

Realce e Interpretação de dados aerogeofísicos como ferramenta para o mapeamento geológico em regiões intemperizadas: o caso da Serra de Cláudio, Porção Sul do Cráton São Francisco, M.G.

Andréia Cristina Ruy¹, Adalene Moreira Silva¹, Catarina L. Benfica Toledo¹

1 - DGRN, Instituto de Geociências, UNICAMP

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

This paper presents an integrated approach to geological mapping by the use of high-resolution airborne geophysical data and geological information in weathered regions. Innovations in the data processing allowed the elaboration of several products, applied on spatial evaluation of geological units and structural lineaments. The ability of the products to geological mapping was evaluated in specific field studies, when it was verified that magnetic and radiometric maps were efficient to limit boundaries of geological domains. Individually, magnetic maps provided both the structural characterization of the domains and delimitation of the specific lithological units, like mafic and ultramafic bodies, while radiometric maps were efficient in mapping of lithological units. The integrated products, that display simultaneously geophysical and geomorphological signatures of the lithological groups, showed high potential to highlight geological contacts and tectonic structures in this type of terranes.

Introdução

A região de Cláudio, porção sul do Cráton São Francisco, apresenta algumas limitações naturais que dificultam a aquisição de informações geológicas de campo, as quais incluem um espesso e contínuo perfil de solos desenvolvido sobre o substrato rochoso, provocando uma escassez de afloramentos naturais (Figura 01).

No entanto, esta região se destaca no contexto regional, pois uma de suas unidades, composta de rochas ultramáficas, anfíbolitos, xistos, granada-silimanita quartzito e BIFs é correlacionada ao Supergrupo Rio das Velhas (Oliveira *et al.*, 2001). Sua caracterização é extremamente relevante no mapeamento deste e de outros segmentos de mesma natureza na porção sul do Cráton São Francisco.

Este trabalho demonstrou que a utilização de dados aerogeofísicos de alta resolução permitem uma ampla visualização da distribuição e configuração espacial das unidades litológicas e estruturas tectônicas, minimizando as dificuldades de obtenção de dados geológicos de

campo em regiões fortemente intemperizadas. Portanto, a utilização destes produtos e sua integração com dados geológicos, favorecem a produção de mapas com informações geológicas e estruturais mais detalhadas, implementando substancialmente a melhoria da qualidade do mapeamento geológico.

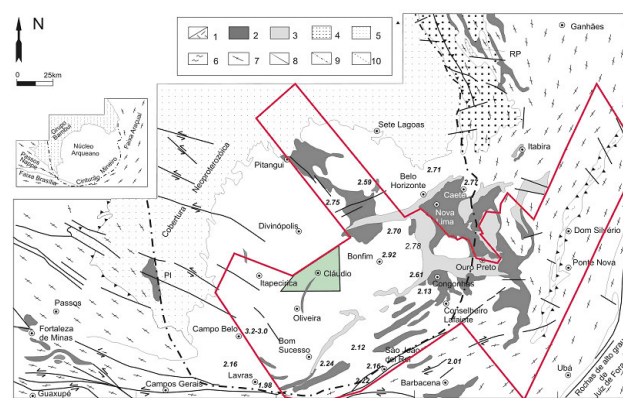


Figura 01. Mapa Geológico esquemático da Porção Sul do Cráton São Francisco. Notar em verde, a delimitação da área a ser estudada no projeto em apreço (Modificado de Teixeira *et al.* 2000). 1 – rochas granitóides-gnaisses-migmatitos e granulitos, retrabalhados no Paleoproterozóico (Arqueano); 2- *Greenstone Belts*; 3- Supergrupo Minas (Paleoproterozóico); 4- Supergrupo Espinhaço (Paleo a Mesoproterozóico); 5- Grupo Bambuí (Neoproterozóico); 6-Zona de Cisalhamento/Faixas cisalhadas; 7- Faixas marginais (Araçuaí, Sul da Faixa Brasília e Nappe de Passos); 8- Falhas Maiores; 9-Limite do Craton; 10- Folição Gnáissica. Siglas: PI, RP, FM, CO= *Greenstone belts* Piumhi, Rio Paraúna, Fortaleza de Minas e Congonhas; DS - Grupo Dom Silvério (Neoproterozóico).

