostras e as análises mineralógicas e radiométricas de laboratório.

Na região do afloramento, perfis a pé transversais à direção das estruturas (80° Az) foram realizados com auxílio

de um cintilômetro SAPHYMO SRAT/SPP-2 NF, levado na altura do braço estendido. Posteriormente, realizaram-se três seções medidas perpendicularmente à trincheira existente, sendo uma localizada em sua porção mediana e as outras duas nas extremidades, distando aproximadamente 30 metros a partir da seção central da trincheira. Sua orientação é 130° Az, transversal às estruturas regionais e com as seguintes

coordenadas UTM, 829.911 mE e 9.214.988 mN, respectivamente.

Com o reconhecimento de campo, somente cinco afloramentos foram encontrados na área da ocorrência, dos quais quatro foram localizados ladeando a parte central da trincheira e um, não mineralizado, nas proximidades da margem direita do riacho Salgado. Foram realizadas três seções perpendiculares à trincheira, sendo uma na parte central onde se localizam os afloramentos e as outras duas, na direção das extremidades, distando 30 metros da seção central.

Foram coletadas cinco amostras, quatro na trincheira e uma na margem do riacho Salgado, todas elas rochas graníticas com textura variando de grossa a muito grossa, orientação geral de 80°Az e duas direções principais de fraturas, a primeira segundo a direção NW-SE (160°Az), e a segunda apresentando uma atitude de 35°/130°Az, conseqüentemente, direção NE-SW, formando um par com a anterior.

Na Divisão de Monitoração Ambiental do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (DIAMB/CRCN-NE), foram realizadas as análises radiométricas utilizando espectrometria gama de alta resolução

(EGAR). Amostras de rocha foram maceradas até atingir tamanho de partículas de 200 mesh. Porções analíticas de 50g foram transferidas para um recipiente de plástico. Após vedação com material apropriado, as amostras foram estocadas por tempo mínimo de 30 dias para garantir equilíbrio secular entre o ^{226}Ra e seus respectivos filhos de meia-vida curta. Para a garantia da qualidade analítica, porções analíticas de cerca de 50 g dos materiais de referência IAEA 312 ^{226}Ra , Th and U in soil e IAEA 314 ^{226}Ra , Th and U in stream sediment, produzidos pela Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, foram analisadas juntamente com as amostras. A radioatividade das amostras e materiais de referência foi medida em detector de germânio hiperpuro (HPGe) por por 80.000 segundos. A deconvolução dos espectros foi realizada no software Genie da Canberra. Para os cálculos de concentração de atividade na EGAR, a Tabela 1 mostra as linhas gama utilizadas, assim como a estimativa dos erros relativos médios de acordo com os resultados obtidos para cada material de referência analisado. O detalhamento do procedimento analítico pode ser consultado em Farias et al. (2011).

Tabela 1. Linhas gama utilizadas na espectrometria gama de alta resolução (EGAR) para o cálculo da concentração de atividade. Os erros relativos são referentes aos materiais de referência geológicos analisados.

Radionuclídeo	Linha gama (keV)	Nuclídeo (Abundância gama)	Erro relativo médio esperado* (%)
^{238}U	63,29	^{234}Th (4,8%)	8,7
	1001,03	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ (0,85%)	7,0
^{226}Ra	609,31	^{214}Bi (46%)	14
^{228}Ra	911,07	^{228}Ac (27,7%)	20
^{40}K	1460,75	^{40}K (10,7%)	10

* detalhes da estimativa podem ser consultados em Farias et al. (2011)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrografia

No campo, a área da anomalia apresenta superfície aplainada e arenosa com muitos seixos e calhaus de rocha e quartzo, típica das várzeas dos rios e riachos do semi-árido nordestino, como o riacho Salgado adjacente (Fig. 3). O perfil radiométrico, a ser discutido na seção seguinte, também está ilustrado na figura 3.

No afloramento, a rocha apresenta coloração creme-avermelhada, textura porfirítica e granulação variando de grossa a muito grossa, variando de 0,5 a 3,0 cm (Fig. 4A). Destacam-se os feldspatos potássicos e plagioclásios e muitos vacúolos, provavelmente deixados pelo quartzo, que está ausente. Os feldspatos estão quase na mesma proporção com o K-feldspato de cor “carne” e os plagioclásios acinzentados, ambos em grandes cristais eudrais a subedrais e levemente orientados (Fig. 4B).

