



Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos do extremo sul do Cráton São Francisco

Carolina Miethke¹, Adalene Moreira Silva¹, Carlos Roberto de Souza Filho¹

1 - DGRN, Instituto de Geociências, UNICAMP

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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 southern portion of the São Francisco Craton (SFC), Minas Gerais, Brazil, is considered a world-class geologic area due its wealth and intricacy of geologic terranes, including rocks spanning from the early Archean up to the late Neoproterozoic. However, the lack of rock exposures and connections among rock formations at surface poses problems for regional geologic mapping and interpretation, which are difficult to be surpassed. In this paper, an attempt was made to map a key area in the southernmost part of the SFC, using aerogeophysical (magnetometric and gammaspectrometric) data, with a twofold aim in evaluating the usefulness of the method to unravel both regional rock domains and structure.

Comparisons of geophysical data-derived maps and published maps showed a good match, including discrimination of granitic-gneissic, basement rocks of the Archean Campo Belo complex; the Archean Bom Sucesso granite; the Tabuões trochjemitite; and banded-iron formations that are correlated to the Minas Supergroup metasediments found in the Quadrilátero Ferrífero area. Two N30W- and N60W trending dyke swarms were highlighted in the magnetometric maps, as well as detailed crosscutting relationships. Gamma-spectrometric data provided an overview of lithological units and complex folding patterns that were also previously overlooked, proving to be the best key for interpretation, particularly through K-Th-U ternary maps.

Although concise, this investigation proved the suitability of adequately processed, high-resolution geophysical data in geologic mapping and tectonic analysis.

Introdução

A grande maioria dos depósitos minerais no Quadrilátero Ferrífero (Q.F.) foi descoberta devido à sua expressão superficial. A descoberta de novos depósitos minerais na região e adjacências demanda o uso de métodos geofísicos, bem como a aplicação e geração de novos métodos que contemplem dados multi-fontes.

Embora o acervo de dados sobre o Q.F. seja vasto, o mesmo não se aplica à porção sul do Cráton São Francisco (CSF). A ausência de mapeamento

sistemático, dificultado pelo intemperismo acentuado e falta de exposições de rochas em superfície, inibem a definição de novas áreas para exploração mineral. Na tentativa de cobrir esta lacuna, a COMIG (Companhia Mineradora de Minas Gerais) efetuou um levantamento aerogeofísico denominado Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga (correspondente à Área 2 do Levantamento Aerogeofísico do estado de Minas Gerais - Figura 1), objetivando a definição de novas áreas para Au, Ag, Fe, Pt, Cr, Ni e Mn (Figura 1).

O aerolevantamento possui maior abrangência e densidade do que levantamentos anteriores, incluindo aquisição de dados magnetométricos e gamaespectrométricos.

Este artigo visa apresentar os resultados do processamento e interpretação dos dados geofísicos obtidos nesse novo levantamento, considerando uma área piloto na região sul do Cráton do São Francisco. Futuramente, a metodologia desenvolvida será estendida para todo o levantamento, com o objetivo de gerar produtos similares como suporte ao mapeamento geológico desta região, ainda carente de estudos na escala 1:100.000 (Figura 1).

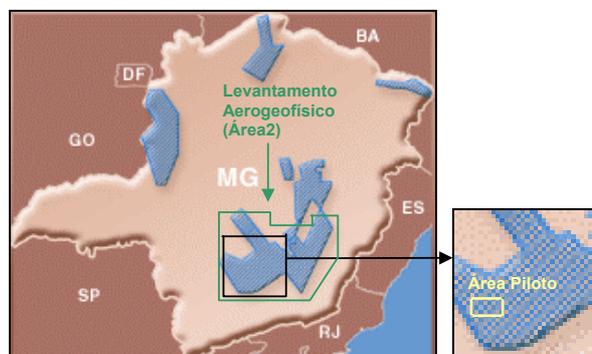


Figura 1: Localização da área de estudo. As áreas demarcadas em azul correspondem aos vários levantamentos aerogeofísicos executados no estado de Minas Gerais pela COMIG. O levantamento estudado está indicado na figura (fonte: COMIG).

