

PROSPECÇÃO MINERAL NO GRUPO PARANOÁ. REPROCESSAMENTO DE DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS E INTERPRETAÇÃO INTEGRADA A IMAGENS TM – LANDSAT 5

Paulo de Tarso L. Menezes¹, Henrique L. Roig^{1,2}, Gustavo B. Silva^{1,3} e Miguel A. Mane^{1,4}

Recebido em 06 abril, 2006 / Aceito em 30 agosto, 2006
Received on April 06, 2006 / Accepted on August 30, 2006

ABSTRACT. The present paper shows a case study of a regional exploration program for gold in the central portion of the Brazilian territory. Airborne gamma-ray and magnetic data of the Brazil-Canada Airborne Project were reprocessed and jointly interpreted with satellite images in a GIS environment. Gold-bearing quartz veins associated to hydrothermal zones in the Paranoá Group are our preferential geological target. Frequently, hydrothermal fluids increase both hydroxides and iron contents in the percolated rocks. Also, these fluids increase the concentration of the radionuclide potassium, uranium and thorium. Therefore, gamma-ray spectrometric data and image processing techniques may be used to produce a better visualization of potential gold targets. Several potential hydrothermal zones were identified in the studied area by the jointly interpretation of airborne gamma-ray spectrometric data and digital images processing techniques. Gamma-ray ternary images were superimposed to TM-Landsat 5 satellite images processed with main components analysis technique. Some of the selected targets are associated to gold "garimpos" in the area.

Keywords: airborne geophysics, mineral exploration, Paranoá Group.

RESUMO. Dados aerogeofísicos do Projeto Geofísico Brasil-Canadá foram reprocessados e interpretados em conjunto com técnicas de processamento digital de imagens com a finalidade de realizar uma prospecção regional para ouro no Grupo Paranoá. O modelo prospectivo utilizado para a definição de alvos potenciais envolve a associação das mineralizações auríferas a veios de quartzo sulfetados em zonas hidrotermais. Os processos hidrotermais freqüentemente alteram as concentrações originais de hidróxidos e óxidos de ferros das rochas, bem como as concentrações dos elementos radioativos: Potássio (K), Urânio (U) e Tório (Th). Técnicas de Processamento Digital de Imagens e dados gamaespectrométricos podem ser utilizados conjuntamente para a melhor definição de alvos potenciais. A identificação de possíveis zonas hidrotermais na região estudada deu-se através da utilização de técnicas de análise de principais componentes em imagens TM-Landsat 5 em conjunto com a interpretação dos dados aerogeofísicos, em especial o mapa Ternário. Foram selecionados os alvos que preenchem os pré-requisitos estabelecidos no modelo prospectivo. Alguns dos alvos selecionados nesta pesquisa correspondem a garimpos de ouro conhecidos na região.

Palavras-chave: aerogeofísica, processamento digital de imagens, prospecção mineral, Grupo Paranoá.

¹GEFEX – Grupo de Pesquisa em Geofísica de Exploração, DGAP/FGEL/UERJ, Rua São Francisco Xavier 524, 4006 A, 20550-013 Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

– E-mail: ptarso@uerj.br

²E-mail: henrique.roig@mme.gov.br

³E-mail: gustavo.basta@petrobras.com.br

⁴E-mail: miguelmane@yahoo.com

INTRODUÇÃO

O início de uma campanha prospectiva dá-se pelo reconhecimento de áreas e seleção de alvos em escala regional, passando-se progressivamente a escalas maiores onde serão realizados estudos de maior detalhe. Nesta primeira fase, conta-se principalmente com dados indiretos que o auxiliarão na definição de áreas a serem investigadas e ou detalhadas. Dentre os principais tipos de dados freqüentemente disponíveis citam-se as imagens de satélites e em especial os aerogeofísicos. Países com setor mineral desenvolvido como, por exemplo, o Canadá e Austrália, possuem quase a totalidade de seus territórios cobertos por aerolevantamentos de magnetometria e gamaespectrometria (Denham, 1997). Um fato de extrema importância é que a grande parte desses levantamentos é de alta resolução e foram realizados recentemente (a partir de 1995). As características desses levantamentos englobam posicionamento GPS, espaçamento de linha de vôo menor que 1.0 km e altura de vôo de 100 m (Hone et al., 1997). Além disso, a evolução dos sistemas de aquisição contribuiu muito para o aumento da acurácia dos dados aerogeofísicos (Nabighian & Asten, 2002).

No Brasil, embora grande parte de seu território seja coberta por aerolevantamentos, a maior parte destes foi realizado durante as décadas de 70 e 80 estendendo-se até o ano de 1992 (CPRM, 1995). Nesta época os projetos desenvolvidos foram caracterizados por levantamentos regionais ou de reconhecimento, com espaçamento entre linhas de vôo de 2 km, alturas de vôo variando entre 150 a 350 m e posicionamento por sistema Doppler (CPRM, 1995). Destaca-se aqui, o importante papel desempenhado pela CPRM (Companhia Pesquisa e Recursos Minerais) e o DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) no fomento do conhecimento geológico e mineral do país. Esses dois órgãos federais foram responsáveis pela aquisição de cerca de 2 milhões de quilômetros lineares até o ano de 1992 (CPRM, 1995). A PETROBRAS foi responsável pela aquisição de cerca de 1,5 milhões de quilômetros lineares no mesmo período.

Mesmo com estes novos empreendimentos, os aerolevantamentos geofísicos de caráter regional e de baixa resolução espacial realizados na década de 70, ainda são uma excelente fonte de informação se bem aproveitados. O reprocessamento e a reinterpretação desse tipo de dado, em especial se conjugado com metodologias de processamento digital de imagens, pode permitir dentre outros aspectos, uma melhor definição de unidades geológicas e a identificação de áreas favoráveis para a ocorrência de mineralizações.

Dentre os vários levantamentos realizados nos meados da

década de 70 destaca-se o Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC) caracterizado por aerolevantamento geofísico magnetométrico e gamaespectrométrico, recobrimdo uma área de 780.000 km². Os levantamentos aerogeofísicos foram seguidos por *follow up* de geofísica e geoquímica terrestres. Como ressaltado por Blum & Pires (1995), esses dados estavam abandonados, apesar de serem importante fonte de informações para a comunidade geológica. Somente a partir do início da década de 90 é que começaram a surgir trabalhos focados na re-interpretação dos antigos projetos aerogeofísicos. Dentre estes, destaca-se o de Blum & Pires (1995) interpretando os dados magnetométricos e gamaespectrométricos do projeto PBGC em conjunto a medidas gravimétricas, visando a definição do arcabouço tectônico e identificação de mineralizações auríferas nas regiões de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás.

Diante deste contexto o presente trabalho tem por objetivo reprocessar e reinterpretar parte dos dados aerogeofísicos do Projeto PGBC empregando técnicas de processamento digital de imagens em conjunto com os tratamentos das imagens do sensor TM do satélite Landsat 5. A partir desta integração pretende-se identificar alvos potenciais para mineralizações auríferas encaixadas nas rochas do Grupo Paranoá, ao sul da cidade de Niquelândia (GO). A integração de dados geofísicos e imagens de satélite é de extrema valia na melhoria dos procedimentos metodológicos voltados para a pesquisa mineral.

