



## Prospecção de fosforitos utilizando geofísica aérea no nordeste de Goiás - GO.

Chris Busnello Fianco, Roberta Mary Vidotti e Augusto C. B. Pires  
UnB / IG-LGA

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

O Grupo Bambuí, onde a área de trabalho encontra-se inserida, possui um ambiente favorável à formação de rochas fosfáticas, apresentando-se assim como uma área de interesse econômico. A utilização do processamento geofísico aéreo (método magnetométrico e gamaespectrométrico) integrado com a geoquímica, tem como finalidade a otimização dos trabalhos de prospecção do minério, uma vez que a apatita, mineral fosfático, geralmente apresenta teor elevado de U. O processamento destes produtos, geofísica e geoquímica, deu origem a mapas de estimativa de U e P, mostrando o enriquecimento destes elementos na região. Os mapas foram utilizados como base para a seleção de áreas alvo para a realização dos trabalhos de "follow up".

### Introdução

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 pelito-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).

A geologia utilizada no trabalho (Figura 1) é resultado do levantamento geológico das folhas Monte Alegre de Goiás, Nova Roma e Cavalcante, em escala 1:100.000, realizado pelo programa Geologia do Brasil (PGB/PGL) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em 2006 (Monteiro, 2009). Uma característica marcante que pode ser observada 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.

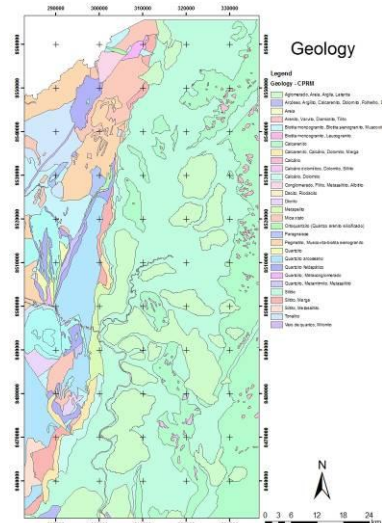


Figura 1 – Mapa da geologia da área de estudos (Monteiro, 2009).

Alongada na direção N-S, a área do projeto está localizada na porção nordeste do Estado de Goiás e sudeste do Tocantins, distante cerca de 330 km de Brasília (Figura 2). Com uma extensão de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup>, abrange municípios como Campos Belos, Monte Alegre de Goiás e Nova Roma em Goiás e Arraias no Tocantins.

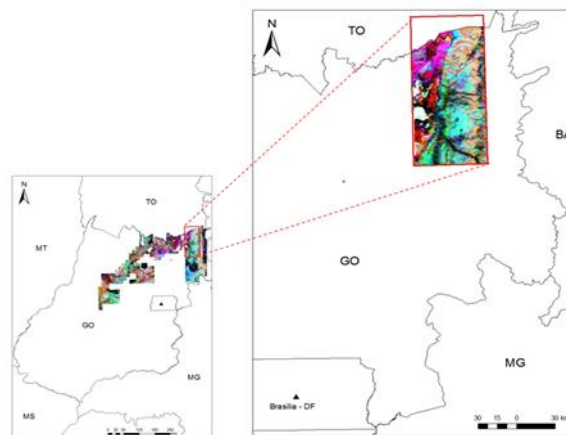


Figura 2 – Imagem da gamaespectrometria aérea, composição ternária RGB mostrando a localização do aerolevante geofísico do Estado de Goiás área 5 e, no detalhe a área do projeto, NE do Estado de Goiás.

Na área de estudos a cobertura vegetal é pouco densa, podendo esta ser percorrida sem maiores dificuldades; o clima semiárido é responsável pela existência de um manto de alteração pouco espesso e descontínuo, que favorece a ocorrência de afloramentos rochosos. Ferreira *et al.* (1992) relataram que as rochas calcárias, encaixantes da mineralização fosfatada, geralmente apresentam baixos teores de elementos radioativos. Isto permitiria um contraste com as rochas mineralizadas, uma vez que a apatita geralmente possui teor elevado de U e Th.