Arcabouço Geológico Regional

O Q.F. e áreas adjacentes, de geologia correlata, situam-se na porção meridional do Cráton São Francisco (CSF) (Figura 2). Compreendem terrenos granito-gnáissicos arqueanos e paleoproterozóicos, *greenstone belts* arqueanos (e.g., *greenstone belt* Rio das Velhas) e seqüências supracrustais paleoproterozóicas (Supergrupo Minas), paleoproterozóicas-mesoproterozóicas (Supergrupo Espinhaço) e neoproterozóicas (Supergrupo São Francisco e Grupo Bambuí) (Chemale et al. 1994;

Alkmim & Marshak 1998, Teixeira et al. 2000; Schrank & Souza Filho, 1998).

As unidades arqueanas que afloram na região compreendida entre Conselheiro Lafaiete e Lavras, estendendo-se para Sul, correspondem a migmatitos e ortognaisses que compõem o Grupo Mantiqueira. (Quéméneur & Vidal, 1989; Pires et al, 1990; Ribeiro et al, 1995; Ávila, 2000). Já os terrenos granito-gnáissicos arqueanos presentes no Quadrilátero Ferrífero distribuem-se nos Complexos Campo Belo, Bonfim, Caeté, Belo Horizonte e Bação (Machado et al., 1992, Machado & Carneiro, 1992; Machado e Schrank, 1989; Noce, 1995; Teixeira et al., 1996).

Remanescentes de seqüências vulcano-sedimentares afloram no segmento Conselheiro Lafaiete – Lavras, dentre os quais pode-se destacar o Grupo Barbacena e os *greenstone belts* Barbacena, Rio das Mortes, Itumirim-Nazareno e Itumirim-Tiradentes, que têm sido correlacionados ao *greenstone belt* Rio das Velhas em função da continuidade física entre as seqüências (Toledo, 2002).

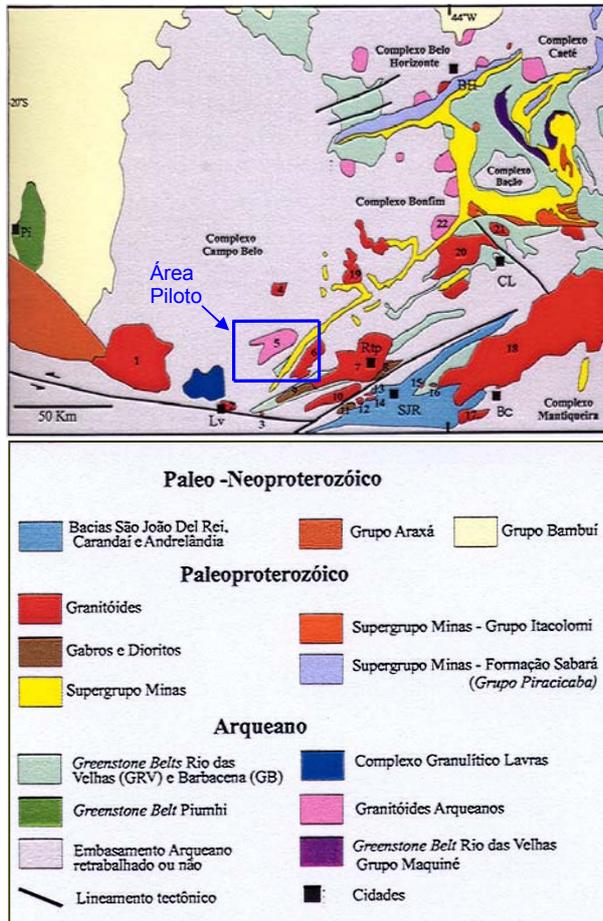


Figura 2: Mapa geológico da borda meridional do CSF com distribuição das principais unidades geológicas (modificado de Toledo, 2002). A área piloto estudada está indicada na figura. **Cidades:** Pi - Pium-Hi, Lv - Lavras, SJR - São João Del Rey, Rtp - Ritópolis, Bc - Barbacena, CL - Cons. Lafaiete, BH -Belo Horizonte. **Corpos:** 1. Granito Porto Mendes, 2. Granodiorito Lavras, 3. Granito Itutinga, 4. Granitóide Oliveira, 5. Granito Bom

