

Geofísica Aplicada a Prospecção Mineral Análise Qualitativa e Metodologia Indireta Projeto Fosfato Brasil - Ceará Central

Marcos Kaíre Miguel Sobrinho, José Adilson Dias Cavalcanti & Maria Dulcinéia M. R. Bessa

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

O Trabalho consistiu no processamento e na análise a priori qualitativa dos dados de aerogeofísica do Estado do Ceará com observação e identificação de pontos anômalos em U selecionados e inseridos em um SIG, nos pontos anômalos foi verificado em fase inicial o teor radioativo com cintilometria e posteriormente com gamaespectrometria. Nos pontos foram localizados indícios e ocorrências que foram confirmadas através de diversas análises.

Introdução

Na região central do Ceará, o principal depósito de fosfato conhecido é o de Itaitaia que foi descoberto em 1976, através do Projeto Canindé, convênio NUCLEBRÁS/CPRM. A partir da descoberta, foram realizados levantamentos geofísicos, mapeamento geológico, 37.000m de sondagens, aberturas de trincheiras e 1.270m de galerias. Durante um longo período a jazida não foi explorada e só recentemente a Mineradora Galvani venceu a concorrência pública das Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e adquiriu o direito de explorar a jazida. A expectativa é de começar a produzir, em 2014, 240 mil toneladas de fosfato e 1.500 toneladas de urânio por ano, com reservas totais de 9 milhões de toneladas de fosfato e 80 mil toneladas de urânio. Esta jazida não se encaixa nos modelos de depósitos "puramente" sedimentogênicos ou magmatogênicos, pelo fato de ser epigenético, estar encaixada em rochas metassedimentares de alto grau metamórfico e não apresentar relação com a deformação e metamorfismo. Os trabalhos do Projeto Fosfato Brasil no Ceará tiveram início em agosto de 2009 na região do Sertão do Canindé, onde se encontra o depósito fósforo-uranífero de Itaitaia. Por se tratar de um depósito de fosfato enigmático, decidiu-se por realizar um estudo detalhado do depósito, para com isso, elaborar um modelo descritivo e genético, não deixando de lado o objetivo principal do projeto que foi prospectar o fosfato. Na busca por novos indícios e ocorrências de mineralização fósforo-uranífera no Ceará, foi realizado um estudo utilizando a literatura disponível sobre o conhecimento metalogenético, assinatura geoquímica e geofísica, contexto geológico e controle estrutural do depósito de Itaitaia. A área do Projeto Fosfato Brasil no Estado do Ceará encontra-se recoberta pelos projetos

aerogeofísicos Itaitira (1977) e Norte do Ceará (2009). Além dos dados aerogeofísicos foram realizadas medidas, no campo, utilizando o cintilômetro e gamaespectrômetro, para auxiliar a identificação de anomalias de U e, conseqüentemente, os minérios fósforo-uraníferos da região. Como o Projeto Norte do Ceará possui resolução muito superior ao de Itaitira, o mesmo foi adotado para os estudos locais, em escala aproximada de 1:100.000. O levantamento aerogeofísico Norte do Ceará recobre uma área de 111.080km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de vôo e de controle espaçadas de 0,5km e 10km e orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura do vôo foi fixada em 100m sobre o terreno e admitiram-se variações de aproximadamente 15m. Foi utilizado no levantamento aeromagnetométrico o sensor Geometrics G-822A, com resolução de 0,001 nT, na faixa de 20.000 a 95.000 nT, com leituras realizadas a cada 0,1seg, em uma velocidade de 270km/h, o que equivale a 7,5m no terreno. Já, no levantamento aerogamaespectrométrico, foi utilizado gamaespectrômetro Radiations Solutions, modelo RS-500, de 1024 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para a determinação precisa dos fítopicos de potássio, urânio e tório (CPRM 2009).

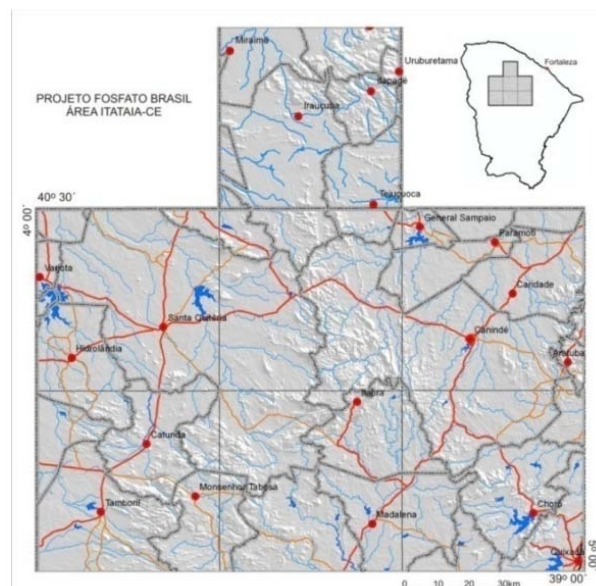


Figura 01 - Mapa da área do Projeto Fosfato Brasil no Estado do Ceará com os principais acessos, divisões e sedes municipais.