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 que estão algumas vezes aflorando na região. Após os produtos básicos terem sido gerados, foram realizados processamentos estatísticos e em seguida a integração destes com a geoquímica, sendo o produto final imagens com a estimativa de U e P para a área do projeto.

### Processamento de dados

A área do levantamento aerogeofísico do Estado do Goiás, área 5, está localizada na região centro-oeste do Brasil, nordeste do estado, recobrindo uma área de 50.440 km<sup>2</sup> (Figura 2). O aerolevantamento foi realizado entre 01 de maio e 01 de setembro de 2006. Foram recobertos no total 115.471 km lineares de perfis aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos, em alta resolução. O levantamento possui linhas de voo espaçadas de 500 metros na direção N-S, e linhas de controle com espaçamento de 5.000 metros na direção E-W. A altura nominal do voo é de 100 metros.

O primeiro procedimento realizado foi a análise dos dados geofísicos, sendo em seguida feito o processamento da magnetometria e da gamaespectrometria para a área 5 inteira. Foram gerados os produtos básicos para interpretação, mapas dos canais de urânio, potássio, tório e contagem total, e as razões U/Th, U/K e Th/k para a gamaespectrometria. Para a magnetometria foram gerados o campo magnético anômalo (CMA) e residual (CMR), amplitude do sinal analítico (ASA) e inclinação do sinal analítico (ISA). Os produtos gerados não apresentaram uma resposta significativa para a região de interesse. O principal motivo, apesar da resolução do levantamento também não ser a ideal para o trabalho, é que a extensão da área coberta pelo levantamento é muito grande, o que envolve uma grande variedade de litologias. Algumas regiões com concentrações um pouco menores de radioelementos podem ser mascaradas quando tratadas como um todo.

Com o objetivo de minimizar os efeitos provocados pelo tamanho da área e variedade litológica, os bancos de dados foram recortados para o tamanho da área do projeto (Figura 1, polígono em vermelho), equivalente as cartas Monte Alegre de Goiás e Nova Roma, gerando para estas os mesmos produtos básicos; Canais de K, Th e U, razões K e UTh e imagem ternária RGB representdos na figura 3. Os mapas produzidos com o

banco de dados menor ainda não deram origem ao resultado esperado para a região de interesse, uma vez que aqui ainda existem áreas com crostas lateríticas, por exemplo, que produzem respostas elevadas de tório, mascarando assim outras áreas que poderiam ter valores anômalos dos radioelementos para suas litologias. Porém, com as informações geológicas, podemos separar estas áreas durante a interpretação.