ARCABOUÇO TECTÔNICO

A área em estudo situa-se a norte de Brasília (DF) correspondendo, aproximadamente, a cartas topográficas Nossa Senhora da Abadia do Moquém (SE-22-Z-B-VI) e Niquelândia (SE-22-Z-B-I) na escala 1:100.000, limitada pelas latitudes 14°20'S e 15°00'S e longitudes 48°00'W e 48°30'W (Figura 1). Pertence à Província Tocantins, mais precisamente à Faixa de Dobramentos Brasília de idade Neoproterozóica que estende-se por mais de 1000 km na direção N-S, situando-se tectonicamente entre o Cráton de São Francisco a leste e a Faixa-Paraguaia-Araguaia a noroeste e a Bacia do Paraná a sudeste (Marini et al., 1984 e Pimentel et al., 2001). Os principais eventos tectônicos metamórficos desta faixa ocorreram por volta de 0,6 Ga (U-Pb em espinélio e Sm-Ne em granadas; Pimentel et al., 1992; Pimentel & Junges, 1998; Fischel et al., 1998 e 2001) e tem sido interpretado por Pimentel et al. (2001) como o fechamento final de uma bacia oceânica seguida da colisão entre o continente Amazônico a oeste e o Continente Congo-São Franciscano a leste. A existência de idades mais antigas (Ferreira Filho & Pimentel, 2000; Pimentel

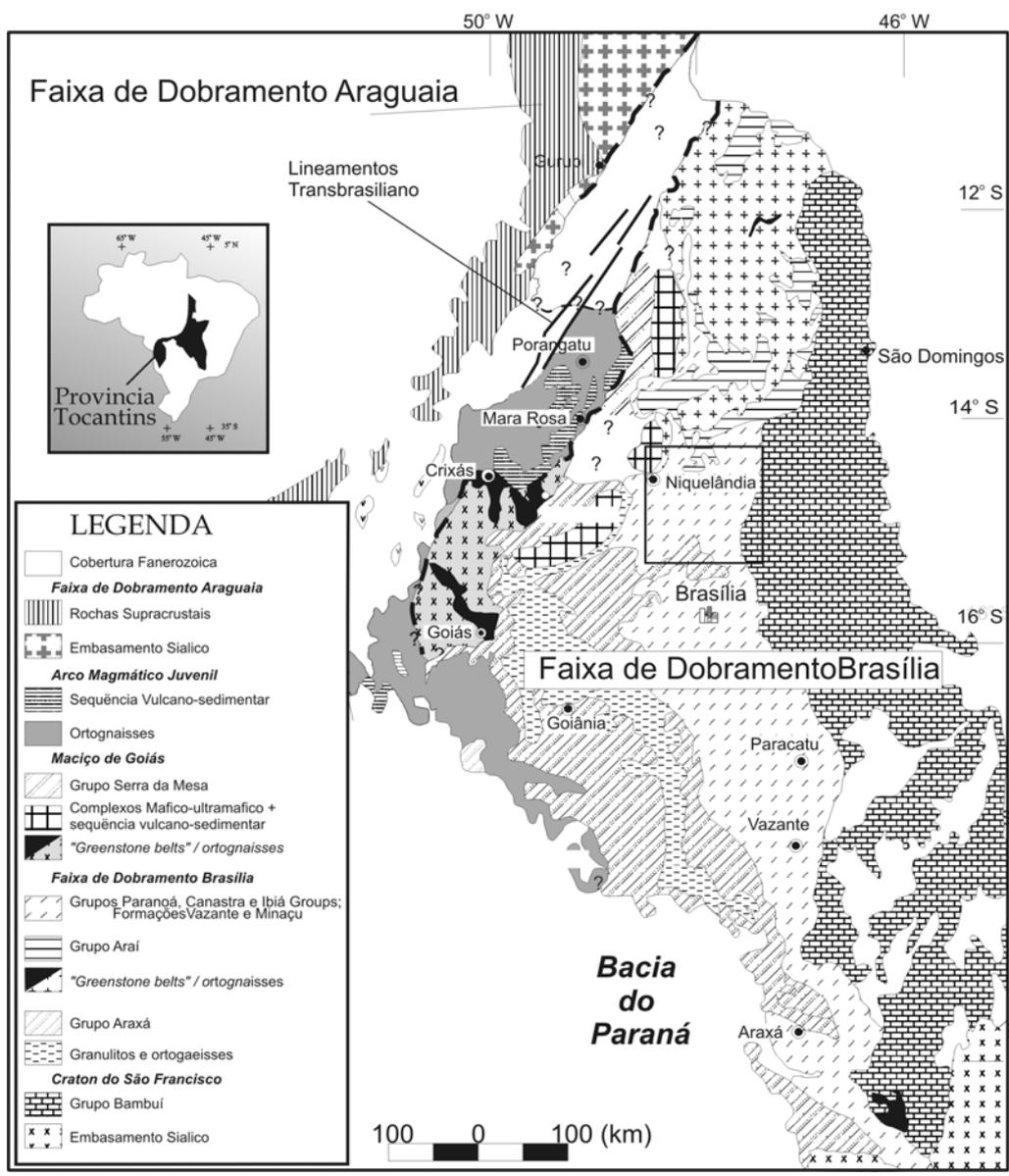


Figura 1 – Mapa Geológico da Província Tocantins (modificado de Pimentel et al., 2001). O retângulo na Figura indica a área de estudo.

& Junges, 1998), entorno de 0,78 G.a, tem sido atribuídas a acreção do arco-magmático de Goiás (Pimentel et al., 1999).

Dentro da área de estudo (Figura 2) os terrenos granito-gnáissico ocorrem como faixas tectônicas bordejando os Complexos de Niquelândia e Barro-Alto. Estes terrenos são caracterizados por gnaisses granodioríticos foliados, raramente bandados e por vezes maciços. Intrusões graníticas e veios pegmatíticos são comuns. Estas litologias encontram-se milonitizadas (milonito gnaisses e filonitos, Fuck et al., 1988) próximo à zona de cavalgamento. Idades Rb-Sr referem a 2.0 Ga. e idades K-Ar (último res-

friamento das rochas da região) giram em torno de 500-600 Ma. (Drago et al., 1981).

Os complexos máficos-ultramáficos são representados pelos maciços de Niquelândia ao norte e de Barro-Alto a sudoeste, dispostos na direção NNE-SSW (Figura 2), os quais representam corpos acamados com as seguintes associações litológicas: noritos e gabros granulitizados; gabro-noritica; e granodioríticos e granitos na forma de layer e stocks.