Sucesso, 6. Trondhjemito Taboões, 7. Granito Ritópolis, 8. Diorito Brumado, 9. Diorito Rio Grande, 10. Trondhjemito Cassiterita, 11. Gabro São Sebastião, 12. Quartzo-diorito do Brito, 13. Granodiorito Brumado de Baixo, 14. Suíte Serrinha, 15. Granitóide de Tiradentes, 16. Gabro vitoriano Veloso, 17. Granito Campolide, 18. Complexo Ressaquinha, 19. Granito alto Jacarandá, 20. Batólito Alto Maranhão, 21. Tonalito Congonhas, 22. Granito Salto do Paraopeba.

Entre as unidades proterozóicas, pode-se citar as rochas metassedimentares pertencentes ao Supergrupo Minas (Dorr, 1969), que constituem a Serra do Bom Sucesso, os corpos plutônicos paleoproterozóicos, que ocorrem em uma faixa de 300km entre Conselheiro Lafaiete e noroeste de Lavras, caracterizando uma ampla área de embasamento arqueano retrabalhado (Toledo, 2002), e as bacias sedimentares de São João Del Rey, Carandaí e Andreiândia (Ribeiro et al, 1990).

Materiais

Os dados geofísicos do Projeto Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga compõem a base de dados desta pesquisa, onde foram empregados os métodos magnéticos e gamaespectrométricos.

Os dados foram coletados com sobrevôo a 100m de altitude, segundo linhas espaçadas de 250m e direções de linha de voo de N30W e N30E. Linhas de controle foram efetuadas a cada 2.500 m, perpendiculares às linhas de aquisição.

Métodos

A melhoria da relação sinal/ruído de dados aerogeofísicos é uma etapa fundamental do processamento e foi contemplada neste trabalho. As etapas de pré-processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos efetuadas pela equipe de processamento de dados da Lasa (Lasa, 2001) foram consideradas definitivas.

Para esse estudo, uma área piloto, situada na porção sudeste do Bloco Oeste da Área 2 do levantamento, foi selecionada, abrangendo os municípios de Santo Antônio do Amparo e Bom Sucesso (Figura 2). A área é balizada pelas coordenadas geográficas: 45°02'53"W a 44°36'55" W (UTM: 495.000 a 540.000) e 21°06'57"S a 20°50'40" S (UTM: 7.665.000 e 7.965.000).

A partir da constituição da base de dados, contendo apenas com os dados relativos à área piloto, a etapa seguinte do trabalho envolveu o processamento dos dados visando à elaboração de mapas magnetométricos e gamaespectrométricos.

Os dados foram analisados quanto à presença de inconsistências – tais como picos acentuados (*spikes*) – bem como quanto à distribuição espacial e à densidade de amostragem, através da aplicação dos testes diferença quarta e parâmetro 'P' (Blum, 1999), que permitem a identificação de registros com valores fora do desvio padrão.

O próximo passo no processamento consistiu da interpolação da base de dados, seguido da etapa de micronivelamento (Minty, 1991; Blum, 1999; Silva, 1999), visando filtrar os ruídos relacionados a imperfeições do

nivelamento das malhas de amostragem, visto que a imagem resultante da interpolação mostrou-se ruidosa.

Diversos mapas magnetométricos e gamaespectrométricos da área de estudo foram gerados a partir dos dados pré-processados, utilizando-se diferentes combinações de parâmetros de iluminação, tamanho de células, número de interações e emprego de tabelas de cores, com a finalidade de determinar os valores mais apropriados para restringir a aparência de feições espúrias segundo as linhas de vó e para evidenciar estruturas e demais feições geológicas.