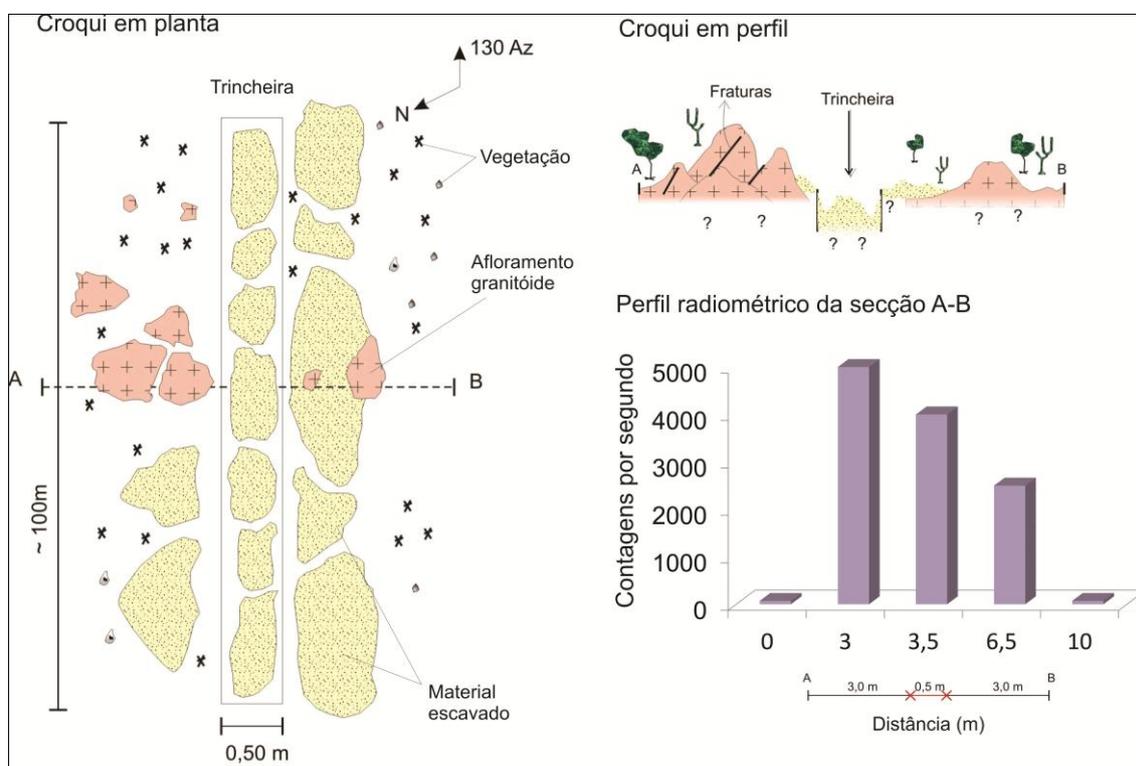


Figura 3 – Croqui em planta e em perfil com o esboço geológico da ocorrência de Sítio Bravo, Pocinhos, Estado da Paraíba. Também é apresentado o perfil radiométrico da secção realizado no local.