As rochas vulcano-sedimentares encontradas na área são as representadas pelas seqüências Indaianópolis/Coitezeiro em

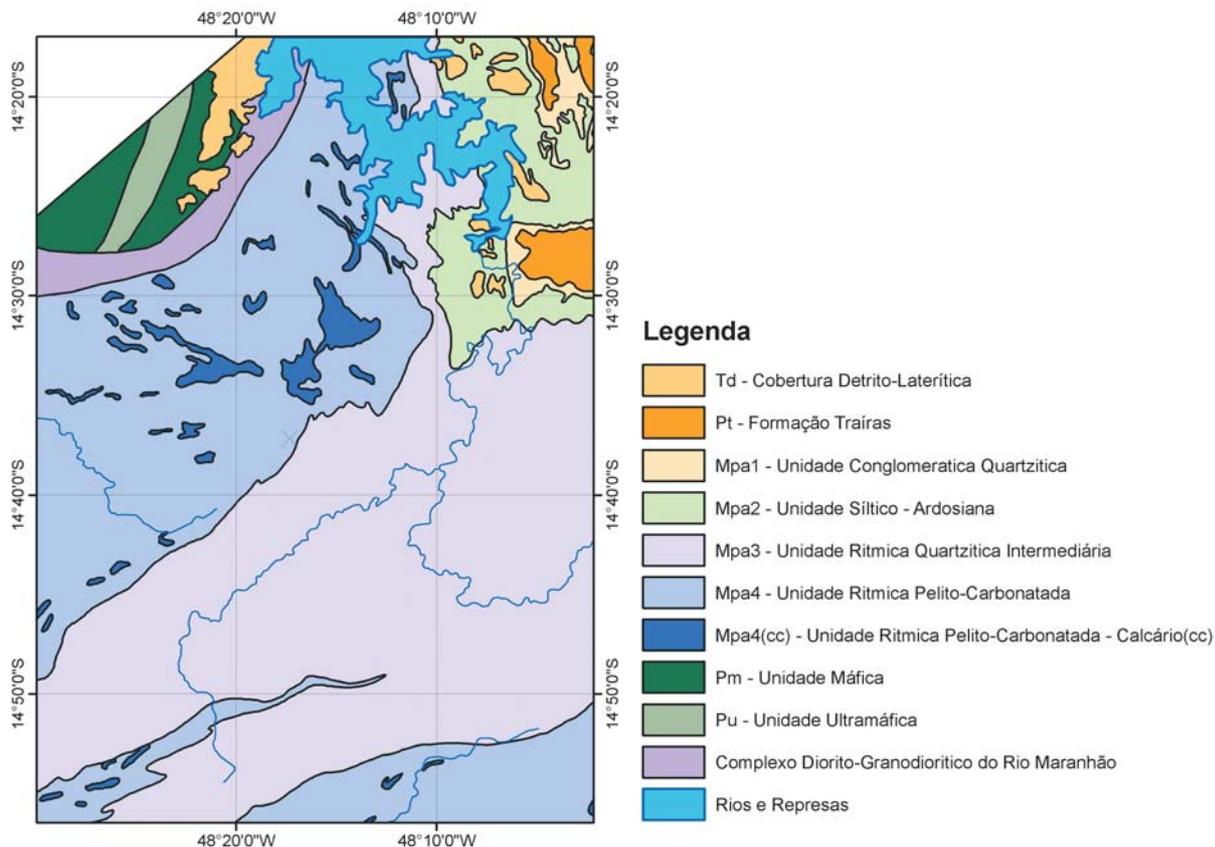


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo.

Niquelândia e Juscelândia em Barro Alto. São unidades compostas por anfíbolitos finos com textura de origem vulcânica associados a *metacherts* ferríferos e granatíferos, com predomínio de mica xistos nas unidades superiores.

O Grupo Araí corresponde a um espesso pacote de rochas metassedimentares depositadas sobre uma superfície erosiva em discordância com embasamento paleoproterozóico. Sua porção basal é composta por um pacote de metaconglomerados, quartzitos (com estratificação plano-paralela, cruzada e até acanalada), quartzitos conglomeráticos associados a rochas vulcânicas (basaltos, dacitos e riolitos) datados de 1,77 G.a (U-Pb zircão; Pimentel et al., 1999). A seqüência superior do Grupo Araí é constituída por metapelitos carbonáticos, calcixistos, mármore impuros e clorita filitos calcíferos, representantes da fase de transgressão marinha (Dardenne et al., 1999).

O Grupo Serra da Mesa (Marini et al., 1977, 1984), na área de estudo, ocorre sobreposto tectonicamente ao Grupo Paranoá (Figura 2). A base é formada por quartzito grosseiro, às vezes conglomerático passando a laminado devido à presença de mus-

covita. Sobrepostos a estas litologias ocorrem mica xistos com granada, estaurolita e cianita, com intercalações de quartzitos finos, xistos grafitosos e calcixistos com lentes de mármore grosseiros impuros e camadas de xisto grafitoso (Marini et al., 1984). Segundo Dardenne (2000) evidências geocronológicas indicam que os sedimentos foram depositados entre 1,6 e 1,47 G.a, possivelmente correspondendo a uma sucessão *pós-rift*.

O Grupo Paranoá, principal unidade da área de estudo e foco deste trabalho, é separado do Grupo Araí por uma inconformidade na base e no topo pelo Grupo Bambuí (Dardenne, 1978; Fuck et al., 1988). Segundo Olivo (1989) o Grupo Paranoá encontra-se subdividido em dez unidades mapeáveis distribuídas em duas seqüências principais: psamo-pelítica e psamo-pelito-carbonática. A primeira seqüência é constituída por metaconglomerados, filitos carbonosos e quartzitos, e a segunda por calcifilitos, quartzitos, filitos carbonosos e quartzitos feldspáticos. A sedimentação do Grupo Paranoá, de acordo com Dardenne et al. (1976), ocorreu entre 1,2 e 0,9 Ga marcada pela presença de estromatólitos de *Conophyton metula*. Os processos tectono-

metamórficos ocorreram durante a orogênese Brasileira, com ápice entre 0,65 e 0,60 Ga (Fuck et al., 1988 e Pimentel et al., 1999).

CONTEXTO METALOGENÉTICO

A fim de elaborar um modelo prospectivo a ser implementado neste trabalho, procurou-se na literatura obter as informações disponíveis sobre o controle e modelo metalogenético propostos para as mineralizações auríferas da região (Olivo & Marini, 1988; Olivo, 1989; CPRM, 1996, entre outros).

Basicamente as mineralizações na região podem ser caracterizadas por três tipos distintos, que ocupam posições estratigráficas bem definidas dentro do Grupo Paranoá, as quais são:

- veios de quartzo sulfetados encaixados em rochas psamo-pelíticas com depósitos secundários aluvionares associados;
- veios ios/vênulas quartzo-carbonáticos sulfetados encaixados em rochas psamo-pelito-carbonáticas com depósitos secundários tipo elúvio-coluvionar associados;
- ocorrências secundárias em solo coluvionar ou em aluviões cuja provável área fonte são quartzitos.

As mineralizações auríferas do Grupo Paranoá teriam se formado provavelmente por hidrotermalismo metamórfico, isto porque não há evidências de magmatismo no Grupo Paranoá (Olivo, 1989). Sob elevadas condições de pressão e temperatura as soluções liberadas dos metassedimentos vizinhos seriam carregadas através de zonas de cisalhamento (*shear zones*), percolando preferencialmente falhas e fraturas abertas, em especial nas rochas calcárias. Estas falhas (de gravidade) e fraturas seriam resultantes de reativações tardi- a pós-orogênicas de falhas regionais NE/SW policíclicas (Olivo & Marini, 1988), condicionadas pela *Shear Zone* Niquelândia/Campos Belos. Esta controla ocorrências auríferas em vários intervalos litoestratigráficos, como por exemplo, no Grupo Serra da Mesa e embasamento granito-gnáissico.

As mineralizações ocorrem no topo da seqüência psamo-pelítica e na seqüência psamo-pelito-carbonática em intervalos que possuem camadas fixadoras de soluções, principalmente as rochas calcárias (hospedeira de muitas ocorrências) que retiveram Au, Ag e elementos associados como Fe, Mo e As. Nos veios ocorrem muitas vezes bandeamentos definidos pela acumulação diferencial de sulfetos nas bordas.

