

Métodos geofísicos aplicados à prospecção de fosforitos no nordeste do Estado de Goiás

Chris Busnello Fianco¹, Roberta Mary Vidotti¹, Augusto C. B. Pires¹

¹ UnB / IG-LGA

Copyright 2011, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Abstract

The project area is situated in the central part of Brazil, on the northeast region of Goiás State. The phosphatic rocks occur in the Bambuí Group, on the east part of Faixa de Dobramentos Brasília (FDB), on the western border of the São Francisco Craton. The mineralized rocks in the study area are associated with limestone and apatite. In order to discover new prospective targets of sedimentary phosphatic bodies, a faster and more objective airborne geophysics data processing method was used together with statistical correlation of geochemical data. The integration of these data provided potential targets of mineralization that will be checked with geological mapping and ground geophysics (gamma-ray spectrometry) to produce a parameter of calibration and comparison to the airborne geophysical information. Integration of geological information and estimated maps of U and P show that igneous rocks and lateritic crust presents the higher content of uranium and phosphorous elements, as expected. However, small anomalies were identified in sediments of Serra de Santa Helena and Sete Lagoas formations where the known phosphatic bodies occur in the study area. The next step should be field work to check these anomalies. Profiles of geological mapping and ground gamma-ray will be carried out.

Introdução

Ao contrário do que ocorre na maior parte dos depósitos fosfatados no Brasil, na área de estudos a origem do fosfato é sedimentar. Com 13,8% de rocha fosfática, o Estado de Goiás possui a segunda maior reserva do país (Souza e Fonseca, 2009). Em função da importância agrícola do fósforo e por apresentarem como únicas fontes as rochas fosfáticas, a busca por novos depósitos de fosfato e a viabilização de jazidas de pequeno porte tem avançado significativamente no Brasil.

A sedimentação do Grupo Bambuí, na Faixa Brasília, teve início com os diamictitos durante um período glacial. O derretimento das camadas de gelo permitiu a instalação de um ambiente marinho epicontinental, e iniciou-se a deposição de sedimentos pelto-carbonatados que se sobrepõe ao Cráton São Francisco. O ambiente criado em função da deglaciação estabeleceu também as condições climáticas necessárias

para a deposição dos sedimentos fosfáticos na região (Dardenne, 1978).

As ocorrências de rochas fosfatadas e fosforitos fazem parte de um contexto onde estão inseridos, da base para o topo, as seguintes unidades litoestratigráficas: Complexo Granito-gnáissico, Formação Ticunzal, Suíte Aurumina, Suíte Pedra Branca, Formação Jequitai e Grupo Bambuí (Monteiro, 2009).

A informação geológica utilizada (Fig. 1) é resultado do levantamento geológico das folhas Monte Alegre de Goiás e Nova Roma, em escala 1:100.000, realizado pelo programa Geologia do Brasil (PGB/PGL) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em 2006 (Moreira, 2008). Uma característica marcante que pode ser observada em afloramentos na área é a diferenciação de rochas de origem ígnea (embasamento) na porção oeste, e de rochas de origem sedimentar na porção leste da área.

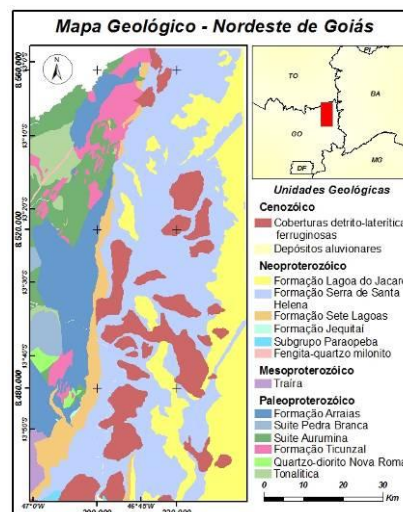


Fig. 1 - Mapa geológico da área de estudo (modif. de Moreira, 2008), com a localização da área de estudos.

Com forma alongada na direção N-S e 7.000km² de área, o projeto está localizado na porção nordeste do Estado de Goiás e sudeste do Estado de Tocantins, distante cerca de 300 km de Brasília. O clima semiárido é responsável pela existência de um manto de alteração pouco espesso e descontínuo, resultando na ocorrência de afloramentos rochosos.