Localização

A área do projeto localiza-se na porção central do Estado do Ceará e envolve a Folha Quixadá (SB.24-V-B) e a Folha Irauçuba (SA.24-Y-D-V) com cerca de 21.175 KM²

(Figura 02). A Folha Quixadá é delimitada pelos paralelos de 40 00' s e 50 00' s e meridianos 390 00' w e 400 30' w e abrange os municípios de Quixadá, Canindé, Santa Quitéria, Caridade, Choró, Madalena, Paramonti, General Sampaio, Itaira, Varjota, Hidrolândia, Catunda, Monsenhor Tabosa e Tamboril. A Folha Irauçuba é delimitada pelos paralelos 3º 30's e 4º 00's e pelos meridianos 39º 30'w e 40º 00'w e abrange os municípios de Irauçuba, Itapipoca, Uruburetama, Miraima e Tejuçuoca (Figura 01).

Geologia

Contexto Geológico A Província Borborema está inserida na porção nordeste da plataforma Sul-Americana (Almeida et al. 1977) e é constituída basicamente por complexos gnáissicos migmatíticos do Neoarqueano e do Paleoproterozóico, que representam o embasamento que está parcialmente coberto por seqüências supracrustais metassedimentares e metavulcânico-sedimentares de idades do Mesoproterozóico ao Neoproterozóico. Estas últimas encontram-se intrudidas por corpos granitóides de idades do Neoproterozóico ao Ordoviciano (Brito Neves et al. 2001). Sob o ponto de vista tectônico, a província está dividida em domínios por um complexo sistema de zonas de cisalhamento, que podem representar a colagem de fragmentos crustais aglutinados durante a orogênese Brasileira/Pan-Africana que envolveu os cratons São Luis-Oeste Africano, Amazonas, São Francisco-Congo e outros blocos menores, a cerca de 600 Ma (Brito Neves & Cordani, 1991). As zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco definem a compartimentação tectônica da Província Borborema em três sub-provínias: Setentrional, Transversal e Meridional. Na concepção de Brito Neves et al. (2001) a Sub-província Setentrional é limitada a sul pelo Lineamento de Patos e é dividida de oeste para leste nos domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte. A área estudada situa-se no Domínio Ceará Central que é delimitado a noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral – Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), a sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, a nordeste pelo Oceano Atlântico e a sudoeste pelos sedimentos da Bacia Parnaíba. Estruturalmente, o Ceará Central pode ser subdividido em três domínios delimitados pelas zonas de cisalhamento Tauá e Sabonete-Inharé.

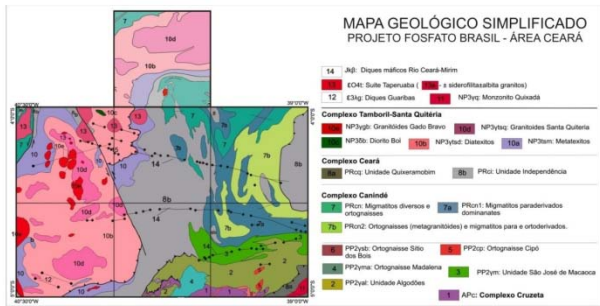


Figura 02 – Mapa geológico simplificado da área do projeto (1:250.000). Compilado e modificado de Torres et al. 2008; Cavalcante et al. 2003).

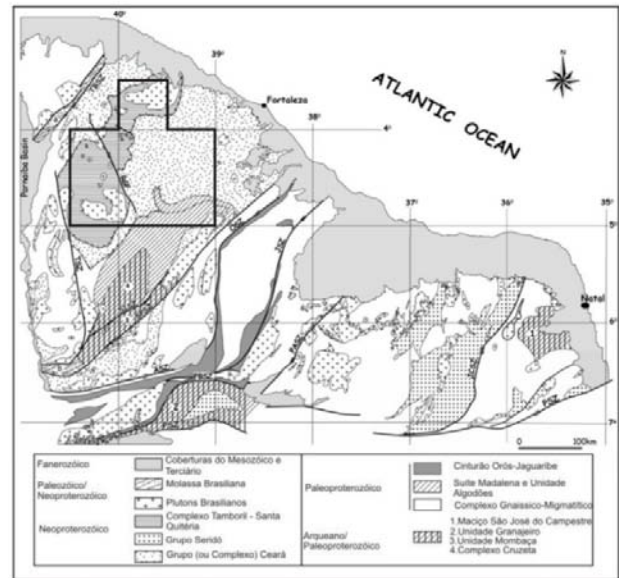


Figura 03 - Porção setentrional da Província Borborema com destaque para a localização da área do projeto fosfato. Principais zonas de cisalhamento: TBSZ, Sobral-Pedro II; TSZ, Tauá; SISZ, Sabonete-Inharé; SPSZ, Senador Pompeu; OSZ, Orós; JSZ, Jaguaribe; PASZ, Portalegre; JCSZ, João Câmara; ASZ, Aiuabá; FBSZ Farias Brito; PSZ, Patos. RGF, Falha Rio Graúiras. Modificado de Mont'Alverne et al. (1998), Cavalcante (1999), Cavalcante et al. (2003), Van Schmus et al. (2003), Dantas et al. (2004) e Arthaud (2005). Compilado de Arthaud et al. 2008.