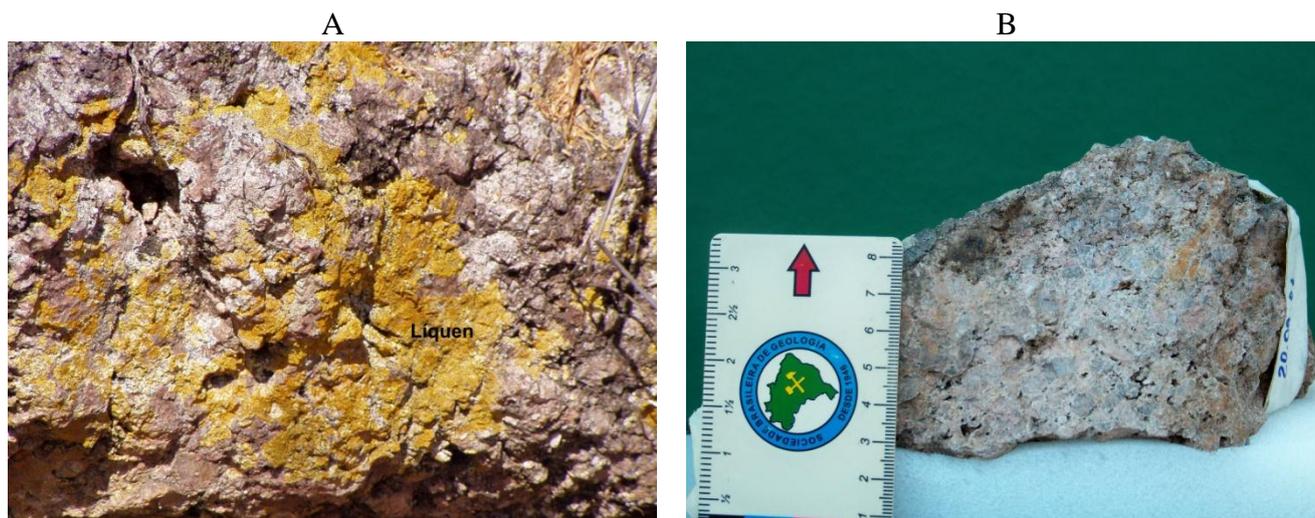


Figura 4 – A. Aspecto da textura da rocha granítica da ocorrência de Pocinhos, Estado da Paraíba. Detalhe do líquen sob a superfície do material (pode ser confundido com o mineral de urânio). B. Imagem detalhada da rocha. Notam-se os vazios na granulação muito grossa da rocha, que é formada por feldspato alcalino (ortoclásio) e plagioclásio. Os vazios provavelmente são resultados da lixiviação de quartzo.

Nos estudos petrográficos em lâmina delgada foram identificados os seguintes minerais: plagioclásio (oligoclásio predominante, e albita), ortoclásio pertítico, biotita inclusa nos grandes cristais de plagioclásio, raros opacos e zircão, além de pseudomorfos (antigos cristais de biotita substituídos, por sericita). Há uma matriz fina intergranular composta por feldspatos que, às vezes, mostra agregados de cristais radiais de feldspatos semelhantes a esferulitos, sugerindo cristalização sob fusão magmática super-resfriada. A presença de vacúolos (cavidades mirolíticas) sugere, ainda, a dissolução do quartzo ou de gases em expansão de magma rico em voláteis (Fig. 4B). Do ponto de vista quantitativo, os percentuais do volume total dos minerais da rocha foram estimados em 35% para plagioclásio, 23% para ortoclásio, 23% matriz fina (feldspato), 7% vacúolos, 2% para sericita, biotita, opaco, zircão e pseudomorfos (de biotita). Os tamanhos dos cristais de feldspatos, principais constituintes da rocha, são variados, acarretando granulação variada,

intergranular trimodal ou seriada (Fig. 4B). Além da granulação muito fina a fina (cristais inferiores a 1,0 mm), existem, pelo menos, mais duas classes granulométricas, com cristais de granulação média (entre 1,0 e 5,0mm), dominante, e outra com cristais de granulação grossa, com tamanho maior que 5,0mm.

Os cristais de feldspato aparentam crescimento em tempos diferenciados, pois alguns cristais de plagioclásio apresentam corrosões, as quais apontam para interação entre o material e a fusão. É comum a presença de pertita e de inclusões de pequenos cristais de plagioclásio no ortoclásio. O inverso não ocorre. Esses pequenos cristais de plagioclásio seriam precoces. Os cristais de plagioclásio de granulação grossa (tamanhos maiores que 5 mm) caracterizam-se pelo formato prismático, apresentam lamelas de geminação paralelas aos comprimentos e constituem-se de feição típica de origem magmática. Os grandes cristais de feldspato criam espaço para a cristalização intergranular da matriz e

de diminutos cristais idiomórficos (plagioclásio).

Mantos de plagioclásio são frequentes nos feldspatos maiores, aparecendo nas bordas dos minerais, dando aos mesmos, principalmente aos plagioclásios, contornos (faces) cristalinos. O desenvolvimento de faces cristalinas é melhor na direção dos vazios da rocha. As lamelas dos geminados tipo albita, nesses mantos, são irregulares, pouco frequentes e relativamente espessas, características contrárias as que apresentam os geminados no interior dos cristais. Geminados do tipo albita, semelhantes aos existentes nos mantos, aparecem em manchas e veios no ortoclásio, parecendo com a albita do tipo “tabuleiro de xadrez”, descrita como textura de substituição.