Ferreira *et al.* (1992) relataram que as rochas calcárias, encaixantes da mineralização fosfatada, normalmente apresentam baixos teores de elementos radioativos. Isto permitiria um contraste com as rochas mineralizadas, uma vez que a apatita [Ca₅(PO₄)₃(F,OH,Cl)] geralmente possui teor elevado de U e Th.

Em função de sua pouca mobilidade no ambiente superficial, o tório é considerado um bom mapeador litológico (Pires, 1995). O urânio apresenta mobilidade intermediária, porém alguns litotipos podem ser caracterizados por elevados teores deste elemento. Isto é igualmente observado em alguns granitos, crostas lateríticas e rochas fosfáticas, devido à presença da apatita (IAEA, 2003).

Com base nestas informações foi realizado o processamento dos dados aerogeofísicos, com ênfase maior na gamaespectrometria, uma vez que as rochas fosfatadas não apresentam magetização e, algumas vezes, estão em afloramentos rasos ou afloram na região. Após os produtos básicos terem sido gerados, foram aplicados métodos estatísticos e em seguida a integração destes com a geoquímica, resultando em produtos finais como imagens que apresentam estimativas de U e P para a área do projeto e novos alvos prospectivos que foram levantados com gamaespectrometria terrestre.

Métodos

A base de dados aerogeofísicos utilizada, cedida pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, compreende o levantamento denominado Área V ou Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás. Está localizada na região centro-oeste do Brasil, com recobrimento total de 115.471km lineares de perfis gamaespectrométricos e magnéticos em alta resolução, possui linhas de voo espaçadas de 500m com direção N-S, e linhas de controle com 5.000m de espaçamento e direção E-W, altura nominal de voo 100m (LASA, 2006).

Com o objetivo de minimizar os efeitos provocados pelo tamanho da área e pela presença de diversos litotipos, os bancos de dados gamaespectrométrico e magnetométrico foram recortados para a área de estudo. Foram gerados os produtos básicos; mapas dos canais de K, eTh e eU, razões eU/K (Fig. 3a) e eU/eTh (Fig. 3b) e imagem ternária RGB/KThU (Fig. 3c), além de produtos magnetométricos como a amplitude do sinal analítico (ASA, Fig. 3d) com filtro passa alta que ressaltou as altas frequências, possibilitando a correlação deste dado com a gamaespectrometria e geoquímica, e a utilização deste como mais um parâmetro nas regressões múltiplas.

A técnica de regressão linear múltipla entre as concentrações estimadas dos radioelementos pode ser usada para remover efeitos de processos geológicos em diferentes litotipos. O método é utilizado para realçar valores que se diferenciam da distribuição média de teores dentro de uma unidade interpretada (e.g. Pires *et al.*, 2010; Pires, 1995; Wellman, 1998). Com o objetivo de ressaltar as concentrações anômalas de urânio, foi utilizada a técnica estatística de regressão múltipla, tomando-se o cuidado para normalizar os dados pela média e assim deixar todos os elementos com a mesma unidade (Davis, 1973).

No estudo em pauta, investigou-se a relação linear simples da variável teor equivalente de urânio com as demais variáveis produzidas no aerolevanteamento. Também, observou-se a regressão múltipla entre a variável teor equivalente de U e as variáveis Th e K e a

ASA. O modelo de regressão em cada um dos casos foi subtraído dos dados originais e os resíduos foram observados espacialmente (Pires, 1995; Wellman, 1998).