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.

Resultados

A geração de mapas magnetométricos e gamaespectrométricos possibilitou o reconhecimento de diversas estruturas e unidades geológicas diretamente correlacionáveis ao mapa geológico regional (Figura 2), ainda carente de detalhamentos.

Dentre os resultados obtidos através dos mapas magnetométricos (Figura 3), destaca-se o dipolo magnético detectado no setor leste da área de estudo, relacionado à presença de formações ferríferas de elevada susceptibilidade magnética. Essas rochas formam a Serra do Bom Sucesso e representam a extensão sudoeste do Supergrupo Minas, em relação a sua área tipo, no Q.F. No setor noroeste, ocorre uma ampla região com intensidades magnéticas baixas, coincidente com a presença de rochas granito-gnáissicas do embasamento arqueano (Complexo Campo Belo). O setor centro-sudoeste da área, dominado por rochas arqueanas do Granito Bom Sucesso, é marcado por dobras complexas e de grande escala, não caracterizadas em trabalhos prévios. O setor extremo SE é composto por rochas granitoides paleoproterozóicas (Trodhjemito Tabuões). Ocorrem também diversas feições alongadas, associadas a diques básicos que cortam as rochas metassedimentares da Serra de Bom Sucesso. Há duas associações destes corpos intrusivos – um conjunto de diques paralelos, com orientação N30W, e um outro com orientação N60W. Parte destes corpos foram estudados por Pinese et al. (1995) e mostram idades em torno de 2.7 Ga.

O mapa da amplitude do sinal analítico (Figura 4), possibilita a determinação de parâmetros geométricos, tais como a localização de limites (geológicos e estruturais) e a profundidade dos corpos (Nabighian,

1972), visto que o sinal analítico é independente da direção de magnetização da fonte e dos parâmetros do campo magnético terrestre. Assim, as anomalias observadas no mapa estão centradas sobre os limites das respectivas fontes magnéticas anômalas, facilitando a determinação de suas posições (Blum, 1999). Neste mapa, as formações ferríferas da Serra do Bom Sucesso são realçadas, bem como os diques básicos de orientação NW. No setor norte-noroeste da área, há um domínio caracterizado por valores intermediários a elevados, com orientação aproximadamente EW, que pode representar remanescentes do Supergrupo Minas.

No mapa gamaespectrométrico ternário (Figura 5), contatos entre unidades litológicas, dobras e limites de corpos graníticos são enfatizados. Destacam-se os dobramentos de grande escala no terreno granítico-gnáissico arqueano, principalmente a noroeste da área, os quais não são evidentes nos produtos derivados dos dados magnéticos. O granito Bom Sucesso é caracterizado pelo alto teor de K e baixa concentração dos elementos Th e U, individualizando um corpo de forma oval, alongado na direção EW. O Trodhjemito Tabuões, na porção extremo sudeste, é caracterizado por baixos valores gamaespectrométricos, aparecendo com uma cor preta no mapa ternário. O embasamento arqueano, a noroeste, também possui valores gamaespectrométricos moderados, embora apresente valores intermediários de Th. No extremo noroeste, observa-se parte de um corpo de composição granítica, com altos valores de K, U, e Th, conforme indicam a cor branca na composição RGB e os valores máximos nos mapas dos canais individuais de contagem total (Figura 6), K (Figura 7), U (Figura 8) e Th (Figura 9). Uma feição alongada, de orientação EW, aparece notavelmente destacada a leste na imagem do canal de K (Figura 7). Possivelmente, está relacionada ao enriquecimento de K em função de uma zona de cisalhamento em terreno granítico. Os quartzitos, xistos e itabiritos que compõem a Serra do Bom Sucesso apresentam-se também particularmente destacados nesses mapas. O canal do Th define claramente a geometria, eixos e relações de superposição dos dobramentos, complexo, de grande escala que ocorrem na área de estudo.