Para a determinação da composição de plagioclásio foi utilizado o método de Michel-Levy, nos grãos pequenos, pouco alterados, parcialmente inclusos ou não, a medição forneceu composição de anortita ($An=06$ ou $An=32\%$). Os cristais idiomórficos dão ordem de grandeza de $An=10$ ou $An=29\%$. Os mantos dão composição $An=03$ ou $An=36\%$. As composições podem ser provavelmente albita ou oligoclásio.

A razão entre o feldspato alcalino (albita e feldspato potássico) e o plagioclásio (Classificação Streckisen), permite classificar a rocha original como quartzo monzonito. Porém, as feições apresentadas pela rocha são compatíveis com a presença de metassomatismo sódico, associado com a mineralização uranífera, relacionada a processos de dessilicificação, hematitização e albitização (Angeiras et al., 1978). A rocha exibe feição de transformação fraca a moderada, que possivelmente pertence ao estágio magmático final ou de metassomatismo hidrotermal (Brito et al., 1984). A rocha é magmática

plutônica (protólito). Considerando-se que se o quartzo esteve presente (vazios = 7%) a rocha não teria sido rica neste mineral antes dos eventos de substituição (Figura 4B). Como quartzo não está presente na rocha é possível que o mineral tenha sido lixiviado no metamorfismo hidrotermal (Angeiras et al., 1978).

Radiometria

A radiometria na superfície do terreno, tomada como radiação de fundo, ficou em torno dos 70 contagens por segundo (cps) conforme mostra a Figura 3. A variação entre as taxas de contagens na rocha e no solo arenoso com pedregulhos não foi significativa. Entretanto, nos afloramentos junto da trincheira, as contagens elevaram-se acima de 2000 cps e com o cintilômetro colocado sobre a superfície rochosa, as contagens variaram de 2.500 cps a 5.000 cps (Fig. 3). A trincheira tem 100 m de comprimento e 0,50 m de largura e uma profundidade variável, em média de 0,30 m, devido ao desmoronamento das paredes laterais e ao aterro da escavação decorrente do carreamento do entulho para seu interior, após longo período de abandono (Fig. 3).

A alta atividade de radiação gama da rocha pode ser comprovada pela Figura 5, que ilustra o espectro da amostra de rocha analisada por meio de espectrometria gama de alta resolução (EGAR). Ao ser comparada com o branco analítico, ambos medidos nas mesmas condições de contagem (80.000 segundos), a atividade foi cerca de 10^5 maior para um dos fotopicos mais relevante do espectro (609 keV proveniente do decaimento de ^{214}Bi). Os principais fotopicos do espectro correspondem às energias dos radionuclídeos da série do ^{238}U (Tabela 1), enquanto aqueles da série do ^{232}Th e o ^{40}K possuem relativa menor contagem. Nesta figura, foi possível também elucidar a complexidade típica das

séries radioativas naturais quanto à quantidade de radionuclídeos e fotopicos resultantes do decaimento radioativo dos diversos nuclídeos-filhos.