Contexto Geológico

A região de Cláudio, porção Sul do estado de Minas Gerais pertence a porção meridional do Cráton São Francisco (Almeida 1977). A região é constituída por rochas gnáissicas, anfíbolíticas e metaultamáficas (metaperidotitos, metapiroxenito) que foram intrudidas por gabronoritos, granitóides e gabros (Carneiro *et al.* 1996). Oliveira & Carneiro (2001) dividem a região em unidades gnáissicas, anfíbolíticas, supracrustais e máfica fissural. A unidade gnáissica apresenta rochas de composição variada variando de tonalitos a granitos. A unidade Gnáissica de Cláudio apresenta composição granodiorítica a diorítica e em algumas regiões granítica. Estas rochas serviram de encaixante para os eventos magmáticos posteriores, e substrato síalico para a deposição de seqüências supracrustais geradas desde o

neoarqueano até o neoproterozóico (Fernandes 2001). As rochas da Unidade Anfíbolítica estão encaixadas nos gnaisses, paralelamente ao bandamento, na forma de diques deformados, que são classificados como hiperstênio anfíbolito. As unidades supracrustais são compostas de rochas ultramáficas, anfíbolito, granada-sillimanita-xisto, granada-sillimanita-quartzito e formação de ferrífera bandada. Elas encontram-se deformadas, metamorfozadas e, localmente, catacladas.

A unidades máficas fissurais são representadas pelos diques, de composição ultramáfica e máfica (gabronorito, gabro e diabásio) e trend NW/SE. Esta unidade acompanha a direção das anomalias magnéticas observadas por Oliveira (1999). Suas espessuras variam de métricas a decamétricas, e comprimento podendo chegar a quilômetros. A zona de cisalhamento de Cláudio possui direção NE-SW e se formou, possivelmente, durante a colagem do Cinturão Mineiro ao pós-país do orógeno transamazônico (Fernandes 2001).

Dados Aerogeofísicos

Á área de trabalho é coberta pelos dados do Projeto Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga, que recobre toda a área do Quadrilátero Ferrífero e adjacências. Ele faz parte do Programa de Levantamento Aerogeofísico promovido pela SEME (Secretaria de Estado de Minas e Energia do estado de Minas Gerais) e seus resultados foram disponibilizados em um Relatório Final (Lasa, 2001). Os métodos empregados foram o gamaespectrométrico e magnetométrico, com sobrevoos a 100 m de altitude segundo linhas espaçadas de 250 m, com linhas de controle a cada 2.500 m. A área coberta é de 36.385 km², equivalente a 160.271 km lineares de vôo com direções de linha de vôo de N30W e N30E e linhas de controle perpendiculares a estas.

Processamento dos Dados Aerogeofísicos

A análise do relevo referente ao campo magnético anômalo foi auxiliada por suas transformações lineares, principalmente referentes à amplitude do sinal analítico, demarcando a posição das fontes magnéticas, fundamental na caracterização dos domínios magnéticos e feições lineares. Foi efetuada as derivadas vertical e horizontais do campo magnético anômalo, para compreensão das posições espaciais relativas destas fontes e demarcação das zonas de cisalhamento e lineamentos importantes.

O procedimento utilizado na interpretação dos dados gamaespectrométricos envolveu a comparação da imagem correspondente a cada canal discriminado (K, U e Th) com o modelo digital de terreno, visando o estudo da influência do relevo sobre a distribuição destes elementos. O canal de contagem total foi analisado para a definição de grandes domínios gamaespectrométricos. Observou-se ainda a contribuição relativa de cada um dos elementos, utilizando-se composições ternárias em falsa cor (RGB) com os canais de K, Th e U (eventualmente usando o modelo digital de terreno como uma quarta componente), buscando-se, através da análise de sua distribuição espacial, definir unidades e/ou domínios com assinaturas gamaespectrométricas

semelhantes. As etapas do processamento estão sintetizadas nas figuras 02 e 03.