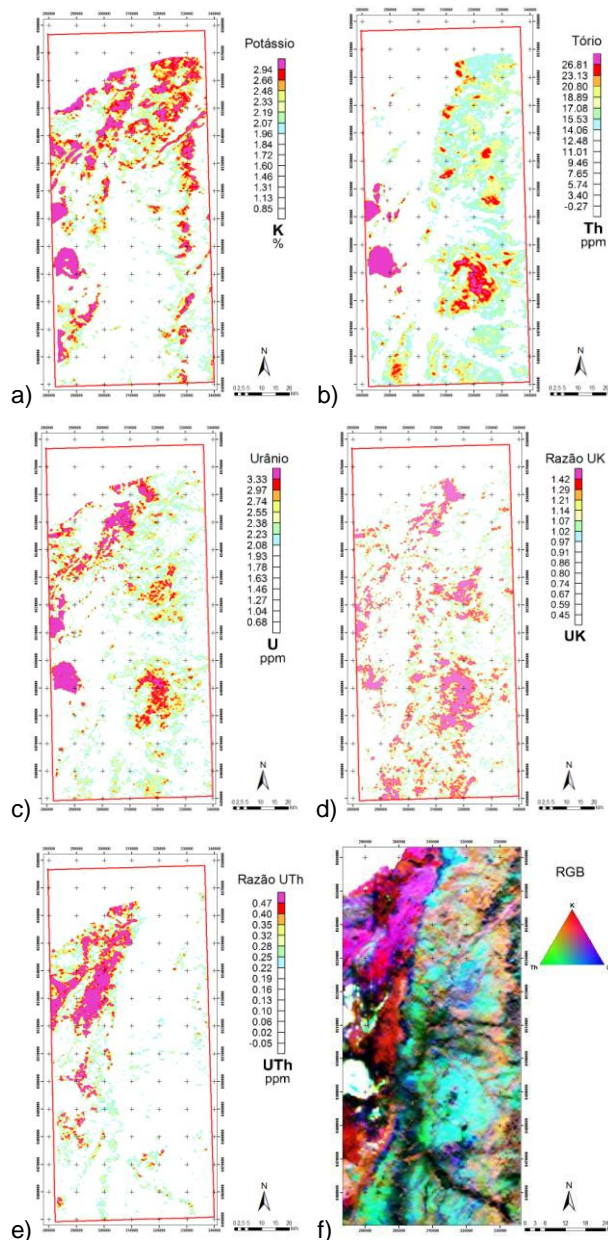


Figura 3 - Imagem dos canais do K (a), Th (b) e U (c) e das razões UK (d) e UTh (e) com tabela de cores mostrando valores médios de cada elemento a valores máximos; Imagem ternária RGB (f) dos canais U, K e Th.

Em se tratando de rochas sedimentares na região mineralizada, os dados magnetométricos não aparecem como fundamentais na interpretação, servindo contudo como mais um parâmetro de análise e como uma informação adicional para realização das regressões múltiplas. Sendo assim, os produtos magnetométricos

foram filtrados com passa alta com o objetivo de ressaltar as altas frequências dos dados, evidenciando feições magnéticas mais rasas, podendo assim haver uma melhor correlação com as informações de gamaespectrometria e geoquímica.

A imagem da amplitude do sinal analítico filtrado com passa alta (Figura 4) mostra o posicionamento das fontes magnéticas mais rasas.

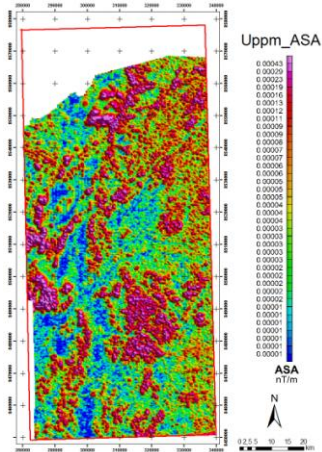


Figura 4 – Imagem da amplitude do sinal analítico com filtro passa alta

Com o objetivo de estudar a interrelação de dados provenientes de diferentes fontes, foram utilizados métodos estatísticos de regressão múltipla, onde cada um dos elementos é analisado em função dos demais.

Foram gerados gráficos de dispersão do Th, K e ASA em função do U (Figuras 5, 6 e 7, respectivamente), analisando assim a correlação direta ou inversa destes elementos. Com base na análise dos gráficos de dispersão gerados 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 interseção 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 um teor de 2 ppm, média da crosta terrestre. As retas de regressão assim obtidas foram utilizadas no processo de definir concentrações anômalas de urânio na área.

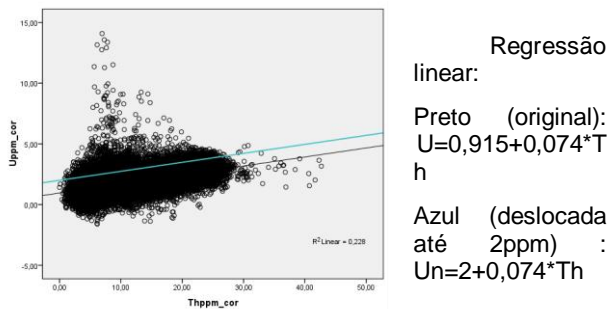


Figura 5 – Gráfico da dispersão de tório em função do urânio e as retas de distribuição, em preto a reta original, e em azul a reta deslocada até 2 ppm.