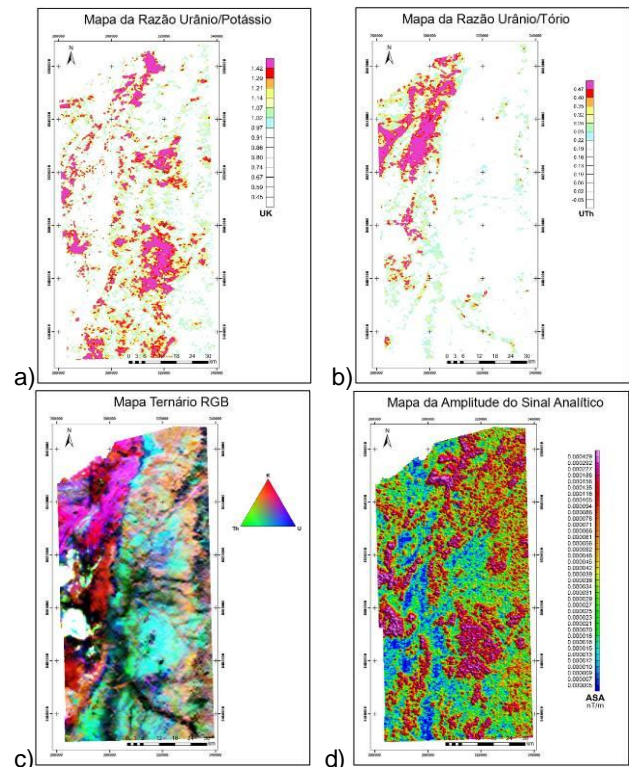


Fig. 3 - Mapa das razões eU/K (a) e eU/eTh (b) com tabela de cores mostrando valores médios de cada elemento a valores máximos; mapa ternário RGB/ KThU (c); e mapa da amplitude do sinal analítico com filtro passa alta (d).

Foram gerados produtos como gráficos de dispersão do Th, K e ASA em função do U (Figs. 4a, 4b e 4c, respectivamente), permitindo assim analisar a correlação direta ou inversa destes elementos. Foram assim calculadas as retas de regressão destas correlações, estas representadas em preto nas figuras 4a, 4b e 4c. Com base na análise dos gráficos de dispersão e suas respectivas retas de regressão, verificou-se que estas, embora registrassem a relação de dependência estatística do urânio com os demais parâmetros, tinham como valor de interseção das retas de regressão um baixo teor de urânio. Com isso, optou-se por deslocar paralelamente a reta de regressão de tal modo que o valor de urânio na interseção representasse sempre um teor mínimo de 2 ppm, correspondente a média da crosta terrestre (IAEA, 2003). As retas de regressão assim obtidas, definidas a partir das equações 1, 2 e 3; são representadas em azul nas figuras 4a, 4b e 4c, respectivamente. Estes resultados foram fundamentais na metodologia de estabelecer e definir concentrações anômalas de urânio na área independente do litotipo.

A novas equações geradas foram aplicadas aos dados e gerados mapas com valores estimados de urânio (ppm) normalizados em relação ao K, eTh e ASA, para uma melhor visualização da anomalias deste elemento. A diferença destes para o mapa do urânio original

apresenta novas áreas alvo com valores considerados anômalos de urânio.

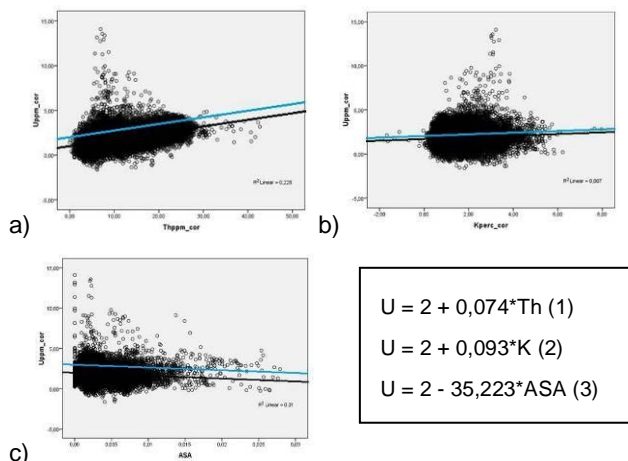


Fig. 4 – Gráfico da dispersão de Th (a), K (b) e ASA (c) em função do U, e as retas de regressão: em preto a reta original, e em azul a reta deslocada até 2 ppm.

Nos mapas de estimativa de urânio gerados (Fig. 5a, 5b e 5c), observa-se os valores acima da média em colorido. Os valores correspondentes ao valor da média mais dois desvios-padrão estão representados pela coloração magenta, no topo da legenda.

Após análise de cada uma das imagens do urânio anômalo, pode-se observar que o mapa de estimativa de urânio gerado em relação ao K (Fig. 5a) apresenta um enriquecimento no elemento principalmente na região do biotita granito, Suíte Pedra Branca, e nas regiões onde são encontradas as crostas lateríticas. O mapa da estimativa de urânio normalizado pelo eTh (Fig. 5b) mostra que as principais regiões, onde ocorre o enriquecimento, estão localizadas na porção noroeste, região dominada por rochas do embasamento, como às da Fm. Ticunzal. A normalização a partir da imagem ASA (Fig. 5c) evidencia o enriquecimento de urânio nas regiões correspondentes ao biotita granito, as porções de crosta laterítica e na região onde se localiza a Formação Ticunzal, com suas rochas metamórficas.