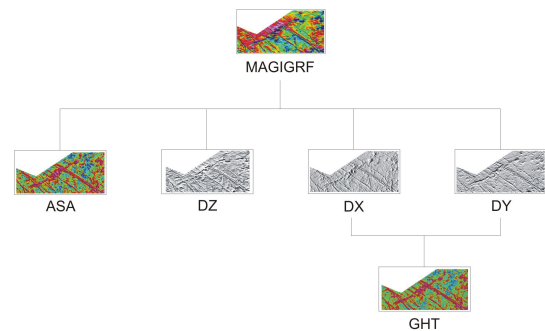


Figura 02. Etapas de processamento dos dados magnetométricos gerados para este projeto. MAGIGRF – campo magnético anômalo; ASA - amplitude do sinal analítico; DZ – primeira derivada vertical do campo magnético anômalo; DX - primeira derivada horizontal em X do campo magnético anômalo; DY - primeira derivada horizontal em Y do campo magnético anômalo, GHT- gradiente horizontal total.

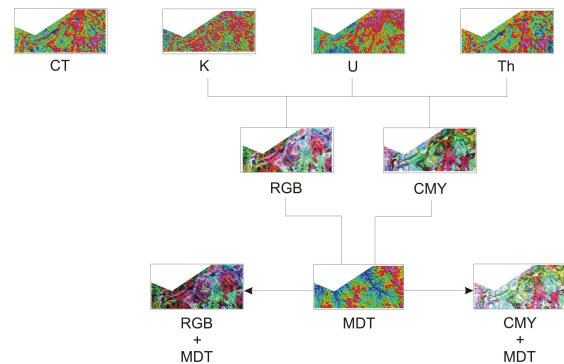


Figura 03. Etapas de processamento dos dados gamaespectrométricos gerados para este projeto. CT - Contagem Total (μ R/h), K - Canal de Potássio (%), U - Canal de Urânio (ppm), Th - Canal de Tório (ppm), RGB – Composição em falsa-cor RGB, colorida com cores aditivas primárias (Red – vermelho, Green - verde, Blue - Azul), CMY Composição em falsa-cor CMY, colorida com cores secundárias (Cian - ciano, Magenta - magenta, Yellow – amarelo). MDT – Modelo digital de terreno.

Realce e Interpretação dos Dados

A geração de mapas magnetométricos e gamaespectrométricos possibilitou o reconhecimento de diversas estruturas e unidades geológicas diretamente correlacionáveis ao mapa geológico regional (Figura 1), ainda carente de detalhamentos.

A interpretação qualitativa conjunta de todas as imagens gamaespectrométricas e magnetométricas geradas para a dissertação foi efetuada em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se a extensão *habitat digitizer* (do ESRI-ArcView™ 3.2). A extensão *habitat digitizer* (de domínio público) foi criada com o objetivo de classificar hierarquicamente polígonos delineados pela interpretação visual de imagens georreferenciadas, como fotografias aéreas, imagens TM,

etc. Esta extensão permite criar esquemas de classificação eficientes e delinear rapidamente as características dos polígonos/áreas de interesse. Uma das grandes vantagens da classificação hierárquica reside na precisão com a qual cada categoria/ nível hierárquico pode ser determinado, adicionando-se ou eliminando-se novas categorias conforme necessário. Por se tratar de esquema que pode ser facilmente criado e modificado, pode ser utilizado com vantagens na interpretação. Baseado nesta premissa desenvolveu-se um esquema de classificação hierárquica para a interpretação visual de imagens gamaespectrométricas levando em conta a variação dos teores de potássio, urânio e tório, divididos em três categorias, cada qual deles (K, eTh e eU), em baixo, médio e alto. A classificação final, obtida sobre a imagens RGB (Figura 04), mostra 27 classes ou 27 unidades geofísicas. No caso das imagens magnetométricas, os domínios foram classificados em baixa, média e alta amplitude do sinal analítico de acordo com as direções principais em NW/SE e NE/SW, utilizando como base as imagens de amplitude do sinal analítico (Figura 05) e Derivada Vertical (Figura 06).