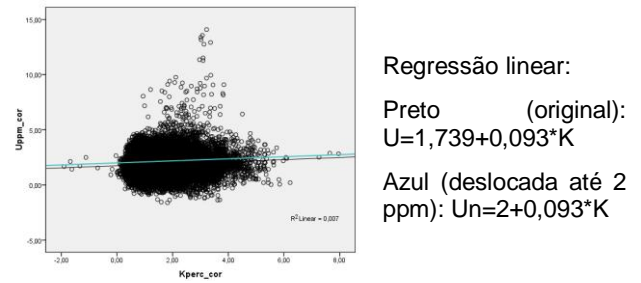


Figura 6 – Gráfico da dispersão de potássio em função do urânio e as retas de regressão, em preto a reta original, e em azul a reta deslocada até 2 ppm.

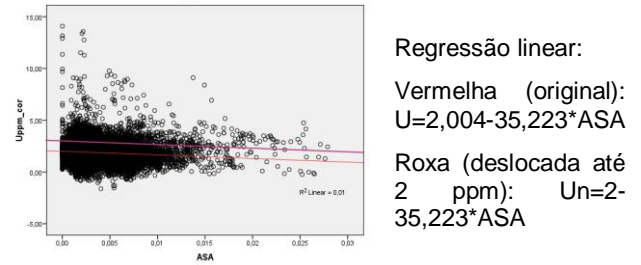
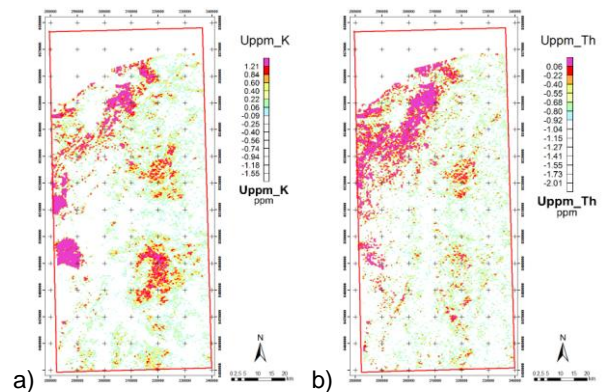


Figura 7 – Gráfico da dispersão dos valores da amplitude do sinal analítico em função do urânio e as retas de regressão, em vermelho a reta original, e em roxo a reta deslocada até 2 ppm.

Com as novas equações geradas e aplicadas aos dados, foram gerados mapas com valores estimados de urânio (em ppm) normalizados em relação ao K, Th e ASA para uma melhor visualização (Figura 8a, 8b e 8c, respectivamente). A diferença destes para o mapa do urânio original fornece mapas de valores anômalos.

Nos mapas de estimativa de urânio (Figuras 8a, 8b e 8c) o que se pode observar é que os valores acima da média aparecem coloridos. Os valores de média mais dois desvios-padrões estão representados pela coloração magenta, no topo da legenda.





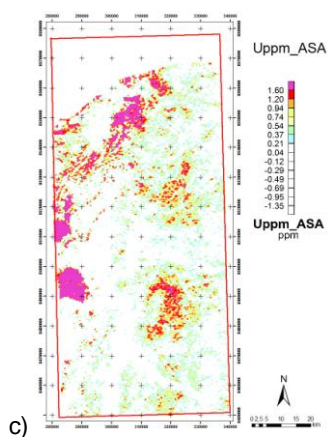


Figura 8 – a) Mapa da estimativa U em ppm, calculado a partir da regressão linear com relação ao K; b) Mapa da estimativa de U em ppm, calculado a partir da regressão lineares com relação ao Th; c) Mapa da estimativa de U em ppm, calculado a partir da regressão linear com relação ao ASA.

Licht *et al.* (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. São dados de sedimentos ativos de corrente da CPRM e Nuclebrás (Moreira *et al.*, 2008). Cabe salientar que não temos controle sobre estes dados, uma vez que no banco de dados do SIG de Goiás não há informações sobre a proveniência destes dados, tais como data e metodologia de aquisição.