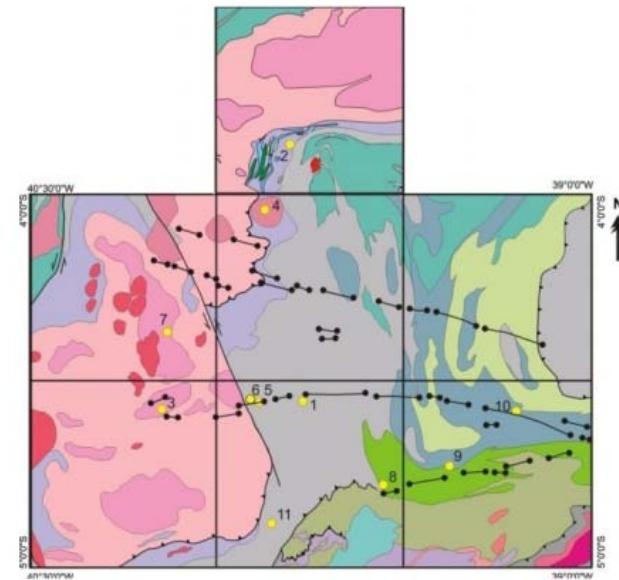


Figura 04 – Mapa geológico simplificado com a localização dos pontos estudados. (1) Itaitaia, (2) Mandacari, (3) Serotes Baixos, (4) Suíte Taperuba. Os outros pontos foram classificados como índices de mineralização de fosfato (5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11).

Estes domínios são conhecidos na literatura como blocos Acaraú, Santa Quitéria (Kegel 1965) e Mombaça (Fetter 1999). Em termos tectono-estratigráficos o Ceará Central apresenta a seguinte compartimentação: i) o embasamento Arqueano, representado pelo Complexo Cruzeta (Oliveira & Cavalcante 1993); ii) terrenos acresionários do Paleoproterozóico que englobam o Complexo Madalena-Algodões-Choró (Castro 2004) e o Complexo Canindé do Ceará (Torres et al. 2008); iii) uma seqüência metassedimentar de margem passiva neoproterozóica, representada pelo Complexo Ceará (Cavalcante et al. 2003; Castro 2004, Arthaud 2008); iv)

o complexo anatético-ígneo Neoproterozóico representado pelo Complexo Tamboril-Santa Quitéria (Campos et al. 1979); v) os granitóides neoproterozóicos / cambrianos; vi) as molassas paleozoicas associadas as megatranscorrências brasileiras; e vii) pelo magmatismo Cretáceo representado pelo enxame de diques básicos Rio Ceará-Mirim (Figuras 02, 03 & 04). O Complexo Cruzeta representa o único fragmento do arqueano no Domínio Ceará Central e a idade mais antiga encontrada foi U-Pb em SHRIMP de 3270 Ma (Silva et al. 2002) em um metatonalito do Unidade Tróia. A Unidade Mombaça possui idades de U-Pb convencional entre 2875 Ma e 2794 Ma e a Unidade Pedra Branca idades U-Pb variando entre 2875 Ma e 2773 Ma (Fetter, 1999). O Complexo Madalena-Algodões-Choró representa um cinturão acrescionário constituído por associações de ortognaisses, vulcano-sedimentares, metassedimentares e núcleos gnáissico-migmatíticos, com idades U-Pb no intervalo entre 2056 Ma e 2236 Ma (Castro 2004, Fetter 1999 e Martins 2000). O Complexo Canindé do Ceará possui idades Pb-Pb no intervalo entre 2098 Ma e 2130 Ma, obtidas de ortognaisses (Torres et al., inédito). As supracrustais do Complexo Ceará possuem idades U-Pb convencionais entre 740 Ma e 634 Ma e foram interpretadas como originadas a partir de depósitos de margem passiva e que posteriormente foram envolvidas em uma tectônica do tipo fore-arc (Castro 2004). Atrahud (2008) interpretou o “Grupo” Ceará como uma seqüência de margem passiva associada a abertura de um oceano que teria iniciado em 850 Ma. O magmatismo Neoproterozóico, no Ceará Central, é representado pelo Complexo Tamboril – Santa Quitéria que foi datado pelo método U-Pb e apresentou idades no intervalo entre 657Ma – 591Ma (Fetter et al. 2003, Castro 2004). A Suíte Magmática Tauá foi datada pelo método K-Ar em 537+-28Ma (Pessoa et al. 1986) e pelo método Rb-Sr em 536+-163Ma (Brito Neves et al. 1977). Já em relação aos Diques Guaribas, estes podem estar relacionados à distensão crustal que ocorreu na Província Borborema que deu origem aos proto-rifts Jaibáras (CE), Cococi (CE) e São Julião (PI). As idades existentes para a Bacia Jaibaras foram adquiridas pelo método K-Ar em rocha total e estão inseridas no intervalo entre 502 Ma e 410 Ma (Brito Neves et al. 1977, Novais et al. 1979, Prado et al. 1981 e Mizusaki & Saracchini 1990). Os stocks de granitóides anorogênicos do Ceará Central (ex: Suíte Taparuaba) foram datados pelo método U-Pb em 460+-2,6Ma e 467+-7,7 Ma (Castro et al. 2008). Em relação ao magmatismo do Cretáceo, o enxame de diques Rio Ceará-Mirim é um magmatismo toleítico relacionado ao processo de rifteamento em escala global e a atividade de hotspot durante a abertura do Atlântico Sul e Equatorial (Hollanda et al. 2006). Segundo Hollanda et al. (2006) a fonte dos basaltos Rio Ceará-Mirim parece estar relacionada com a fusão de um manto litosférico enriquecido, desencadeado por uma anomalia térmica de longa duração, ou seja, pode estar relacionado tanto a plumas mantélicas profundas quanto a células convectivas induzidas por descontinuidades litosféricas. Ainda de acordo com Hollanda op.cit. um único evento magmático relacionando os diques Rio Ceará-Mirim e a pluma Tristão da Cunha foi sugerido pelas idades platô Ar 40/ Ar 39 de 130,9+-1,7 Ma em anfibólio (Smith et al. 2001 in Hollanda et al. 2006) e de 129+-1,7 Ma e