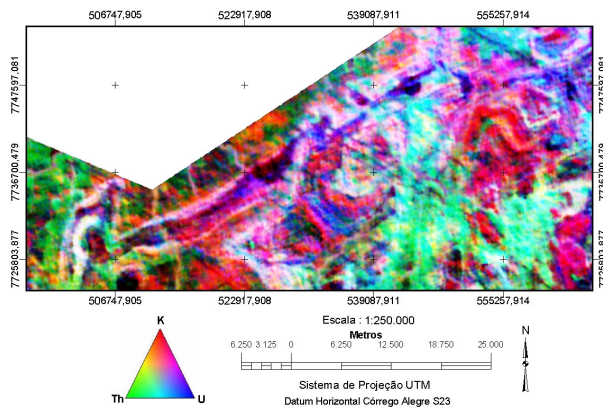


Figura 04. Composição ternária RGB (K eTh eU) da área estudada. Observar a Serra de Cláudio que apresenta uma direção NE e uma anomalia que se destaca na área de trabalho. A porção central possui baixos teores nos radioelementos K, eTh, eU; porém esta anomalia encontra-se envelopada por altos valores destes radioelementos.

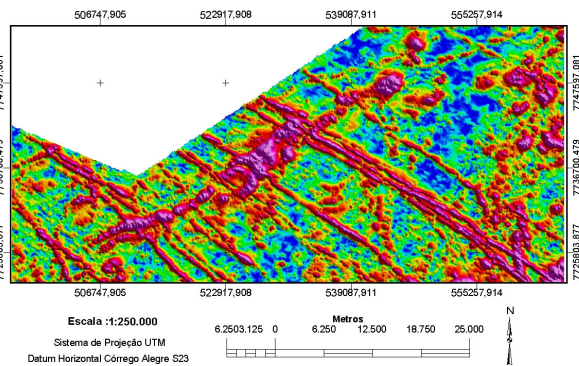


Figura 05. Mapa da amplitude do sinal analítico em pseudocor. Altos valores encontram-se expressos em magenta, enquanto os baixos valores em azul. A Serra de Cláudio se destaca por apresentar uma alta amplitude no sinal analítico, recortada por um enxame de diques NW/SE.

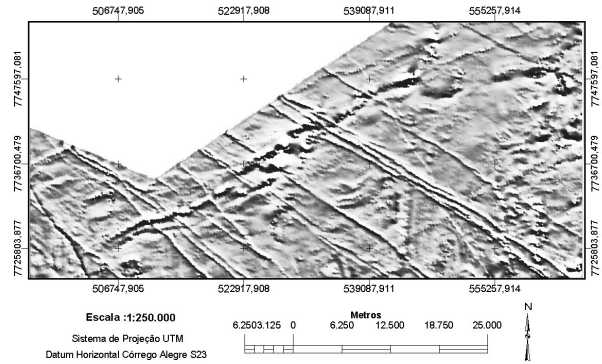


Figura 06. Mapa da primeira derivada vertical (DZ) do campo magnético anômalo. Observar o traço da Serra de Cláudio, que que toda região é recortado por um enxame de diques NW/SE.

Modelagens em 2,5 D foram efetuadas a partir dos produtos gamaespectrométricos (composições coloridas e estas composições com o modelo digital de terreno no canal de intensidade) e magnetométricos (ASA e DZ) no software ENVI - SULSOFT 4.0, com exagero vertical de dez vezes).

Resultados

O produto final foi interpretado na escala 1:100.000 e é apresentado na escala 1: 250000. (Figura 07), foi obtido a partir dos produtos anteriores, o que possibilita a caracterização de bordas e contatos entre os entre os diversos litotipos, bem como a identificação de novos litotipos e estruturas. Confeccionou-se outro produto em mesma escala, utilizando os dados magnéticos, para auxiliar na classificação das anomalias (Figura 08).