Mattoso & Formoso (2007) mostram que a assinatura geoquímica para os depósitos sedimentares químicos de fosfatos em pelitos, carbonatos e arenitos compreende os elementos P, N, F, C e U, podendo ocorrer a incorporação de outros elementos devido a fatores externos do ambiente geotectônico e das condições locais de formação do depósito.

Os dados de geoquímica utilizados neste trabalho foram retirados do SIG de Goiás, estes fazem parte do banco de dados de sedimentos ativos de corrente da CPRM e Nuclebrás (Moreira *et al.*, 2008).

Procurou-se trabalhar também com as informações de geoquímica para a região, sendo feita a correlação dos elementos em relação ao fósforo. Notou-se uma correlação muito alta entre este e os elementos metálicos, como a correlação entre o P e o F, da ordem de 80,1%, correlação esta esperada, uma vez que a apatita possui ambos os elementos em sua composição.

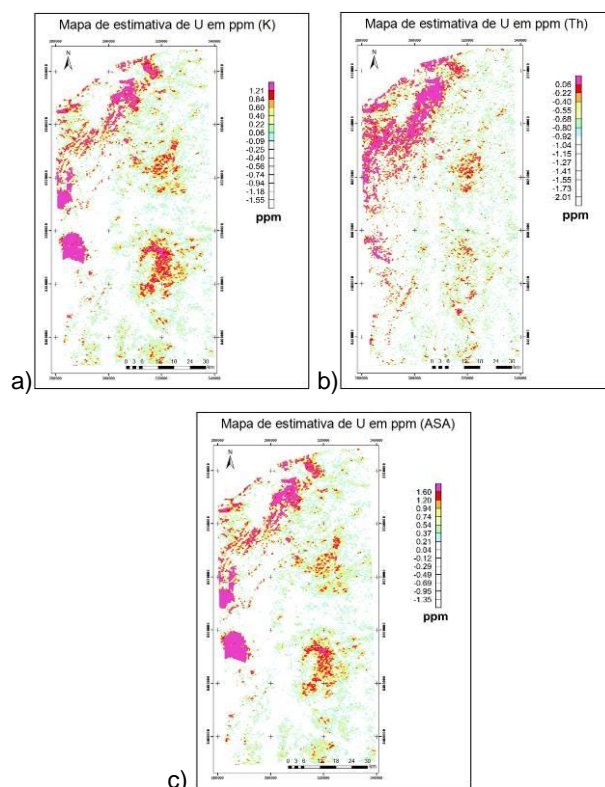


Fig. 5 – a) Mapa da estimativa U (ppm), calculado a partir da regressão linear com relação ao K; b) Mapa da estimativa de U (ppm), calculado a partir da regressão linear com relação ao Th; c) Mapa da estimativa de U (ppm), calculado a partir da regressão linear com relação ao ASA.

A partir da base de dados da geoquímica e dos produtos de geofísica aérea foi realizado um processamento utilizando metodologia de integração que analisa principalmente os elementos P e F. Para esta análise os valores foram normalizados para que a diferença de unidades de medida entre os diferentes elementos analisados não influencie o resultado.

A estatística dos dados geoquímicos para o fósforo forneceu valor médio de 196 ppm e de 208 ppm para o desvio padrão. A partir da aplicação da metodologia usual para este tipo de dado, definiu-se o teor médio como o background, o teor médio mais dois desvios padrões como limiar e teores acima disto como teores possivelmente anômalos. No caso em pauta, teores de fósforo acima de 600 ppm foram considerados anômalos (Fig. 6).

Com base nestas informações, foram delimitadas pequenas áreas contendo os valores geoquímicos anômalos de fósforo, para as quais foram aplicadas técnicas de regressões múltiplas, confrontando-se os comportamentos de fósforo e urânio em relação à geofísica (K, eTh, eU, eU/K, eU/eTh, eTh/K, ASA) e ao F.