110,7+-0,7Ma em plagioclásio (Araujo et al. 2001 in Hollanda et al. 2006).

Métodos

O projeto foi desenvolvido utilizando técnicas tradicionais de prospecção mineral, tais como, aerogeofísica (magnetometria e gamaespectrometria - Figura 05 & 06), cintilometria e gamaespectrometria terrestre, espectrorradiometria e geoquímica de sedimentos, solos e concentrados de bateia. Além desses métodos foram realizadas análises petrográficas e análises geoquímicas de minérios e rochas encaixantes. Os dados foram integrados e analisados em ambiente SIG.

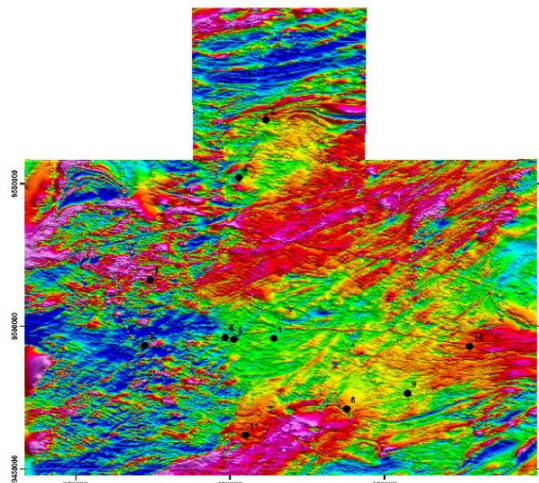


Figura 05 – Imagem do campo magnético total com a localização dos indícios de mineralização de fosfato.

Os trabalhos tiveram início com a revisão bibliográfica sobre o depósito de Itataia. Com base na revisão da literatura disponível sobre a área e dos produtos dos projetos geofísicos Canindé (1976) e Itatira (1978) foram localizadas 24 anomalias de urânio e 4 ocorrências fósforo-uraníferas. A partir das anomalias de urânio, das ocorrências fósforo-uraníferas e do contexto geológico é que a área de trabalho do projeto fosfato no Ceará foi delimitada. O fluxograma concebido para a execução do projeto foi dividido em 4 etapas: i) inicial; ii) preparatória; iii) principal; iv) e final. Na etapa inicial, foi montada a equipe e também foram realizados cursos e visitas técnicas aos principais depósitos de fosfato do Brasil, a fim de nivelar o conhecimento dos componentes da equipe. Na etapa preparatória, foi realizada a compilação, avaliação dos dados disponíveis e seleção das áreas a serem estudadas, além de visita técnica a estas áreas. Na etapa principal é que foram desenvolvidos os estudos de prospecção mineral propriamente ditos. A etapa final foi reservada para a integração e avaliação dos dados, que culminou com a seleção de alvos e publicação de um relatório final. No processamento dos dados Magnetométricos foi utilizado o software OASIS MONTAJ, do sistema GEOSOFT, seguindo o seguinte fluxograma: preparação do banco de dados do levantamento, correção do erro de paralaxe, remoção da variação magnética diurna, nivelamento dos perfis,

micronivelamento dos perfis e remoção do IGRF (CPRM 2009).

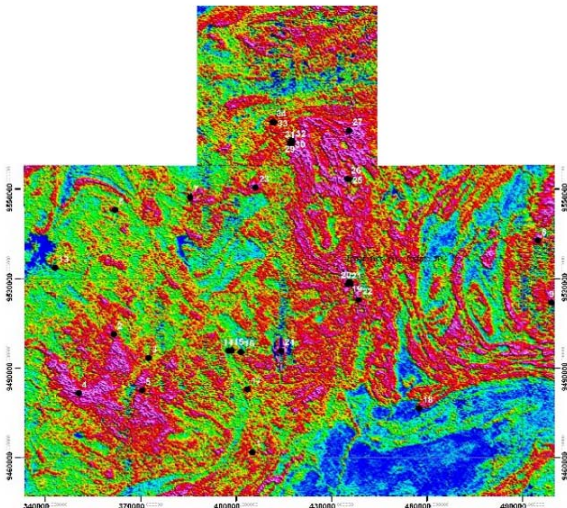


Figura 06 – Imagem do canal de urânio com a localização das anomalias com valores acima de 10ppm de U.