Conclusões

Os métodos de pré-processamento, processamento e realce aplicados aos dados magnetométricos e gamaespectrométricos abordados neste projeto, 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.

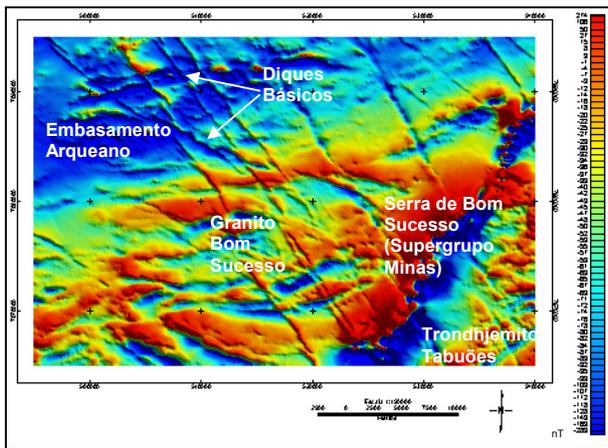


Figura 3: Mapa do campo magnético anômalo da área estudada e a correlação com as respectivas unidades geológicas.

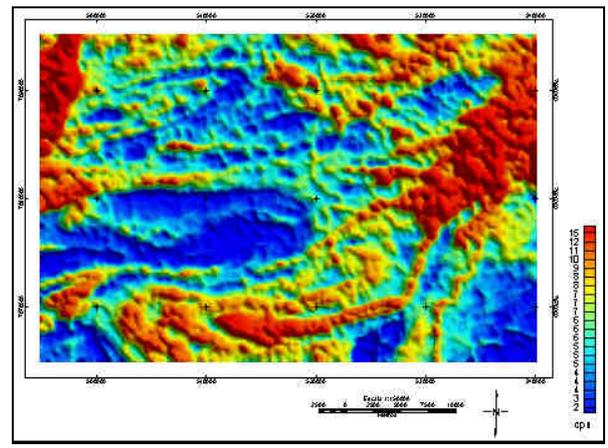


Figura 6: Mapa de contagem total da área estudada.

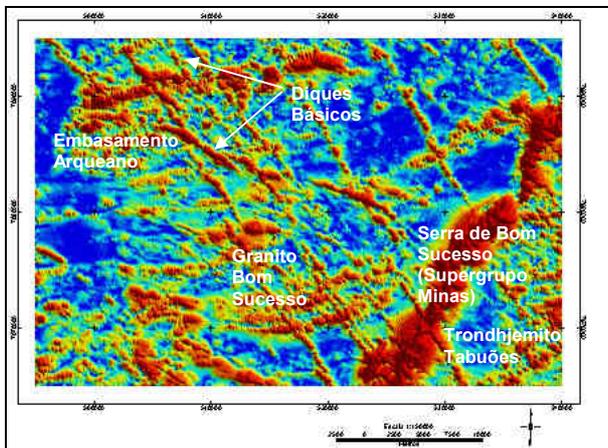


Figura 4: Mapa da amplitude do sinal analítico. Altos em vermelho, baixos em azul.

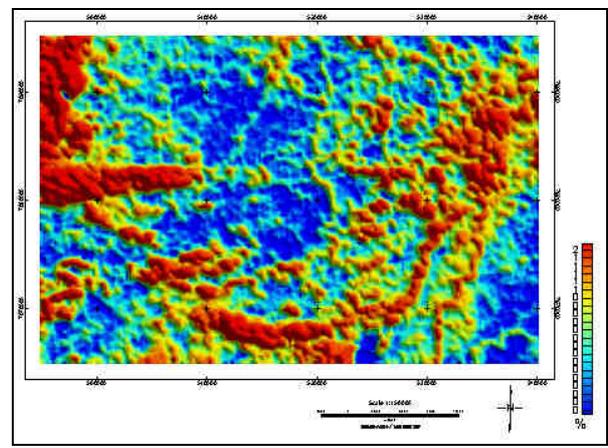


Figura 7: Mapa do canal de Potássio (K) da área estudada.