As novas funções foram aplicadas em toda a área de estudo, dando origem a novos mapas de estimativa de urânio (Fig. 7) onde estariam representadas as regiões com mesma resposta geoquímica e geofísica que as áreas com elevado teor de P (com base nos pontos da

geoquímica de sedimentos de corrente). Estes são mapas de estimativa de valores anômalos de urânio, em ppm.

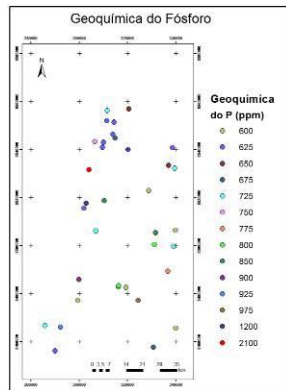


Fig. 6 – Mapa com a disposição dos pontos de sedimento de corrente com valores acima de 600 ppm, o que equivale a média mais 2 desvios padrão.

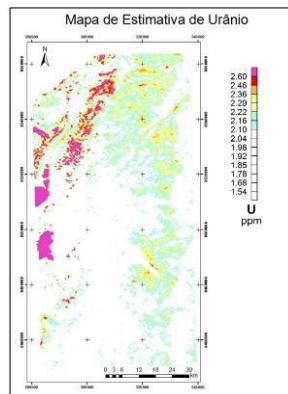


Fig. 7 – Mapa da estimativa de urânio em ppm, quando aplicada a equação de regressão do eU com relação à eTh, K, eU/K, eU/eTh, eTh/K e ASA.

Da mesma forma que nos mapas mostrados anteriormente, a palheta de cores da legenda do mapa foi elaborada com o objetivo de mostrar somente os valores acima da média. No mapa em questão, a cor magenta representa o valor da média mais dois desvios-padrão, o que é considerado anômalo neste trabalho. As regiões indicadas com urânio anômalo neste trabalho, figura 7, correspondem ao biotita granito e, na região nordeste, as rochas metamórficas do embasamento, representadas com valores acima de 2,46 ppm nas cores vermelho e magenta (Fig. 7).

Tendo em vista a alta correlação do fósforo com o fluor, tanto nos dados da área de estudo como na bibliografia, foram gerados produtos que correlacionam estas informações, a partir da aplicação da regressão correspondente aos elementos utilizados (K, eTh, eU/K, eU/eTh, eTh/K, ASA, P e F). A figura 8a mostra a estimativa de fósforo em ppm, quando aplicada a equação de regressão do P com relação à eU, K, eTh, eU/K, eU/eTh, eTh/K e ASA. O mapa 8b mostra a estimativa de urânio em ppm, quando aplicada a equação de regressão do U com relação à K, eTh, eU, eU/K, eU/eTh, eTh/K, ASA, P e F.

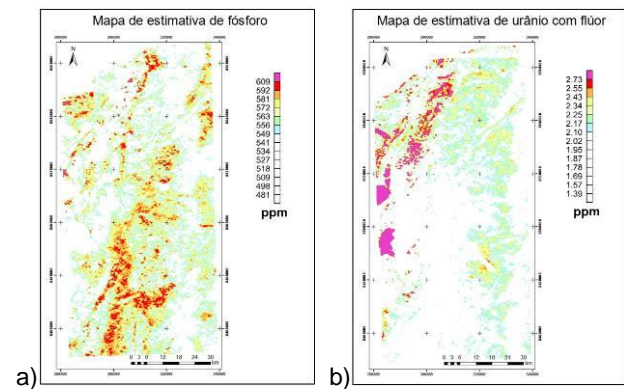


Fig. 8 – a) Mapa da estimativa de fósforo (ppm), quando aplicada a equação de regressão do P com relação aos elementos eU, K, eTh, eU/K, eU/eTh, eTh/K, ASA. b) Mapa da estimativa de urânio em ppm, quando aplicada a equação de regressão do U com relação à K, eTh, eU, eU/K, eU/eTh, eTh/K, ASA, P e F.

Após a análise das imagens até aqui geradas, principalmente das estimativas de urânio e fósforo e geologia conhecida para a região, e retirando-se as áreas de interferência de altos valores de eU e eTh, como áreas de embasamento e crostas lateríticas, foi possível mapear áreas enriquecidas em U e P, sendo selecionados quatro perfis (Fig. 9) para investigação com gamaespectrometria terrestre.