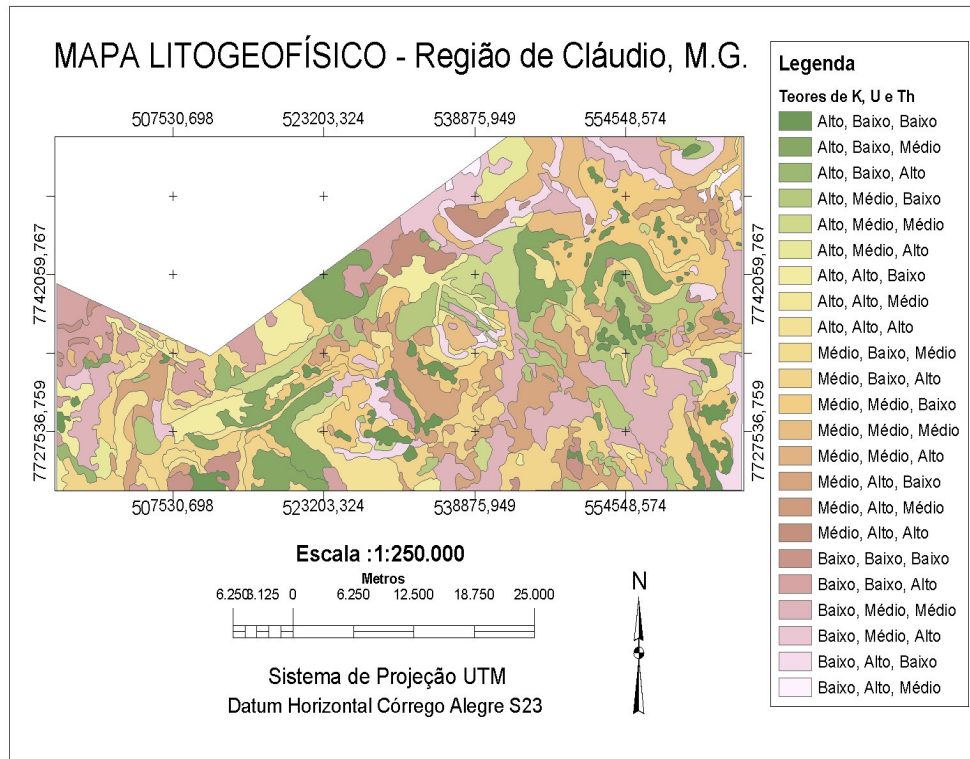


Figura 07. Mapa ilustrando os domínios litogeofísicos da região de Cláudio e adjacências. O mapa foi interpretado na escala 1:100.000 e é apresentado na escala 1: 250000.

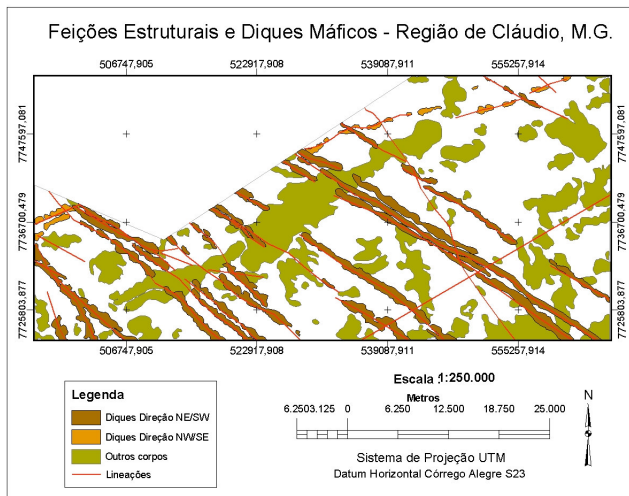


Figura 08. Mapa ilustrando os lineamentos magnéticos e o enxame de diques máficos que recorta a Serra de Cláudio e adjacências.