Procurou-se trabalhar também com as informações de geoquímica para a região, sendo feita a correlação dos elementos em relação ao fósforo (Tabela 1). Notou-se uma correlação muito alta entre este e os elementos metálicos, e que a correlação entre o P e o F é da ordem de 80,1%. Esta análise foi feita utilizando-se todos os dados retirados do SIG de Goiás (Moreira *et al.*, 2008) para a área de trabalho.

Utilizando a base de dados da geoquímica e a geofísica aérea foi feito um processamento utilizando metodologia que integra os dois tipos de informações, levando em consideração principalmente os elementos P e F. Para esta análise os valores foram normalizados, para que a diferença de unidades de medida não influencie o resultado.

A estatística dos dados geoquímicos para o fósforo forneceu o valor de 196 ppm para a média e de 208 ppm para o desvio padrão. Seguindo metodologia usual para este tipo de dado definiu-se o teor médio como o background, o teor médio mais dois desvios padrão como limiar e teores acima disto como possivelmente anômalos. No caso em pauta teores de fósforo acima de 600 ppm foram considerados possivelmente anômalos (Figura 9).

Tabela 1 – Tabelas com as correlações entre o fósforo e os outros elementos analisados pela geoquímica.

	P - Correlação Pearson	N		P - Correlação Pearson	N
Cu	,659**	1162	Mo	-,336**	1162
Pb	,592**	1162	Sn	-,120**	1162
Zn	,623**	1162	V	,357**	1162
Ni	,641**	1162	Ag	-,225**	1162
Co	,641**	1162	Zr	-,166**	1162
Cr	,598**	1162	Y	-,156**	1162
F	,801**	1162	La	-,274**	1162
Fe	,642**	1162	Sc	,328**	1162
Mn	,534**	1162	Sr	0,005	1162
Nb	-,396**	1162	Ga	,633**	1162
Ba	-,171**	1162	Ca	,233**	1162
B	-,307**	1162	Mg	,524**	1162
Bi	-,420**	1162	Ph	,586**	1162
Be	-,145**	1162	Au	.a	1162
Ti	,184**	1162	As	.a	1162

\*\* - Correlação é significativa em 99% dos casos

\* - Correlação é significativa em 95% dos casos

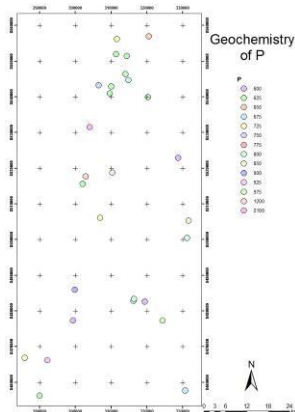


Figura 9 – Mapa com a disposição dos pontos de sedimento de corrente com valores acima de 600 ppm, o que equivale a média mais 2 desvios padrão.

Com base nesta informação, foram delimitadas pequenas áreas envolvendo estes pontos de valores de fósforo anômalos na geoquímica, para as quais foram feitas regressões multiplas comparando-se o comportamento do fósforo e do urânio em relação à geofísica (K, Th, U, UK, UTh, ThK, ASA) e ao fluor.

As novas funções foram aplicadas em toda a área de trabalho dando origem a novos mapas (Figura 10) 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 corrente). Estes são mapas de estimativa de valores anômalos de urânio em ppm.

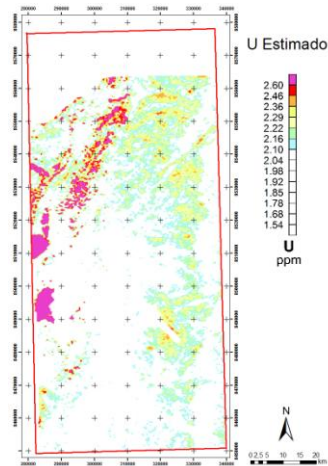


Figura 10 – Mapa da estimativa de urânio em ppm, quando aplicada a equação de regressão do U com relação à Th, K, UK, UTh, ThK e ASA.