PROJETO PGBC

O Projeto Geofísico Brasil – Canadá (PGBC) foi executado em função de um acordo entre o Ministério das Minas e Energia do Brasil (MME) e a Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (Canadian International Development Agency – CIDA). O objetivo deste acordo era o de executar um levantamento dos recursos minerais da região Centro-Oeste do Brasil.

O projeto foi executado entre os anos de 1975 e 1976. A altura média de vôo foi de 150 m. O controle da altura foi feito por um radar altímetro e a navegação foi controlada através de sistema de navegação Doppler e recuperada a partir de fotografias colhidas durante o vôo com câmeras 35 mm (CPRM, 1995). As linhas de produção foram voadas na direção N-S com 2 km de espaçamento, enquanto as linhas de controle foram levantadas na direção E-W em intervalos de espaçamento de 14 km. Foram adquiridos dados magnetométricos (campo total) e radiométricos em quatro janelas espectrais: Potássio, Urânio, Tório e Contagem Total.

MÉTODOS

Processamento dos dados geofísicos

Os dados de campo foram processados digitalmente no Canadá, onde maiores detalhes do procedimento empregado podem ser encontrados no DNPM (1981). Os dados foram gridados em malha regular de modo a gerar um conjunto de mapas de contorno de campo magnético total e espectrometria gama nas escalas 1:100.000 e 1:250.000 e de geoquímica em sedimento de corrente na escala 1:250.000 (DNPM, 1981). Os dados originais e corrigidos estão disponíveis em fitas magnéticas sob a tutela da CPRM. Os dados corrigidos em formato ASCII XYZ foram gentilmente cedidos pela CPRM para a execução deste trabalho. O processamento dos dados radiométricos realizado neste trabalho consistiu no nivelamento e micronivelamento das linhas de vôo (Intrepid Geophysics, 1998). Os dados gamaespectrométricos foram processados para a remoção do Efeito Compton que promove a retirada da influência das radiações atribuídas aos canais de mais alta energia que penetram nos canais de baixa energia. Na correção do efeito Compton as seguintes interações de canais são consideradas:

- a) radiações de tório no urânio,
- b) radiações de tório no potássio,
- c) radiações de urânio no potássio,
- d) radiações de urânio no tório,

- e) radiações de potássio no tório,
- f) radiações de potássio no urânio.

Ao final do reprocessamento foram gerados os seguintes temas gamaespectrométricos: Contagem Total; Potássio, Urânio, Tório e Ternário (Figura 3a a 3e). A área de superposição das imagens de satélite e dos dados geofísicos é ilustrada pelo polígono desenhado na Figura 4a. Os dados magnetométricos de campo magnético anômalo total estão plotados na Figura 4a. A partir destes foi calculado o sinal analítico do campo magnetométrico (Figura 4b).

Imagens de Satélites (TM)

Neste trabalho foram utilizadas as imagens multispectrais (bandas de 1 a 5 e 7) do sensor Thematic Mapper a bordo do Satélite Landsat 5. As cenas utilizadas foram 221/070 e 222/070 (órbita/ponto) imageadas em 30/07/90 e 05/06/91 respectivamente.

Processamento das Imagens TM

As imagens Landsat foram primeiramente pré-processadas visando a correção geométrica e atmosférica e posteriormente realizaram-se as operações visando à discriminação das unidades geológicas e dos alvos prospectivos.

A correção geométrica foi realizada utilizando-se pontos de controle selecionados nas cartas topográficas na escala 1:100.000 (sistema UTM – Zona 22 e o Datum Córrego Alegre). A operação de transformação foi realizada utilizando-se um polinômio do primeiro grau (*Affine*) e o método de reamostragem dos pixels foi o vizinho próximo (Novo, 1989; Crósta, 1993). O erro final (RMS) foi de 1,6 e 1,9. Para a correção atmosférica foi utilizado o método de subtração do *pixel* escuro (Crósta, 1992). Esse método consiste em subtrair um número digital encontrado sobre objetos escuros, considerando que o valor que aparece sobre o alvo deve-se ao espalhamento atmosférico. Pereira Filho (1991) e Xavier (1998) concluíram que o método de Chaves (1989) normaliza os efeitos atmosféricos entre as cenas, apresentando melhor desempenho na faixa do visível e infravermelho-próximo.

O processamento empregado consistiu na análise dos tripletes, de operações aritméticas entre bandas e análise estatística como, por exemplo, análises por principais componentes. As informações estruturais foram realizadas utilizando-se as imagens filtradas destacando-se os filtros direcionais e passa alta.

Vários foram os tripletes analisados, no entanto sem acrescentarem grandes informações adicionais aos dados geofísicos,

em virtude, principalmente, da existência da cobertura vegetal. As unidades que mostraram uma melhor discriminação foram os complexos máficos-ultramáficos, em função do alto contraste com as unidades psamíticas em função do alto teor de Fe, claramente discriminados nos tripletes contendo as bandas 3 e 1.

A imagem que proporcionou melhor discriminação entre unidades foi a PC123/RGB relativa as seis bandas (Figura 5), permitindo discriminar as principais unidades do Grupo Paranoá, com uma boa correlação com o mapa geológico da região (Figura 2). No entanto, em algumas regiões a imagem PC123 permitiu mapear as variações litológicas dentro da seqüência psamo-pelito carbonática, fornecendo a subdivisão com detalhamento maior do que o apresentado por Blum & Pires (1995) e compatível com o mapa de detalhe elaborado por Olivo (1989). Visto que, não há uma correlação direta entre a variação de cores e os tipos litológicos, optou-se pela realização de razões de bandas e posterior alocação em composições coloridas. Tendo como foco a resposta espectral dos materiais os quais se deseja realçar, realizaram-se as seguintes razões: 3/1 (ferro), 5/7 e 5/1 (argilominerais e carbonatos), 5/4 (rochas pelíticas) e a fórmula $[(5/4) \times (3/4)]$ para materiais aluminosos (Souza Filho & Drury, 1997). A partir dos resultados elaboraram-se 2 composições coloridas: 5/4R, 5/1G, 3/1B e aPC1 na intensidade (I), e $[(5/4) \times (3/4)]R$, 5/1G, 5/7B e PC1I (proposto por Souza Filho & Drury, *op cit*). Os resultados alcançados com estes tripletes foram similares ao derivado da análise da PC123, porém com possibilidade de correlacionar os tipos litológicos (Figura 6).

Visando a discriminação das principais feições estruturais, foram aplicadas várias técnicas de filtragem. A que apresentou melhor resultado foi a técnica denominada *general edge sharpening* (Earth Resource Mapping, 1998) que é a aplicação do que um filtro Laplaciano + Original. Neste processo aumenta-se o peso do valor central da máscara, produzindo-se imagens com um melhor contraste para a interpretação visual.