A interpretação dos dados magnéticos teve como objetivo principal elaborar um mapa de lineamentos e, secundariamente, localizar anomalias que possivelmente caracterizassem a presença de corpos intrusivos nas proximidades das áreas mineralizadas. As imagens utilizadas na interpretação foram campo magnético anômalo, primeira derivada vertical e amplitude do sinal analítico. A Falha Rio Groairas é a estrutura mais marcante na área, observada em todas as imagens do campo magnético utilizadas. Outras estruturas lineares que também aparecem marcantes na área são: i) um dique NE-SW correlacionado aos diques Rio Ceará-Mirim; e ii) um feixe de três diques, grosseiramente alinhados E-W, que podem ser correlacionados ao magmatismo Rio Ceará Mirim ou ao magmatismo Cuó. Nas imagens da 1ª derivada e do sinal analítico o domínio do Complexo Tamboril – Santa Quitéria é nitidamente delimitado. Outra feição bastante interessante é uma anomalia bi-polar localizada 20 km a sudeste de Itaitaia que corresponde a um plug de rochas ultramáficas serpentinizadas. No processamento dos dados gamaespectrométricos foi seguido os procedimentos recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica e foi utilizada a rotina contida no sistema de processamento radiométrico OASIS-RPS da GEOSOFT: correção do tempo morto, aplicação de filtragem, correção de erro de paralaxe, cálculo da altura efetiva de voo, remoção do background da aeronave e cósmico, remoção do background do radônio, estimativa dos coeficientes Skyshine, correção do efeito Compton, correção altimétrica (coeficiente de atenuação atmosférica) e conversão para concentração de elementos (CPRM 2009). A interpretação dos dados gamaespectrométricos teve como objetivo principal a identificação de áreas anômalas em U e secundariamente a delimitação de unidades litoestratigráficas. Foram utilizadas a imagem do urânio anômalo e a imagem ternária RGB (K:Th:U). Realizou-se

uma reclassificação do canal de urânio considerando valor anômalo aquele maior que o limiar ($L = m + 3s$, onde “m” é a média aritmética e “s” é o desvio padrão). Para a área do projeto Norte do Ceará o limiar calculado foi de 6,7ppm. Como as rochas que afloram na área comumente apresentam valores anômalos em urânio e isto reflete em grandes áreas, utilizamos o valor de corte >10ppm e com isso foram selecionadas 34 anomalias para serem visitadas. Algumas dessas anomalias coincidem com pontos onde se tem conhecimento de índice de mineralização de fosfato. Das anomalias visitadas, 11 pontos tiveram testes positivos para fosfato com o molibdato de amônia, incluindo o depósito de Itaitaia.

Resultados

Os dados do levantamento aerogeofísico do Projeto Norte do Ceará foram de grande relevância na localização das anomalias de urânio e conseqüentemente na identificação dos indícios de mineralização de fosfato na região, bem como na identificação dos controles estruturais da mesma. A partir dos lineamentos magnéticos E-W é que foi identificado pela primeira vez o enxame de diques Rio Ceará-Mirim na folha Quixadá, que até então não haviam sido mapeados pela CPRM. Estes alinhamentos não eram visíveis no aerolevanteamento anterior (Projeto Itaitira, 1977). Outra feição que também não era visível no levantamento aerogeofísico anterior é a anomalia bipolar, causada por um corpo isotrópico de rocha ultramáfica. Os dados gamaespectrométricos, especificamente os dados do canal de urânio, possibilitou a identificação de 34 pontos anômalos na região estudada, com valores iguais e superiores a 10 ppm de U (Figura 07). Nestes pontos foram identificadas e descritas anomalias relacionadas com ocorrências de fosfato, albita granitos e quartzitos. Como os dados antigos não possuíam a localização muito precisa, os novos dados vieram facilitar a localização dos pontos anômalos conhecidos desde a década de 1970.



Figura 07 - Colofanito com aspecto maciço. Responsável pelas anomalias de U em Itaitaia.

Conclusões

Na área estudada foram selecionadas 34 anomalias de urânio e destas resultaram na identificação de 11 ocorrências de fosfato, incluindo Itaitaia. As anomalias