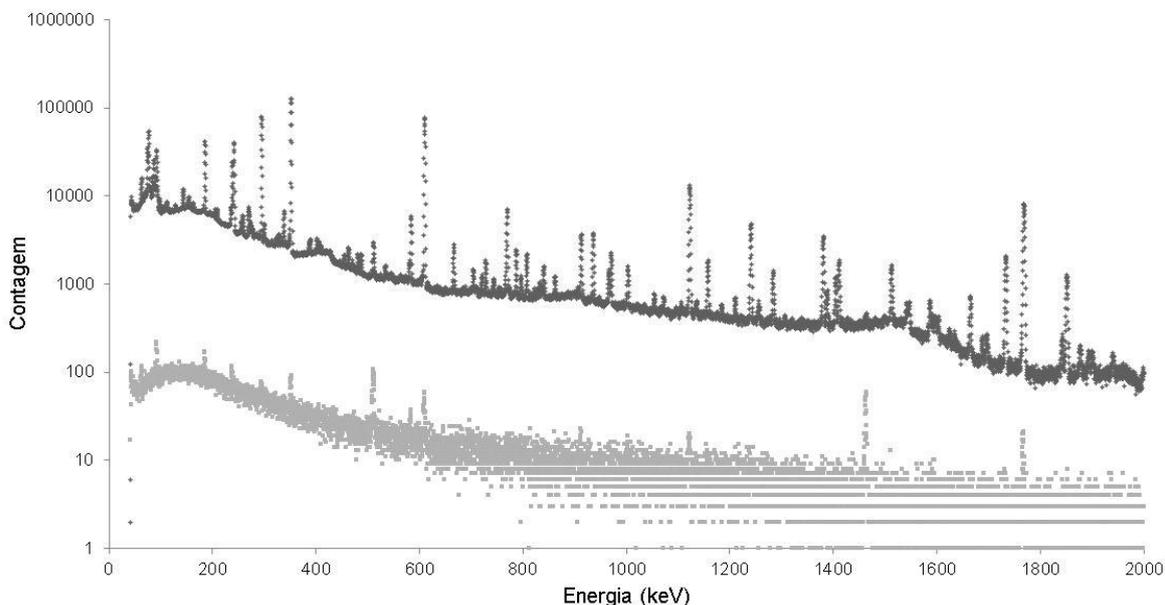


Figura 5 – Espectro de radiação gama do granito, mostrando a alta atividade da amostra (cinza escuro) comparado ao branco analítico (cinza claro). Os fotopicos mais relevantes do espectro correspondem às energias dos radionuclídeos da série do ^{238}U .

A concentração de atividade em kBq/kg dos principais radionuclídeos obtida na rocha está apresentada na Tabela 2. Aproveitando-se da capacidade de determinação de diversos radionuclídeos da EGAR, os valores de concentração de atividade apresentados demonstraram razoável coerência entre si para os radionuclídeos da mesma série radioativa. Por exemplo, ^{238}U e ^{226}Ra apresentaram equilíbrio radioativo, pois, nesse caso, as suas respectivas

concentrações de atividade foram estatisticamente iguais em nível de 95% de confiança. Após os devidos cálculos, foi possível também converter as concentrações de atividade em frações de massa dos principais radionuclídeos no granito, assumindo-se as devidas proporções isotópicas. Dentre os radionuclídeos encontrados (Tabela 2), aquele de menor importância foi ^{40}K , cuja presença foi associada a minerais presentes no granito como ortoclásio, abundante no material estudado.

Tabela 2. Concentração de atividade (kBq/kg) e incerteza analítica padronizada (kBq/kg) e fração de massa convertida (mg/kg) obtidos por espectrometria gama de alta resolução na amostra de granito.

	Concentração de atividade (kBq/kg)	Fração de massa convertida (mg/kg)*
^{238}U	19,2 ± 0,3	1500
^{226}Ra	20,0 ± 0,1	-
^{232}Th	2,02 ± 0,04	500
^{40}K	0,40 ± 0,08	-

Os radionuclídeos precursores das principais séries radioativas naturais (^{232}Th e ^{238}U) encontraram-se em concentrações significativas nas amostras de rochas analisadas. Após apropriada conversão, o valor de óxido de urânio (U_3O_8) para a rocha foi estimado em 1.800 mg/kg, ou seja, 0,18%. Para o granito-gnaiss de Espinharas, o valor de fração de massa de U_3O_8 variou de 0,5% até 4,5 % (Santos & Anacleto, 1985; Porto de Silveira et al., 1991), enquanto que, para a jazida de Lagoa Real, Estado da Bahia, o valor máximo encontrado foi 0,42% nas amostras de albitito (Oliveira et al., 1985).

Dentre as ocorrências listadas para a região (Fig. 2), dados de concentração de atividades foram encontrados apenas para valores radiométricos *in situ*, ou seja, não foi realizada discriminação dos radionuclídeos ocorrentes e sua contribuição para a atividade total. Contudo, com as frações de massa de urânio das rochas, pode-se inferir sobre a atividade produzida pelo material. No caso, a anomalia de Espinharas, também localizada no Estado da Paraíba, apresentou provavelmente concentrações de atividade da mesma ordem de magnitude, uma vez que os valores médios de fração de massa foram 800 mg/kg para U e 710 mg/kg para Th, respectivamente (Barbosa et al., 2007). Semelhantemente, resultados de rocha metassomatizada da Guiana indicariam atividades menores àquelas obtidas neste trabalho, uma vez que a média de fração de massa encontrada para U foi cerca de 620 mg/kg (Alexandre, 2010). Contudo, valor encontrado em gnaiss granítico da mesma ocorrência foi cerca de 4.900 mg/kg (Porto de Silveira, 1991), indicando altos níveis de atividade a serem produzidos. Considerando o levantamento realizado em campo e os

aspectos radiométricos do trabalho, pode-se dizer que a ocorrência de Pocinhos possui relevância em termos da concentração de urânio e tório, com consequente produção de radiação gama em quantidades apreciadas, contudo, sua ocorrência é restrita e pontual.