RESULTADOS

Seleção de Alvos

Para a identificação de possíveis zonas mineralizadas, tomou-se como base o modelo prospectivo descrito anteriormente. Dessa maneira, através da interpretação aerogeofísica procurou-se definir, quando possível:

- zonas de contatos entre a Seqüência Psamo-pelítica e a Seqüência Psamo-pelito-carbonática;

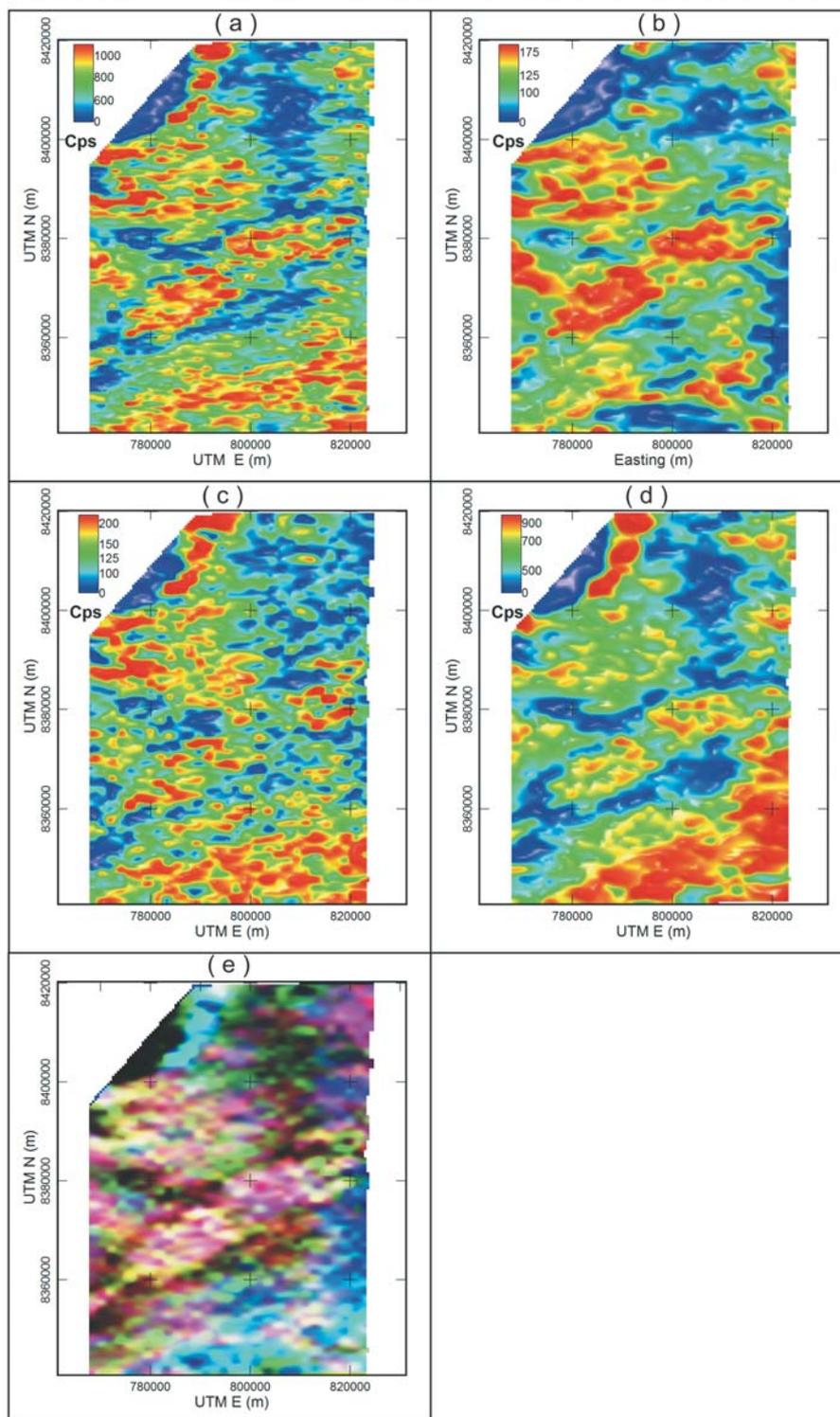


Figura 3 – Do canto superior esquerdo ao inferior direito. Imagens em pseudocolor: (a) Contagem Total; (b) Potássio; (c) Urânio; (d) Tório; (e) Ternário (composição colorida K, Th e U em RGB).

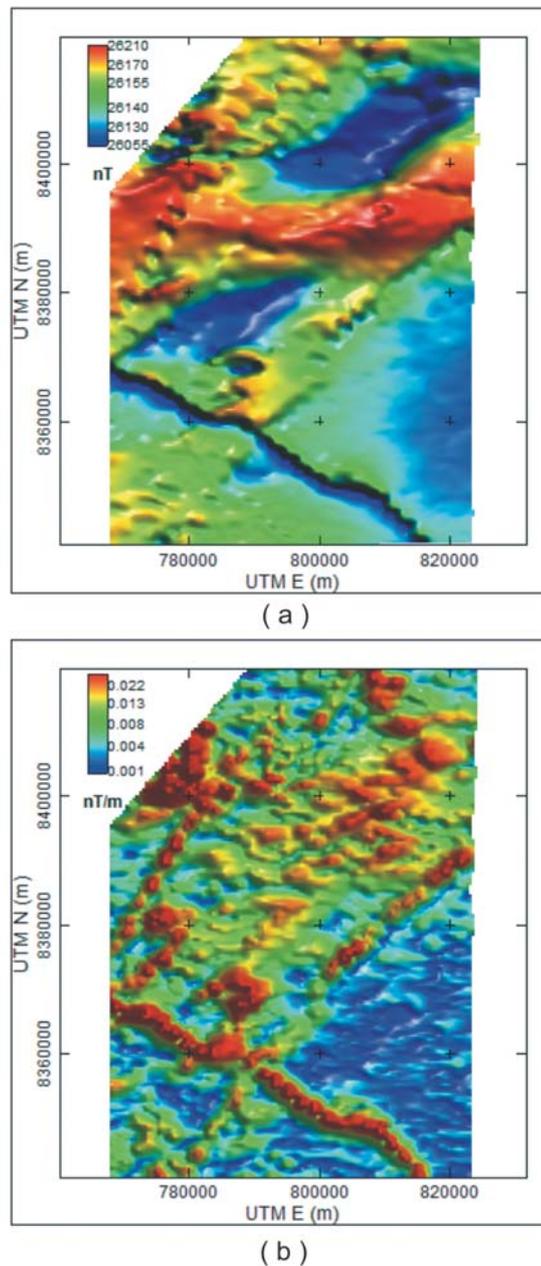


Figura 4 – (a) Campo magnético total (reduzido do IGRF) em pseudocolor. Notar o realce da descontinuidades estruturais de direção NE-SW e WNW/ESE. SA; (b) sinal analítico do campo magnético total. Notar as fontes magnéticas lineares na porção centro-sul da área.

- regiões constituídas por sedimentos detríticos carbonáticos e filitos carbonosos;
- arcabouço estrutural WNW-ESE / WSW-ESE e NE;
- regiões com prováveis intrusivas básicas.