onde não foram identificados indícios de fosfato são locais onde ocorrem corpos de leucogranitos (albita granitos) e quartzitos. Estas rochas podem constituir fontes de urânio. Com relação à prospecção de fosfato na porção setentrional da província, a partir deste estudo, apontamos como guia os lineamentos E-W correlacionados com o magmatismo Rio Ceará-Mirim em associação com anomalias de urânio. Indicamos também a realização de prospecção geoquímica nos alvos 9 e 10, onde as análises apontaram teores de P₂O₅ acima de 25%, a fim de identificar uma área maior em torno desses pontos. Com a instalação da mina e da usina de tratamento de minério de fosfato e urânio em Itataia, o interesse por novas áreas aumentará muito e as novas áreas apontadas passam ser de grande interesse, bem como os novos guias de prospecção para a porção setentrional da Província Borborema. Já com relação a origem da mineralização de fosfato, os indícios apontam para uma fonte magmatogênica tardia associada a um magmatismo anorogênico pós-brasiliano. Na região estudada, o intenso magmatismo que ocorreu no período entre o Neoproterozóico e o Cambriano marcou a história evolutiva da Província Borborema. Esta história inicia com a colisão dos cratons Oeste África-São Luís, em torno de 660 Ma; seguida pelo magmatismo Tamboril – Santa Quitéria entre 657 Ma e 591Ma, passando pelo metamorfismo de alto grau em 620 Ma, pelo magmatismo anorogênico, em torno de 470 Ma e pelo magmatismo Rio Ceará-Mirim relacionado com a abertura do Atlântico Sul em 130 Ma. Em que capítulo dessa história geológica se insere a formação do depósito de Itataia e as outras ocorrências de fosfato identificadas na região? Como pôde ser visto no mapa magnético, a maioria das ocorrências estão alinhadas com os Diques Rio Ceará-Mirim. As análises termo-geocronológicas a partir de traços de fissão em apatitas, realizadas por Netto et al. (1991), indicaram que a mineralização de itataia ocorreu em cerca de 91Ma, ou seja provavelmente relacionada a uma fonte termal que neste estudo correlacionamos aos diques Rio Ceará-Mirim. Para obtermos respostas mais precisas sobre a gênese desse depósito faz-se necessário à continuação dos estudos utilizando outras técnicas, tais como, química mineral da apatita (inclusive ETR's) e isótopos estáveis (O, C) e radiogênicos (U-Th)/He e (U-Pb). Estas técnicas podem ajudar a identificar as possíveis fontes dos fluidos mineralizantes e a idade da mineralização.

Referências Bibliográficas

Almeida, A.R.; Parente, C.V.; Arthaud, M.H. 2006. Relatório Final integrado das folhas Quixeramobim, Boa Viagem e Itatira. UFC/CPRM. Fortaleza-CE.

Almeida, F.F.M. de; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. de; Fuck, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras, In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Boletim Resumos, 6: 363-391.

Angeiras A.G., Neto A.M., Campos M. 1978. Mineralização fósforo-uranífera, associada a epissienitossódicos no Pré-Cambriano cearense. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 30, Boletim, v.1, p.341.

Angeiras A.G. 1988. Geology and metallogeny of the northeastern Brazil uranium-phosphorous province

emphasizing the Itataia Deposit. *Ore Geology Reviews*, 3: 211-215.

Arthaud, M. 2005. Tectônica de nappes e espessamento crustal brasileiro na região de Madalena? Boa Viagem, Ceará Central. Exame de Qualificação, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (não publicado) 76p.

Arthaud, M.H. 2007. Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central): da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, UnB, Brasília, 170p.

Arthaud, M.H.; Caby, R.; Fuck, R.A.; Dantas, E.L.; Parente, C.V. 2008. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B. & De Wit, M.J. (eds) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294.

Azevedo, L.M.P. & Moreira, R.C. 1981. Climatologia. In: Projeto RADAMBRASIL, Folhas SB.24/25, Jaguaribe-Natal. Rio de Janeiro, p.706-728.

Braga, A. de P.G.; Passos, C.A.B.; Souza, E.M. de; França, J.B. de; Medeiros, M. de F.; Andrade, V.A. 1977. Projeto Fortaleza. Recife, DNPM/CPRM, Vol.1.

Brito Neves, B.B. 1975. Regionalização geotectônica do Pré-cambriano Nordeste. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 198p.

Brito Neves, B.B.; CAMPOS NETO, M.C.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, E. J. 2001. O sistema Pajeú-Paraíba e o maciço São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):01-15.

Brito Neves, B.B.; Cordani, U.G. 1991. Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*, 53: 23-40.

Brito Neves, B.B.; Kawashita, K.; Mantavani, M.S. 1977. Contribuição à geocronologia do pré-cambriano cearense. Atas Simpósio de Geologia, 7, Fortaleza, p.299-318.

Brito Neves, B.B.; Passarelli, C.R.; Basei, M.A.S; Santos, E.J. 2003. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. *Geologia USP*, 3: 25-38.

Campos, M. de; Braga, A.P.G.; Mello, A.A. de; Sousa, E.M. de; Silva, F.A.F. da; França, J.B. de. 1979. Projeto Rio Jaguaribe. Relatório Final de Geologia. DNPM, Brasília-DF, 150p.

Castro, G.L., Parente, C.V., Veríssimo, C.U.V., Sial, A.N., Garcia, M.G.M., Santos, R.V., Melo, R.C., Santos, A.A. 2005. Isótopos de carbono e oxigênio dos mármorees associados com o depósito fósforo-uranífero de Itataia, Ceará. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, 199-208.