CONCLUSÕES

A ocorrência uranífera de Sítio Bravo pode ser resumida a um único afloramento de rocha granítica, que faz parte do Batólito de Esperança. A mineralogia essencial é dominada por plagioclásio, com predomínio da albita, e ortoclásio pertítico. Ocorrem muitos vacúolos por entre os grãos de feldspato, decorrentes da dissolução do quartzo, que está ausente. Baseado na composição (razão entre feldspato alcalino/plagioclásio), é possível inferir como protólito o “quartzo-monzonito”. Com posterior presença de metassomatismo sódico, por meio de processos de dessilicificação (ausência do quartzo), hematitização (aspecto avermelhado da rocha e opacos) e albitização (presença de albita no plagioclásio e pertita no ortoclásio), evidenciou-se a associação da mineralização uranífera com o processo de metassomatismo sódico. A análise por espectrometria gama de alta resolução confirmou as altas concentrações de atividades de urânio e tório. Apesar dos teores anômalos de radionuclídeos das séries naturais, a ocorrência apresenta-se apenas como afloramento localizado, sendo considerado o significado geológico desta ocorrência de urânio restrito e pontual.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. José Maurício Rangel, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de

Pernambuco, por sua valiosa contribuição nas análises petrográficas.

REFERÊNCIAS

- Alexandre, P. 2010. Mineralogy and geochemistry of the sodium metasomatism-related uranium occurrence of Arincheng South, Guyana. *Miner. Deposita*, 45: 351-367.
- Angeiras, A. G., Netto, A. M., Campos, M. 1978. Mineralização Fósforo-Uranífera Associada a Epissienitos Sódicos no Pré-Cambriano Cearense. In: *XXX Congresso Brasileiro de Geologia, 1978 ...Abstract., Bol. 1 p. 341.*
- Barbosa, C. T. P., Souza Neto, J. A., Honorato, E. V., Arruda, G. N. 2007. Diagnóstico Geoquímico do Sistema Solo-Rocha da Área com Anomalia Radioativa Natural em São José de Espinharas (PB): Radiação Gama, Matéria Orgânica e Carbonatos Totais. In: *XI Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2007... Anais do XI Congresso Brasileiro de Geoquímica. Atibaia, p. 1-4. 1 CD-ROM.*
- Brito, W., Raposo, R., Matos, E. C. 1984. Os Albitos Uraníferos de Lagoa Real. In: *XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1978... Anais... p. 1475-1488.*
- Farias, E. E. G., Honorato, E. V., França, E. J., Hazin, C. A. 2011. Determination of ^{238}U and ^{232}Th in geological samples by alpha and gamma spectrometry. In: *2011 International Nuclear Atlantic Conference, 2011... Abstracts.. 1 DVD-ROM.*
- Oliveira Rodrigues, S.W. & Brito Neves, B. B. 2008. Porto da Silveira, D. L., Schorscher, H. D., Miekeley, N. 1991. Padrões isotópicos Sm-Nd no limites entre os terrenos Alto Pajeú e Alto Moxotó (PB). *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (1):211-227.
- Oliveira, A. G., Fuzikawa, K., Moura, L. A. M., Raposo, C. 1985. Província Uranífera de lagoa Real - Bahia. In: Brasil. Departamento nacional da Produção mineral. Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM/CVRD, Brasília, p.143-155.
- Porto da Silveira, D. L., Schorscher, H. D., Miekeley, N. 1991. The geochemistry of albitization and related uranium mineralization, Espinharas, Paraíba (PB), Brazil. *J. Geochem. Explor.*, 40: 329-347.
- Santos, E. J., Ferreira, C.A., Silva Jr, J. R. 2002. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba* (Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil). CPRM, Recife, 142p.
- Santos, L. C. S. & Anacleto, R. 1985. Jazida de Urânio de Espinharas – Paraíba. In: Brasil. Departamento nacional da Produção mineral. Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM/CVRD, Brasília, p.143-155.
- Souza, E. M. & Villar, H. P. 2007. *Visita à Ocorrência de Urânio no Município de Pocinhos-PB* (Anomalia Sítio Bravo). CNEN-CRCN, Recife, 11p. *Relatório Interno.*