Dentre as informações gamaespectrométricas disponíveis (Figura 3), as imagens de Contagem Total (CT) e de Tório foram as mais confiáveis em relação às anomalias produzidas (melhor separação de unidades radiométricas). O canal de Contagem Total, por possuir maior precisão estatística (Vasconcelos, 1994) e

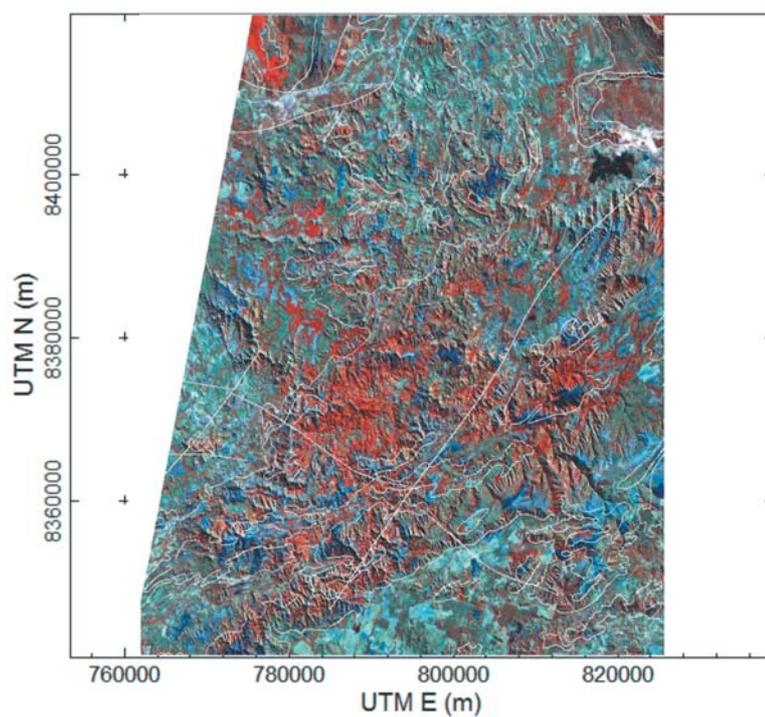


Figura 5 – Composição colorida R4G5B7 com os contatos do mapa geológico da Figura 2.

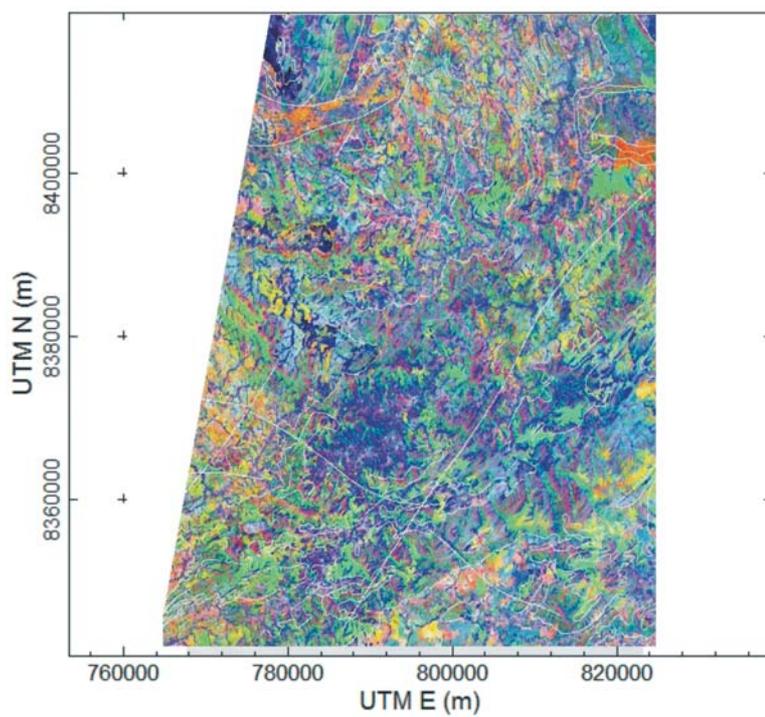


Figura 6 – Principais Componentes (RGB PC1, 2 e 3).

o de Tório, por este elemento ser o menos solúvel dentre os elementos radioativos.

Através da interpretação dos mapas magnetométricos (Figura 4), foi possível estabelecer as principais direções de arcabouço estrutural. O mapa de sinal analítico indica, na porção centro-sul da região, a existência de fontes alongadas nas direções WNW-ESE e NE. Essas fontes magnéticas não são observadas nos temas gamaespectrométricos, o que é um indicativo de serem fontes profundas, não aflorantes. Uma possível explicação para estes corpos com grande susceptibilidade magnética seria a presença de intrusivas básicas na seqüência metassedimentar.

Informações adicionais, relacionadas à detecção de processos hidrotermais, podem vir a contribuir com o modelo prospectivo adotado. As áreas potenciais a ocorrência de processos hidrotermais podem ser mapeadas utilizando-se a análise por principais componentes em destaque pela Técnica Crósta (Loughlin, 1991). A análise das tabelas de auto-vetores (Tabelas 1 e 2) permitiu selecionar a PC4 para o realce dos minerais portadores de hidroxila e a PC4 para o realce dos óxidos de ferro. Após a seleção das PCs, foi realizada uma composição colorida alocando-se no vermelho a componente H (hidroxila), no azul a componente Fe (íon férrico) e no verde a soma destas duas PCs. As áreas de interesse aparecem em tons de branco, sendo assim selecionadas (Figura 7).

Tabela 1 – Coeficiente dos autovetores para o conjunto destinado ao realce de óxidos/hidróxidos de ferro.

	PC1	PC2	PC3	PC4
TM1	0.507	-0.226	-0.397	-0.731
TM3	0.508	-0.066	-0.542	0.667
TM4	0.498	-0.510	0.689	0.129
TM5	0.486	0.827	0.273	-0.066

Tabela 2 – Coeficiente dos autovetores para o conjunto destinado ao realce de minerais com hidroxila

	PC1	PC2	PC3	PC4
TM1	0.506	-0.261	-0.492	0.658
TM4	0.497	-0.564	0.648	-0.122
TM5	0.498	0.781	0.341	0.189
TM7	0.508	0.062	-0.471	-0.718

Na etapa final da interpretação, a fim de fornecer uma maior confiabilidade à seleção de alvos, procurou-se integrar os resultados do processamento de imagens com o mapa ternário (Figura 8). Isto porque os fluidos hidrotermais freqüentemente remobilizam os elementos K, Th e U, concentrando-os preferencialmente nas zonas mineralizadas (Vasconcelos, 1994). Portanto,

de acordo com o exposto, deve-se assinalar no mapa ternário regiões esbranquiçadas, que representam a abundância dos três elementos.

Uma vez cruzadas todas as informações descritas acima, definiram-se os alvos que satisfizessem a maior quantidade de atributos necessários para atender o modelo prospectivo. As áreas selecionadas obedeceram a uma hierarquia segundo a quantidade e qualidade da informação usada. Ilustramos na Figura 8 somente os alvos com prioridade 1 (atenderam a quase todas as premissas feitas no modelo prospectivo), ou seja, os mais interessantes para uma pesquisa *follow up*. Vale a pena ressaltar que alguns dos alvos selecionados correspondem a garimpos de ouro na região, o que é um fator importante para atestar a confiabilidade da interpretação realizada.

CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado ilustra, dentre outros aspectos, a importância em se resgatar os dados aerogeofísicos coletados nas décadas de 1970 a 1980 como uma forma de se obter informações sobre o subsolo brasileiro. Para tal, os dados do Projeto PGBC foram reprocessados e interpretados em conjunto com técnicas de processamento digital de imagens com a finalidade de realizar uma prospecção regional no Grupo Paranoá.

Os resultados obtidos foram excelentes, os dados magnetométricos forneceram principalmente informações estruturais da área investigada e aventou-se a hipótese de se existir vulcânicas intrusivas básicas nos metassedimentos da região. Os dados gamaespectrométricos foram importantes para delimitação dos contatos litológicos.