Castro, N.A. 2004. Evolução Geológica Proterozóica da Região entre Madalena e Tapera, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema). Instituto de

- Geociências, USP, Tese de Doutorado. São Paulo-SP, 221p.
- Castro, N.A.; Basei, M.A.S.; Teixeira, M.L.A. 2008. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints for the ordoician anorogenic granitoid magmatism at Tapeuba region, Ceará Central tectonic domain, northeast Brazil. In: VI South symposium on Isotope Geology, Argentina, Abstracts.
- Cavalcante J.C.; Vasconcelos, A.M.; Medeiros, M. F.; Paiva, I.G., 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará, 1/500 000. Fortaleza, Serviço Geológico do Brasil, Residência Fortaleza, CPRM. 1 CD Rom.
- Cavalcante, J.C.; Ferreira, C.A.; Ramalho, R.; Braun, O.P.G.; Batista, M.B.; Cunha, H.C.S. 1983. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Escala 1:500.000, Fortaleza. MME/DNPM/CEMINAS/SUDENE.
- CPRM. 2009. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Projeto aerogeofísico Norte do Ceará. PROSPECTORS AEROLEVANTAMENTOS E SISTEMAS LTDA. Volume 01. Texto técnico. 53p.
- Cuney, M. 2010. Evolution of uranium fractionation process through time: driving the secular variation of uranium deposit types. *Economic Geology*, v.105, p.553-569.
- Dantas, E.L.; Van Schutman.; Willians, I.S. 2004. The 3.4 - 3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, 130, 113-137.
- Favali, J. C.; Leal, J. R. L. V. - 1982 – Contribuição ao estudo das mineralizações fosfática e uranífera da jazida de Itataia., Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXXII. Salvador, 1982. Anais. Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, 1982, V. 5, p. 2022-2034.
- Favali, J.C.; Netto, R.M.; Silva, J.R.A.; Oliveira, J.A.D. 1984. Ocorrência fósforo-uranífera de Serrotes Baixos-CE. Anais..., Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro-RJ, p.1452-1462.
- Fetter, A. H.; - 1999. U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of Gondwana. Department of Geology, Kansas University, Lawrence, Tese de Doutorado, 164 p.
- Fetter, A.H.; Santos, T.J.S.; Van Sschumus, W.R.; Hackspacher, P.C.; Brito Neves, B.B.; Arthaud, M.H.; Nogueira Neto, J.A.; Wernick, E. 2003. Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith od Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 6: 265-273.
- Fuzikaua, K. 1978. Estudo preliminar de inclusões fluidas em amostras de rochas do Projeto Itatira. Universidade de Adelaide, Australia / Empresas Nucleares Brasileiras S/A, Brasil. 26p.
- Fyfe, W.S. 1978. Notes on the Itataia Deposit. Relatório de consultoria – DNPM/DIAOP – NUCLEBRAS, Rio de Janeiro.
- Garcia, M.G.M.; Arthaud, M.H.; Santos, T.J.S.; Nogueira Neto, J.A. 2006. Retroeclogitos nas napes brasileiras do Domínio Ceará Central, Província Borborema: dados texturais e termobarométricos preliminares, 43rd Brazilian Geological Congress.
- Gois, D.L. & Fernandes, A.H.M. 1991. Geologia da região de Quixeramobim - CE. Trabalho de Graduação – UFC. Inédito. 100fls.
- Gorayeb P.S.S. & Abreu, F.A.M. 1991. O Granito do Pajé – NW do Ceará. Caracterização geológica. In: SBG, Simp. Geol. Nordeste, 14, Atlas, p.182-184.
- Haddad, R.C. & Leonardos, O.H. 1980. Granitos anelares de Taperauba (Ceará) e processos metassomáticos associados. Anais..., Congresso Brasileiro de Geologia, 31, vol. 5, p.2626-2630.
- Haddad, R.C. 1981. Mineralização uranífera no Complexo Anelar de Taperauba-CE. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 73p.
- Hollanda, M.H.B.M., Pimentel, M.M., Oliveira, D.C., Jardim de Sá, E.F. Lithosphere-asthenosphere interaction and the origin of Cretaceous tholeiitic magmatism in Northeastern Brazil: Sr-Nd-Pb isotopic evidence. 2006. *Lithos* 86, 34-49.
- IBGE, 2009. Cidades @. In: www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1. Acesso em novembro de 2010.
- IPECE, 2008. Caracterização territorial. Governo do Estado do Ceará. In: <http://www.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1>. Acesso em 16/04/2008Brasília, 73p.
- IPLANCE – Instituto do Planejamento do Ceará, 1995. Atlas do Ceará, Governo do Estado, Fortaleza, 64p.
- Jardim de Sá, E.F. 1994. A Faixa Seridó (Província da Borborema NE do Brasil) e seu significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 803p.
- Kegel, W. 1965. A estrutura geológica do nordeste do Brasil. Boletim, Divisão de Mineralogia e Geologia. DNPM, Rio de Janeiro, 227: 47p.
- Leal, J.R.L.V.; Azevedo, L.F.; Castro, G.L.; Silva, J.R.A. 1984. Mineralização fósforo-uranífera da Fazenda Mandacaru, Irauçuba-CE. Anais..., Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro-RJ, p.1437-1451.
- Lessa, H.M.A. de. Petrologia e Geoquímicos Elementos Maiores, menores, traços e terras raras dos "stocks" São Paulo e Morrinhos
- Martins, G. & Oliveira, E.P. 2004. Arcabouço lito-estrutural da Suíte Metamórfica Algodões-Choró, do Domínio Ceará Central, da Província Borborema. *Revista de Geologia da UFC. Fortaleza-CE*, (?): 38-51.