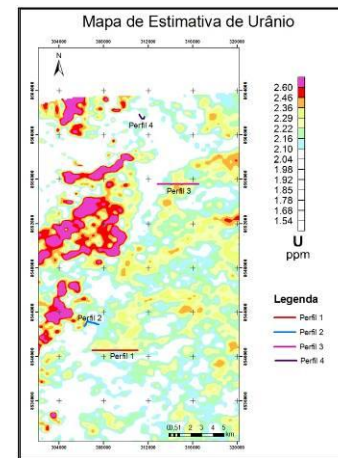


Fig. 9 – Detalhe do mapa de eU (ppm) (Fig. 7) e localização dos quatro perfis selecionados para “follow up” com gamaespectrometria terrestre.

Foram executados no total aproximadamente 10.712m de levantamento, com estações de amostragem a cada 20m de espaçamento sobre os quatro perfis selecionados (Fig. 9) e um quinto perfil sobre um corpo fosforítico conhecido dentro da área da Itafós, totalizando 527 estações no total. Em cada estação o tempo de leitura pelo espectrômetro foi de 300 segundos, este tempo de leitura tem como base a recomendação do guia de mapeamento radiométrico (IAEA, 2003).

Conforme informações verbais fornecidas pelos geólogos da Mineração Itafós, os corpos mineralizados na região apresentam, em geral, extensões de até 100m e largura de 40m e possuem direção preferencial NW-SE. Para

garantir ao menos 1 ponto de amostragem sobre a mineralização, o espaçamento entre as estações foi definido com 20m, garantindo também uma boa distribuição espacial dos dados.

Análise dos dados da geofísica terrestre

Os resultados da aquisição de dados de geofísica terrestre de gamaespectrometria são apresentados e discutidos a seguir. Os perfis (Figs. 10, 11 e 12) apresentam os radioelementos eU e eTh em ppm e K em porcentagem, a contagem total em cps e as razões eU/K e eU/eTh. As razões foram calculadas após analisar-se a correlação entre os perfis de cada elemento, onde se observou uma correlação inversa entre os dados de potássio e urânio.

Localizado no Bloco Lúcia, o perfil 2 apresenta 1.688 m de extensão, cruzando solo silto-argiloso, zona de falha com xisto e seixos de quartzo, seguida por siltito. Existe ainda, mapeado pela Itafós na área, afloramentos de fosforito, o qual aparentemente é interceptado pelo perfil em duas regiões.

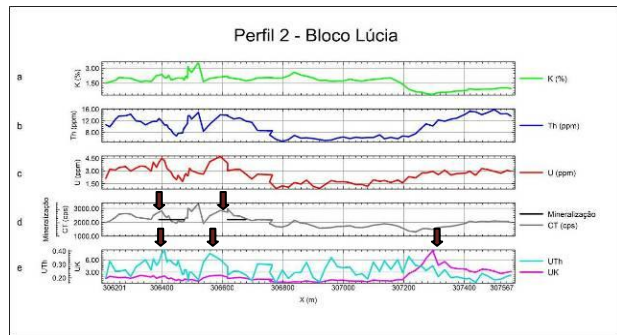


Fig. 10 – Perfis dos valores dos radioelementos K (a), Th (b), U (c) e a contagem total (d) coletados no campo, e as razões U/Th e U/K (e) para o Perfil 2 do Bloco Lúcia. As setas marrons indicam regiões anômalas.

O perfil da razão eU/eTh (Fig. 10e) apresenta um comportamento regular com um pico bastante evidente no último quarto da linha, indicado pela seta marrom (Fig. 10e). O perfil da razão eU/K (Fig. 10e) apresenta um padrão irregular, com vários altos e baixos, pode-se observar dois picos neste perfil, identificados pelas setas (Fig. 10e) coincidentes com as regiões mineralizadas. Estes pontos são indicados para de cheque de campo.

Analisando especialmente os dois trechos onde ocorrem as mineralizações mapeadas na área e os perfis dos radioelementos, pode-se verificar que existe um deslocamento de alguns metros entre a mineralização (traços pretos no perfil da CT) e os picos de urânio (Fig. 10c) com mais de 3 ppm, e que nestas mesmas regiões o perfil da razão eU/eTh (Fig. 10e) também apresenta valores relativamente elevados de eU e eTh. O pico evidenciado no perfil da razão eU/K (Fig. 10e), seta a direita (Fig. 10e), merece uma investigação mais detalhada.