Para a definição de alvos potenciais para mineralizações auríferas utilizou-se como modelo prospectivo à associação com zonas hidrotermais. A identificação dessas zonas na área estudada deu-se através da utilização de técnicas de análise de principais componentes em imagens Landsat-TM 5 em conjunto com a interpretação dos dados aerogeofísicos, em especial o mapa ternário. Foram selecionados os alvos que preenchiam os pré-requisitos estabelecidos no modelo prospectivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPRM pela cessão dos dados aerogeofísicos do Projeto PGBC. Este trabalho teve o suporte financeiro da FAPERJ. PTLM obteve financiamento do Edital-Universal/CNPq contrato: No. 472229/03-6.

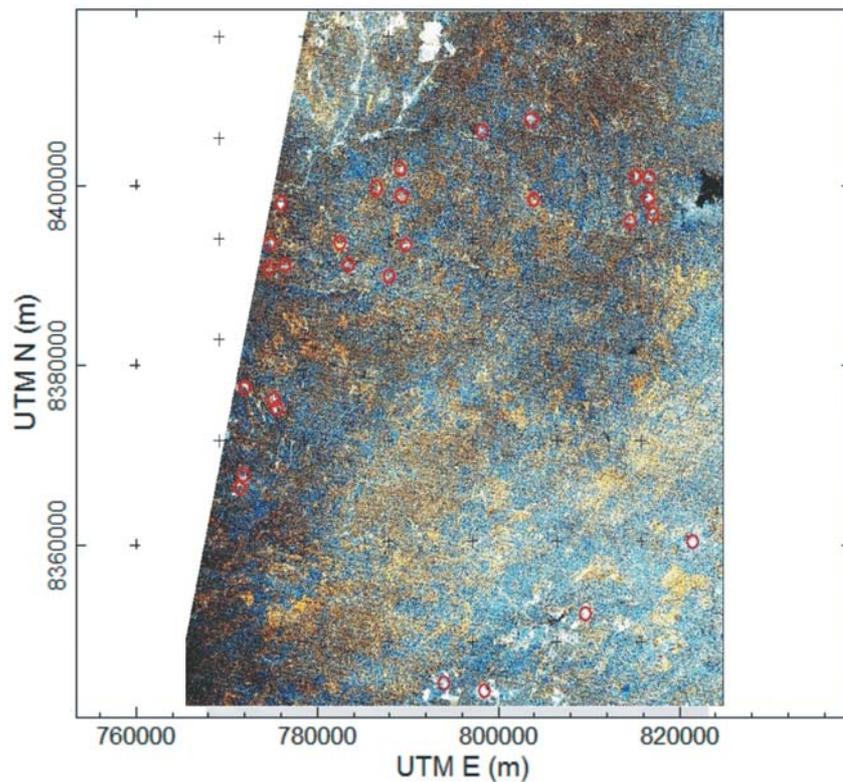


Figura 7 – Principais componentes para realce de alteração hidrotermal – PC4 (1, 4, 5 e 7) no vermelho, PC4 (1, 3, 4 e 5) no azul e a soma das duas PCs no verde. Áreas brancas correspondem a regiões potenciais à presença de alteração hidrotermal. Áreas brancas na região norte-noroeste da área estudada correspondem, na sua maioria, a minas de Ni laterítico.

REFERÊNCIAS

BLUM MLB & PIRES ACB. 1995. Interpretação de Superfície Curie e a Geotectônica do centro de Goiás. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 228–229.

CHAVES Jr PS. 1989. Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images. PE & RS. 55(9): 1285–1294.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1995. Catálogo geral de produtos e serviços. Geologia. Levantamentos aerogeofísicos. Base de dados AERO. 2ª edição. Rio de Janeiro, 359 p.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1996. Programa nacional de prospecção de ouro – Área GO-03, Niquelândia, Goiás (1:250.000). Rio de Janeiro.

CRÓSTA AP. 1992. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1ª ed. Campinas, SP, Brasil: IG-UNICAMP, 1992. v. 1. 170 p.

CRÓSTA AP. 1993. Processamento Digital de Imagens. Campinas. SP. IG/UNICAMP. 170 p.

DARDENNE MA. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife – PE. Anais, 2: 597–610.

DARDENNE MA. 2000. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI UG, MILANI EJ, THOMAZ FILHO A, CAMPOS DA. (Org.). Tectonic Evolution of South America. 1 ed. Rio de Janeiro: Brazil, p. 231–263.

DARDENNE MA, FARIA A & ANDRADE GF. 1976. Occurrence de stromatolites columnaires dans le Groupe Bambuí (Goiás-Brésil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 48(3): 555–566.

DARDENNE MA, CAMPOS JEG, ALVARENGA CJS, MARTINS FAL & BOTELHO NF. 1999. A Sequência Sedimentar do Grupo Araí na Região da Chapada dos Veadeiros, Goiás. In: 7º Simpósio de Geologia do Centro Oeste e 10º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1999, Brasília. Boletim de Resumos, p. 100.

DENHAM D. 1997. Airborne geophysics in Australia: the government contribution. AGSO Journal of Austral. Geolog. & Geophys, 17(2): 3–9.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1981. Projeto Geofísico Brasil-Canadá: histórico e atividades até 30/09/77. MME/DNPM, Goiânia, GSC, Canadá.

DRAGO VA, PINTO AC, MONTALVÃO RMG, SANTOS ROB, SIMÕES MA, OLIVEIRA FC, BEZERRA PEL, PRADO P, FERNANDES CAC & TASSINARI CCG. 1981. Geologia. In: Radam Brasil, MME (SG), cap. 1: 27–300.

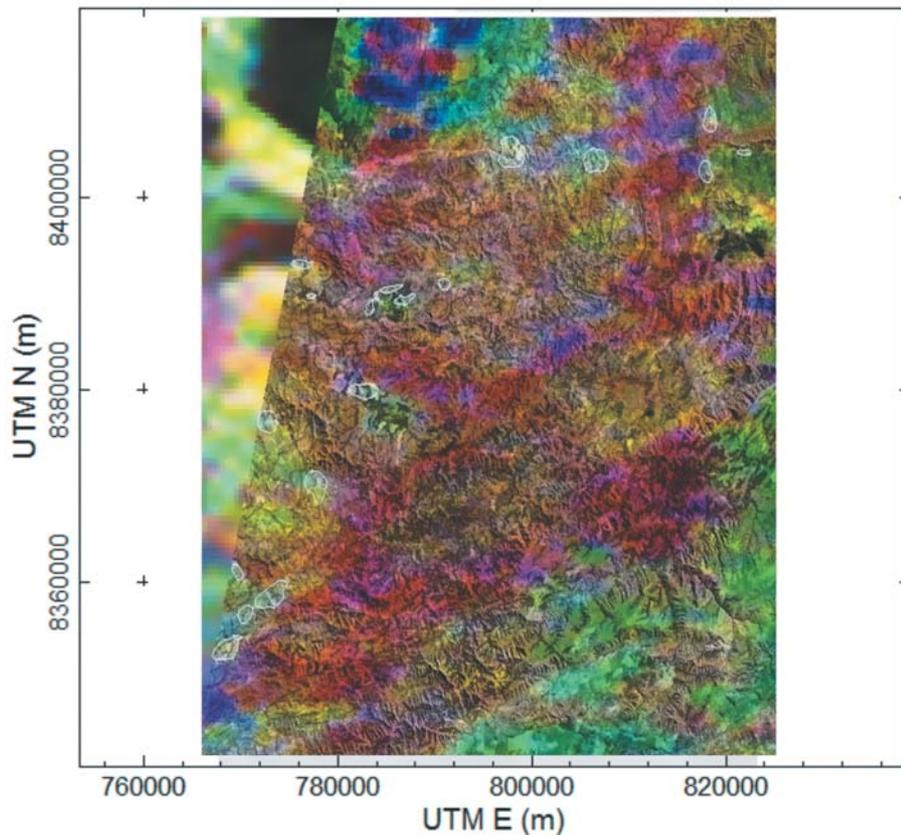


Figura 8 – Mapa Ternário integrado com a banda 7 do TM. Os círculos brancos na figura indicam os alvos selecionados no presente estudo com prioridade 1.