A validação destas assinaturas foi efetuada a partir da localização geográfica dos corpos conhecidos em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) e em trabalho de campo. Para o campo utilizamos um Receptor GPS com coletor IPAQ, para monitoramento das anomalias geofísicas e sua correlação em tempo real.

A correlação entre altos na amplitude do sinal analítico em corpos magnéticos e diques máficos, bem como sua expressão nas imagens gamaespectrométricas possibilitaram delinear a expressão areal destes corpos. A figura 09 mostra a expressão de alguns corpos de rocha ultramáfica na região. Ainda é possível, no caso apresentado, reconhecer traços da textura original.

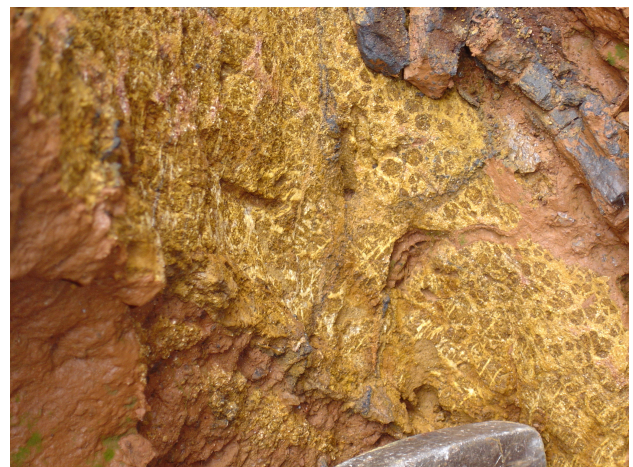


Figura 09. Forma de ocorrência de rochas ultramáficas na região da Serra de Cláudio. Notar que ainda é possível reconhecer traços da textura original cumulática, porém a rocha encontra-se totalmente intemperizada.

Com base nos afloramentos visitados correlacionamos a geologia e a interpretação dos domínios validando alguns aspectos. Regiões ilustradas na imagem RGB por coloração branca representam corpos granitódies deformados que circundam a Serra de Cláudio. Corpos de granito-gnaiss foram mapeados e mostram uma coloração vermelha, enquanto que os tonalitos um enriquecimento em potássio e tório.

Os diques se destacam na amplitude do sinal analítico pelo seu alto gradiente e na gamaespectrometria pelo baixo conteúdo de radioelementos. Em campo, nos domínios muito intemperizados, não é fácil de distinguir a expressão deste corpos das rochas máficas e ultramáficas. Analisando resultados da modelagem em 2,5 D composta a partir da composição em falsa cor RGB (K eTh eU) com uso do modelo digital de terreno (MDT) e com exagero vertical de dez vezes (Figura 10), observa-se influência do relevo sobre a distribuição destes elementos. No entanto, não há um comprometimento das assinaturas. Isto reforça que a aplicação deste método é muito eficiente para mapeamento em regiões tão intemperizadas.

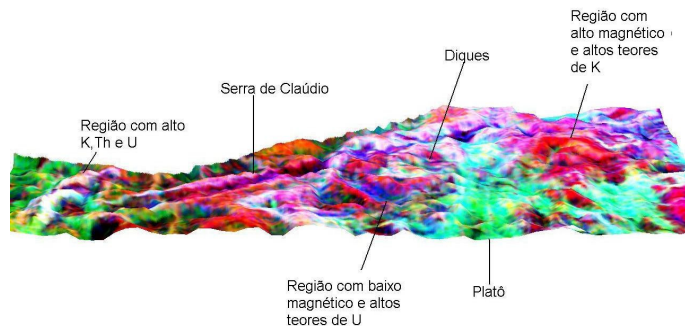


Figura 10. Modelo em 2,5 D, efetuado a partir de composição ternária falsa cor RGB (exagero vertical 10 vezes) gerado no software ENVI 4.0. Possível notar altos e baixos gamaespectrométricos, o que reflete a variação dos radioelementos na região de estudo, bem como a sua associação com estruturas importantes (eg. Serra de Cláudio).