Localizado no Bloco Avião, o perfil 4 possui 850 m de extensão (perfil roxo na Fig. 9). A litologia na área é dominada por siltito.

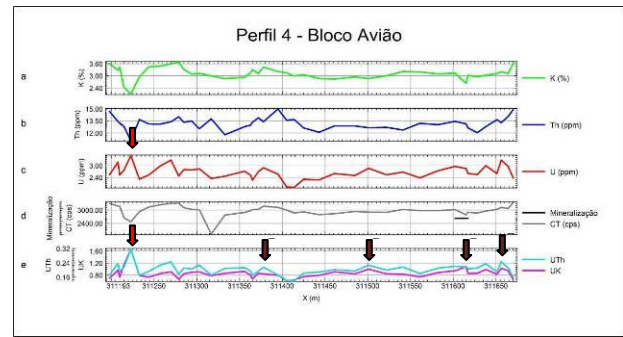


Fig. 11 – Perfis dos valores dos radioelementos K (a), eTh (b), eU (c) e a contagem total (d) coletados no campo, e as razões eU/eTh e eU/K (e) para o Perfil 4 do Bloco Avião. As setas deste perfil indicam feições anômalas, sendo as em vermelho com prioridade 1 e as marrons prioridade 2.

No perfil das razões U/K e U/Th (Fig. 11e), pode-se observar um pico bem marcado indicado pela seta vermelha (prioridade 1) no início da linha (Fig. 11e) e outros picos menos evidentes ao longo de toda a linha assinalados com as setas marrons (Fig. 11e), estes devem ser checados em campo.

Apesar da litologia mapeada ao longo de todo o perfil 4 ser constante, siltito, pode-se verificar variações na composição do mesmo através da indicação dos perfis dos 3 radioelementos (K, eTh e eU). Na região onde foi traçada a localização de uma ocorrência de minério próximo da linha levantada, os valores de K sofrem uma ligeira queda, enquanto os valores de eTh e eU apresentam uma pequena elevação, o que também é observado nos perfis das razões.

Localizado no Bloco Coité, o perfil 5 encontra-se no estado do Tocantins, área onde existe uma cava de extração de fosfato pela Itafós. Este perfil possui 580 m de comprimento com direção E-W. O levantamento cruza um corpo de fosforito mapeado. A litologia que predomina ao longo deste perfil é o siltito, sendo que existe um corpo fosforítico mapeado (Fig. 12d) pela Itafós. Foram encontrados localmente fragmentos de silexito. A posição indicada pela seta azul (Fig. 12a) marca a existência de um córrego que corta o perfil.

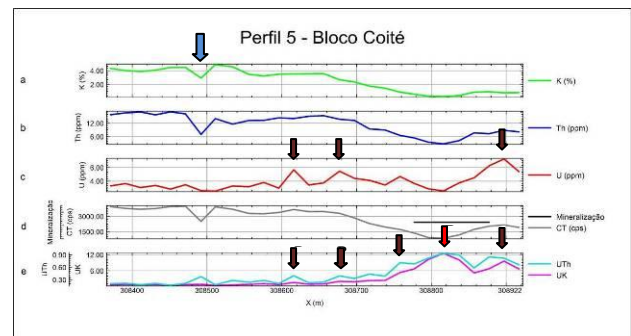


Fig. 12 – Perfis dos valores dos radioelementos K (a), eTh (b), eU (c) e a contagem total (d) coletados no campo, e as razões eU/eTh e eU/K (e) para o Perfil 5 do Bloco Coité. A seta azul indica a presença de um córrego na área, e as outras setas regiões consideradas

anômalas nos perfis. A seta vermelha indica prioridade 1 de investigação e, as marrons, prioridade 2.

Os perfis das razões eU/K e eU/eTh (Fig. 12e) apresentam comportamentos semelhantes entre si, e com o perfil do urânio. Valores baixos no início do perfil e um aumento significativo no último terço da linha, ou seja, uma tendência de crescimento de oeste para leste. Ao longo destes perfis foram assinalados com setas 5 picos de enriquecimento de U em relação ao Th e ao K, sendo os dois primeiros, a esquerda (Fig. 12e) com uma amplitude menor, e os três últimos, a direita (Fig. 12e) com amplitudes maiores. É possível observar que a maior amplitude de enriquecimento de U relativo ocorre onde o fosforito foi mapeado e está assinalado no perfil, o que caracteriza que as regiões mineralizadas apresentariam baixos valores de K e Th em relação ao U. Estes pontos são indicados para cheque de campo.