EARTH RESOURCE MAPPING. 1998. ErMapper User Guide. Ed. Earth Resource Mapping. West Perth, Australia. 922.

FERREIRA FILHO CF & PIMENTEL MM. 2000. Sm-Nd isotope systematics and REE-Hf-Ta-Th data of troctolites and their amphibolitized equivalents of the Niquelândia Complex Upper Layered Series, central Brazil: further constraints for the timing of magmatism and high-grade metamorphism. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 647–659.

FISCHEL DP, PIMENTEL MM, FUCK RA & COSTA AG. 1998. Sm-Nd isotopic investigation across the Abre Campo Structural discontinuity, eastern Brazil. In: *ICOG-9 (IX International Congress on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology)*, Beijing Abstracts – Chinese Science Bulletin, 43: 41.

FISCHEL DP, PIMENTEL MM, FUCK RA & ARMSTRONG R. 2001. U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of the Anápolis-Itaçu Complex, Araxá Group and associated granites: Neoproterozoic high grade metamorphism in the central part of the Brasília Belt, Goiás. In: *Simpósio Sul-americano de Geologia Isotópica*, 3. Pucón. SSAGI 3 v. CD-ROM.

FUCK RA, MARINI OJ, DARDENNE MA & FIGUEIREDO AN. 1988. Coberturas metassedimentares do Proterozóico Médio: os grupos Araí e

Paranoá na região de Niquelândia-Colinas, Goiás. *Rev. Bras. Geoc.*, 18(1): 54–62.

HONE IG, MILLIGAN PR, MITCHELL JN & HORSFALL KR. 1997. Australian national airborne geophysical databases. *AGSO Journal of Austral. Geol. & Geophys.*, 17(2): 11–21.

INTREPID GEOPHYSICS. 1998. Intrepid geophysical processing and interpretation system. Software manual, 134 p.

LOUGHLIN WP. 1991. Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(9): 1163–1169.

MARINI OJ, FUCK RA, DARDENNE MA & FARIA A. 1977. Contribuição a Geologia da Porção Central de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 304–324.

MARINI OJ, FUCK RA, DANNI JCM, DARDENNE MA, LOGUERCIO SOC & RAMALHO R. 1984. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: *SCHOBENHAUS C. (Coord.) Geologia do Brasil*. MME-DNPM, cap. 6: 251–303.

NABIGHIAN MN & ASTEN MW. 2002. Metalliferous mining geophysics-

- state of the art in the last decade of the 20th century and the beginning of the new millennium. *Geophysics*, 67(3): 964–978.
- NOVO EMLM. 1989. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. São Paulo, Edgard Blucher. 303 p.
- OLIVO GR & MARINI OJ. 1988. Controle lito-estratigráfico e gênese das ocorrências auríferas da seqüência psamo-pelito-carbonática do Grupo Paranoá-Goiás. *Anais 35 Congr. Bras. Geol.*, 1: 93–106.
- OLIVO GR. 1989. Controle lito-estratigráfico e gênese das ocorrências auríferas da seqüência psamo-pelito-carbonática do Grupo Paranoá-Goiás. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília, 134 p.
- PEREIRA FILHO W. 1991. Interpretação de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo da influência das características da bacia de captação na concentração de sólidos em suspensão em reservatórios: O exemplo de Tucuruí. São José dos Campos – SP. Dissertação de Mestrado. INPE. 215 p.
- PIMENTEL MM, HEMAN L & FUCK RA. 1992. Idade do meta-riolito da seqüência Maratá, Grupo Araxá, Goiás: estudo geocronológico pelos métodos U-Pb em Zircão. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 64(1): 19–28.
- PIMENTEL MM, DARDENE MA, VIANA MG, GIOIA SM, JUNGES SL & SEER HJ. 1999. Nd isotopes and the provenance of sediments of the Brasília Belt, central Brazil. In: *South American Symp. On Isot. Geology*, 2., Carlos Paz Actas, p. 426–429.
- PIMENTEL MM, DARDENE MA, FUCK RA, VIANA MG, JUNGES SL, FISCHER DP, SEER HJ & DANTAS EL. 2001. Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 14: 571–585.
- PIMENTEL MM & JUNGES SL. 1998. Metasediments of the Neoproterozoic Mara Rosa Arc, Brazil: Sm-Nd constraints for the tectonic setting of depositions and timing of metamorphism. In: *ICOG-9 (IX International Congress on Geochronology Cosmochronology and Isotope Geology)*, Beijing. Abstracts – *Chinese Science Bulletin*, 43: p. 99.
- SOUZA FILHO CR & DRURY SA. 1997. Remote sensing strategies for lithological mapping of Pan African Assemblages in arid environments - A case study in Eritrea, NE Africa. *Bul. USP – Série Científica.*, 28(1): 01–22.
- VASCONCELOS RM. 1994. *Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM, 172 p.
- XAVIER AC. 1998. Estimativa de propriedades biofísicas de plantações de eucaliptos a partir de dados Landsat-TM. São José dos Campos – SP. Dissertação de Mestrado. INPE. 143 p.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Paulo de Tarso Luiz Menezes possui graduação em Geologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1986), mestrado em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (1990) e doutorado em Geofísica pelo Observatório Nacional (1996). Atualmente é colaborador do Observatório Nacional e professor adjunto do Departamento de Geologia Aplicada (DGAP) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tem larga experiência na área de Geociências, com ênfase em Geofísica Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: exploração de petróleo, prospecção mineral, magnetometria, gravimetria e magnetotélúrico.

Henrique Llacer Roig é Geólogo formado pela Faculdade de Geologia da Uerj em 1988; mestrado pela UNICAMP em 1992 e o Doutorado em 2005 pela UnB. É Professor do Departamento de Geologia Aplicada (DGAP) da Faculdade de Geologia. Atualmente é Coordenador-Geral de Geologia e Mineração (DAS4) da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia. Seus trabalhos de pesquisa mais recentes compreendem o uso de Geotecnologias aplicado a Exploração de Recursos Naturais e ao Ordenamento Territorial do DGAP.

Gustavo Basta Silva possui graduação em Geologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 1998. Trabalhou durante cerca de três anos nas áreas de prospecção mineral e meio ambiente. Atualmente é funcionário da Petrobras e trabalha na área de exploração de petróleo.

Miguel Angelo Mane possui graduação em Geofísica pela Universidade de São Paulo (1989), mestrado em Geofísica pela Universidade de São Paulo (1992) e doutorado em Geofísica pela Universidade de São Paulo (1998). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atuando nos seguintes temas: Gamaespectrometria, Fósforo, Imagens de Satélite, Prospecção Mineral, Proteção Radiológica e Perfuração de poços.