- Martins, G. 2000. Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Unicamp, Campinas-SP. 218p.
- Mendonça J.C.G.S.; Braga A.P.G.; Campos M., 1980. Considerações sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia-CE. Anais..., 31, Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, Santa Catarina, (4): 2472-2486.
- Mendonça J.C.G.S.; Campos M., Braga A.P.G.; Souza E.M.; Favali J.C.; Leal J.R.L.V., 1985. Jazida de Urânio de Itataia-CE. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM, v.1, pp.121-131.
- Netto, A.M. 1984. Contribuições a mineralogia, a Petrografia e a metalogenia da jazida fósforo-uranífera de Itataia, Ceará, Brasil – Extrato da tese de doutor de universidade, especialidade mineralogia e metalogenia U.E.R. de Sciences Exactes et Naturelles de L'Universite de Clermont II, França, 1983. Anais..., Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, p.1424-1436.
- Netto, A.M., Meyer, A., Cuney, M. and Poupeau, G., 1991, A thermo-geochronological study of the Itataia phospho-uraniferous deposit (Ceará, Brazil) by analyses: genetic implications. In: Source Transport and Deposition of apatite fission track Metals, Pagel, M. and Leroy, J.L., eds., Proceedings of the 25 Years SGA Anniversary Meeting, 1991.
- Netto, A.M.; Cuney, M.; Mergoill-Daniel, J. 1994. Paragénese mineral e distribuição do urânio na jazida fosforo-uranífera de Itataia (Ceará, nordeste do Brasil): papel redutor da grafita na formação do minério preto. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Anais..., Balneário Camboriú-SC, p.94-95.
- Nogueira, J.F. 2004. Estrutura, Geocronologia e alojamento dos Batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central. Tese de Doutorado, IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 123 p.
- Oliveira, J.F. & Cavalcante, J.C. 1993. Mombaça, Folha SB.24-V-D-V, Estado do Ceará. Texto Explicativo. DNPM, Brasília-DF, 200p.
- Pessoa, R.R.; Brito Neves, B.B.; Kawashita, K.; Pessoa, D.R.; Fuck, R.A. 1986. Contribuição ao estudo da evolução geocronológica do Maciço de Tróia-CE. Anais..., Simpósio de Geologia do Nordeste, 12, João Pessoa, p.75-93.
- Saad, S.; Munne, A.L.; Tanaka, A.Y. 1984. Proposição de um novo modelo genético para a jazida de Itataia. 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, Anais..., p.1410-1423.
- Santos E.J., Nutman A.P., Brito Neves B.B. 2004. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. Revista do Instituto de Geociências - USP, Série Científica, 4:1-12.
- Santos, E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996. Salvador. Anais. Salvador: SBG, 1996. v. 6, p. 47-50.
- Santos, J.S. & Brito Neves, B.B. de 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y., O Pré-cambriano do Brasil. Ed. Edgard Brucher Ltda. São Paulo-SP, p.123-186. 170p.
- Santos, R.V. & Clayton, R.N. 1995. Variations of oxygen and carbon isotopes in carbonatites: a study of brazilian alkaline complexes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1339-1352.
- Silva, L.C.; Armstrong, R.; Pimentel, M.M.; Scandolara, J.; Ramgrab, G.; Wildner, W.; Angelim, L.A.A.; Vasconcelos, A.M.; Rizzoto, G.; Quadros, M.L.E.S.; Sander, A.; Rosa, A.L.Z. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos Pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, Parte III: províncias Borborema, Mantiqueira Meridional e Rio Negro Juruema. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 529-544.
- Souza, Z.C.; Vasconcelos, P.M.; Nascimento, M.A.L.; Silveira, F.V.; Paiva, H.S.; Dias, L.G.S.; Thiede, D.; Carmo, I.O. 2006. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of mesozoic and cenozoic magmatism in NE Brazil. In: South american Symposium on Isotope Geology, 4, Short Papers. p.691-694.
- Teixeira, M.L.A. 2005. Integração de dados aerogeofísicos, geológicos e isotópicos do limite norte do Complexo Tamboril – Santa Quitéria – CE (Província Borborema). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 91p.
- Torres, P.F.M.; Cavalcante, J.C.; Forgiarini, L.L.; Palheta, E.S.M.; Vasconcelos, A.M. 2008a. Nota Explicativa da Folha Quixadá, escala 1:250.000. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Fortaleza. (inédito).
- Torres, P.F.M.; Cavalcante, J.C.; Forgiarini, L.L.; Palheta, E.S.M.; Vasconcelos, A.M. 2008. Mapa Geológico da Folha Quixadá, escala 1:250.000. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Fortaleza.
- Trompette R. 1994. Geology of Western Gondwana, Pan African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield. 350pp.
- Trompette, R.; Egydio-Silva, M.; Tommasi, A., Vauchez A., Uhlein, A. 1993. Amalgamação do Gondwana Ocidental no Pan-africano-Brasiliano e o papel da geometria do Cráton do São Francisco na arquitetura da Faixa Ribeira. *Rev. Bras. Geoc.*, 23:187-93.
- Van Schumus, W.R.; Brito Neves, B.B.; Willians, L.S.; Hackspacher, P.C.; Fetter, A.H.; Dantas, E.L.; Babinski, M. 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a late pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. *Precambrian Research*, 127: 287-327.