Em alguns locais, na Serra de Cláudio, pode se observar restos de corpos e máficos e ultramáficos, na maioria das vezes, em processo de laterização (Figura 11).



Figura 11. Afloramento de rocha máfica em processo de laterização.

Em todas as composições é possível destacar a presença da Serra de Cláudio, representado como um grande corpo alongado localizado na porção central da área em estudo, de orientação NE/SW cortado por um enxame de diques, com padrão principal de ocorrência NW/SE para o a região, confirmando observações encontradas na literatura (Silva et al. 1995, Oliveira et al. 2001.)

A análise conjunta com dados gamaespectrométricos e topográficos assinalou que regiões mais baixas estão localizadas sobre as rochas com teores baixos dos três radioelementos, são na maioria rochas máficas e/ou ultramáficas, como já apontado na literatura. Estas são realçadas nos produtos gerados a partir do campo magnético anômalo, pois possuem alta susceptibilidade magnética.

Conclusões

Em regiões intemperizadas, as rochas nem sempre estão disponíveis sobre a forma de afloramentos ou permitem inferências sobre o que ocorre em profundidade. Esta escassez de exposições de rochas e contatos litológicos em superfície representa um entrave para a cartografia geológica. Os métodos de pré-processamento, processamento e realce aplicados aos dados magnetométricos e gamaespectrométricos abordados neste artigo, foram bastante efetivos no sentido de gerar produtos para interpretação geológica. Dentre estes, a amplitude do sinal analítico, a composição ternária RGB (K, Th e U) e o canal de tório foram críticos para a caracterização de domínios e estruturas geológicas na área de estudo, muitas das quais ausentes dos mapas geológicos previamente produzidos nesta região.

Agradecimentos

Agradecemos à CODEMIG e a Secretária do Minas e Energia (SEME) do Governo de Minas Gerais (pela liberação dos dados do Levantamento Aerogeofísico do Projeto Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga utilizados

nesta pesquisa e à FAPESP pelo projeto de Auxílio à Pesquisa (Proc. N^o. 2002/09038-6).

Referências Bibliográficas

Almeida F.F.M. 1977. O Cráton São Francisco. *Rev. Bras. Geociências*, 7(4): 349-364.

Carneiro M. A. Teixeira W., Nalini Jr A., Oliveira A. H.de, Carvalho Jr I.M. 1996 Archean ultramafic-mafic magmatism in the southern São Francisco Craton (Campo Belo Complex) : Preliminary petrographic and geochemical results. In: Simpósio de Terrenos Arqueanos da Plataforma Sul-Americana, Brasília, *Anais...*, Brasília, p. 32-33.

Fernandes R.A. 2001. *Etapas de Formação de Crosta Continental (de Mesoarqueano ao Mesoproterozóico) no Cráton São Francisco Meridional*. UFOP.Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, 120 p

Lasa Engenharia e Prospecções S.A. 2001. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2. Projeto Pitangui – São João Del Rey – Ipatinga. Volume I, Texto técnico.

Oliveira A. H. & Carneiro M. A. 2001. Campo Belo Metamorphic Complex: Tectonic Evolution of Archean sialic crust of the southern São Francisco Craton in Minas Gerais (Brazil). In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73 (3): P.397 - 414

Oliveira A. H. 1999. *Evolução Tectônica de um Segmento Crustal Arqueano do Cráton São Francisco Meridional*. DEGEO. Univ. Federal de Ouro Preto Dissertação de Mestrado. 104 p.

Silva, A. M., Chemale Jr., F.; Kumuyumjian, R. M.; Heaman, L. 1995. Mafic Dike Swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil, *Revista Brasileira de Geociências* 25(2): 124-137.

Silva, A. M. 1999. Integração de dados geológicos e geofísicos utilizando-se uma nova técnica estatística para seleção de alvos para exploração mineral, aplicada ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero., UnB/Instituto de Geociências, Tese de Doutorado n^o 29, 187 p.