Conclusões

Após a análise das imagens geradas neste trabalho, principalmente das estimativas de urânio e fósforo a partir dos dados de geofísica aérea, pode-se concluir que:

1. Retirando-se as áreas de interferência de altos valores de eU e eTh, como áreas de embasamento e crostas lateríticas, é possível mapear áreas enriquecidas em U e P, o que pode indicar novas áreas de prospecção de fosforitos; e
2. Foram selecionados quatro perfis (Fig. 9) para investigação com gamaespectrometria terrestre, considerando-se os resultados dos processamentos, imagens de estimativa de U e P, e a geologia conhecida para a região. Importante ressaltar que outros fatores, como logística e áreas de interesse de acordo com o apoio recebido para a realização dos trabalhos de campo também foram considerados para a seleção dos perfis.

Os resultados das análises dos dados de gamaespectrometria terrestre adquiridos sobre os cinco perfis acima citados e processados mostram que:

1. No perfil 5, correspondente ao Bloco Coité, é relevante ressaltar a marcante tendência de crescimento na razão eU/K (Fig. 12e) no sentido de oeste para leste. Observa-se que os maiores valores da razão coincidem com a área mineralizada (traço preto no perfil da CT, fig. 12d), provando assim a eficiência do método radiométrico para o mapeamento de mineralização.
2. As áreas marcadas nos perfis 5d (Fig. 12), apesar de não apresentarem valores de U muito acima da média da crosta, apresentam valores relativos elevados (valores médios em torno de 3 a 4 ppm). Alguns pontos apresentam picos de U com depleções de K e Th, indicações importantes de que há uma correlação inversa entre estes elementos. De acordo com estas análises, conclui-se que as razões são os melhores produtos para mapear o fosforito.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/ UnB), a Itafós Mineração Ltda, em especial ao Luiz Bizzi, pelo apoio e pela

permissão para publicação destes dados, e a Superintendência de Geologia e Mineração do Governo do Estado de GO pela cessão dos dados aerogeofísicos.

Referências

- Dardenne, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In. SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais, 2: 597-610.
- Davis, J. C. 1973. Statistics and data analysis in geology. Copyright. Kansas Geological Survey. 550 p.
- Ferreira, C. J.; Moreira-Nordemann, L. M. e Nordemann, D. J. R. 1992. A radioatividade natural da região de Irecê, BA. Revista Brasileira de Geociências. 22 (2): 167-174.
- IAEA – International Atomic Energy Agency, 2003. Guideline for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Vienna, Austria.
- Lasa Engenharia e Prospecções, 2006. Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás – 3ª Etapa. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Texto técnico. 138p.
- Mattoso, S.Q. & Formoso, M. L. L. 2007. Princípios Básicos para Prospecção Geoquímica. In: Licht, O. A. B., De Mello, C. S. B. e Da Silva, C. R (eds.) Prospecção Geoquímica – Depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. CPRM. Editora Planeta Terra. p.97.
- Monteiro, C. 2009. Fosforitos do grupo Bambuí na Região de Campos belos (GO)/ Arraias (TO) na borda oeste do Cráton São Francisco. Tese de Mestrado no Programa de Geologia da Universidade de Brasília. 114 p.
- Moreira, M. L. O.; Moreton, L. C.; Araújo, V. A.; Lacerda, J. V. e Costa, H. F. 2008. Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL. 141p.
- Pires, A. C. B. 1995. Identificação Geofísica de Áreas de Alteração Hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. Revista Brasileira de Geociências, S. Paulo, 25 (1): 61-68.
- Pires, A. C. B.; Vidotti, R. M.; Carmelo, A. C. 2010. Realce de anomalias de urânio por regressões múltiplas em levantamento aerogeofísico no sudeste de Goiás. In. IV SimBGf, Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, Anais.
- Souza, A. E. & Fonseca, D. S. 2009. Economia Mineral do Brasil – 2009, fosfato. DNPM. https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4003 (17/11/10).
- Wellman, P. 1998, Mapping of a granite batholiths using geological and remotely sensed data: the Mount Edgar Batholith, Pilbara Craton. Exploration Geophysics, 29: 643-648.