Da mesma forma que nos mapas acima, aqui a palheta de cores da legenda foi trabalhada no sentido de mostrar somente os valores acima da média, e na cor magenta o representativo da média mais dois desvios-padrões, o que é considerado anômalo neste trabalho.

Tendo em vista a alta correlação do fósforo com o fluor, tanto nos dados para a área de estudos como na bibliografia, foram gerados produtos correlacionando estas informações, utilizando a regressão correspondente aos elementos utilizados (K, Th, UK, UTh, ThK, ASA, P e F, Figura 11).

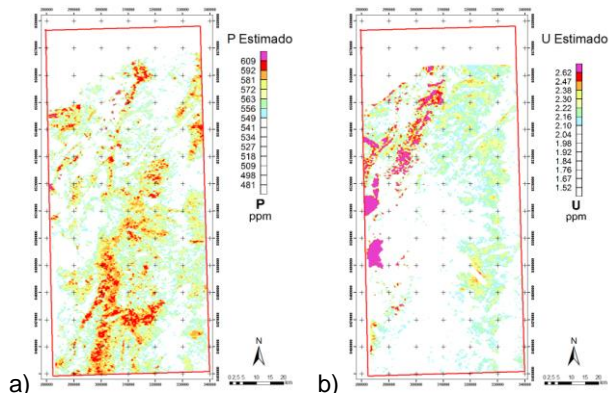


Figura 11 – a) Mapa da estimativa de fósforo em ppm, quando aplicada a equação de regressão do P com relação à U, K, Th, UK, UTh, ThK, ASA. b) Mapa da estimativa de urânio em ppm, quando aplicada a equação de regressão do U com relação à K, Th, U, UK, UTh, ThK, ASA e P.

## Discussões e Conclusões

Como podemos observar nas imagens geradas com os resultados das regressões, áreas que apresentam crosta

laterítica e rochas ígneas são bem mapeadas pelos elevados valores dos radioelementos U e Th.

Pequenas anomalias de P e U foram identificadas nos sedimentos das formações Serra de Santa Helena e Sete Lagoas, estas unidades pertencentes ao Grupo Bambuí, e que apresentam conhecido corpos de rocha fosfática na área de estudo.

Após a análise das imagens geradas, principalmente das estimativas de urânio e fósforo, podemos afirmar que:

1. Retirando as áreas de interferência de altos valores de U e Th, 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;
2. Foram selecionados quatro perfis (Figura 12) para investigação com gamaespectrometria terrestre, levando em consideração os resultados dos processamentos, imagens de estimativa de U e P, e a geologia conhecida para a região. E um perfil (Linha 5, Figura 12) que localiza-se dentro da área de mina, com corpo de fosforito conhecido e aflorante.

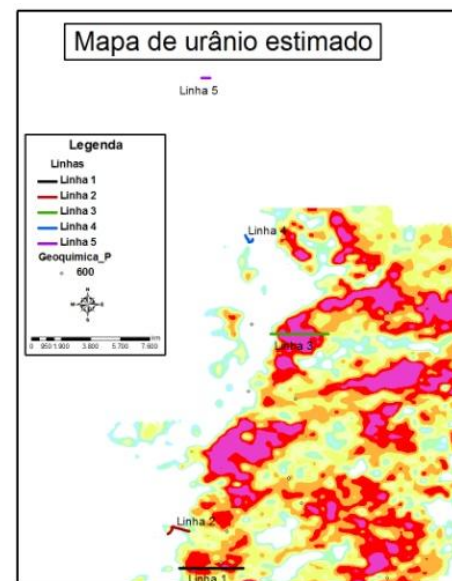


Figura 12 – Detalhe do mapa de urânio estimado com os pontos de amostragem geoquímica com valores acima de 600 ppm e localização dos 5 perfis para "follow up" com gamaespectrometria terrestre.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a UnB por toda a infraestrutura e equipamentos cedidos e, a Itafós Mineração Ltda pelo apoio na etapa de campo, pelas informações disponibilizadas e pela permissão para publicação destes dados, e a Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás pela cessão dos dados aerogeofísicos da área 5.

**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.

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.

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.