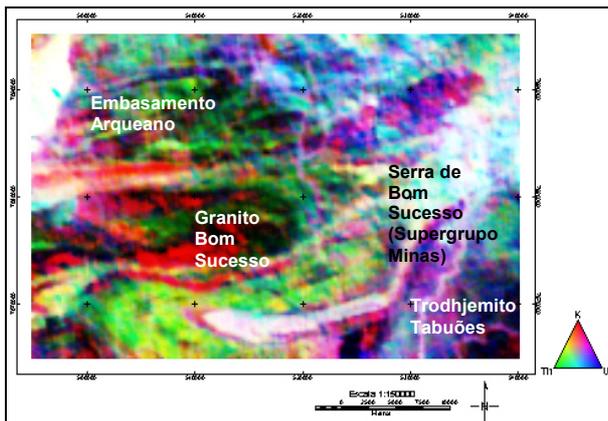


Figura 5: Mapa gamaespectrométrico ternário (composição em RGB) da área estudada e a correlação com as respectivas unidades geológicas.

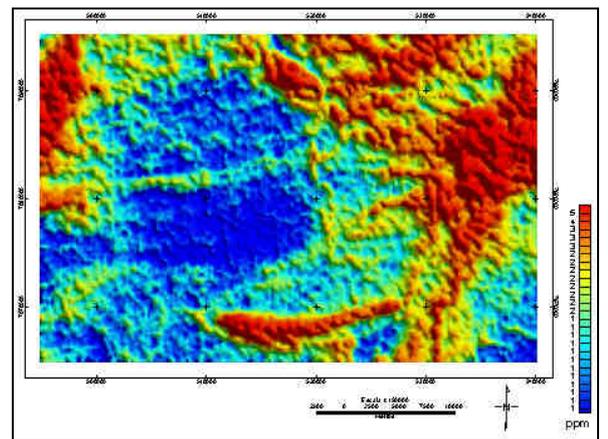


Figura 8: Mapa do canal de Urânio (U) da área estudada.

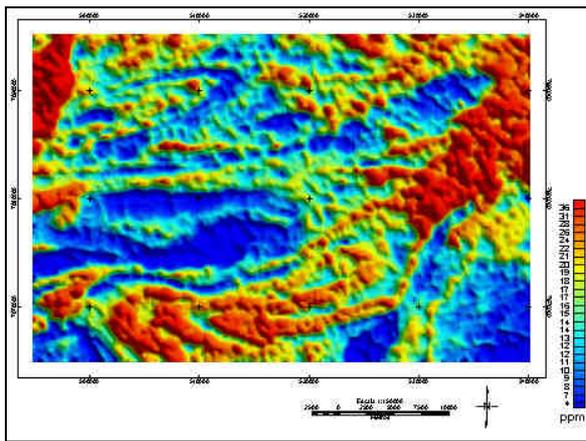


Figura 9: Mapa do canal de Tório (Th) da área estudada.

Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F. & Marshak S., 1998.** Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58.
- Ávila, C. A., 2000.** Geologia, Petrografia e Geocronologia dos corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Craton São Francisco, Região de São João Del Rey, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFRJ.
- Blum, M. L. B., 1999.** Processamento e Interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia regional e à prospecção mineral. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB.
- Chemale, Jr., F., Rosière, C.A. & Endo, I., 1994.** Tectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Precambrian Research*, 65:25-54.
- Dorr II, J. V. N., 1969.** Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS. Prof. Pap. 641-A.
- Lasa, 2001.** Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 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.
- Machado, N. Noce, C. M., Ladeira, E. A., Belo de Oliveira, O., 1992.** U-Pb geochronology of Archean magmatism and proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*.
- Machado, N. & Carneiro, M., 1992.** U-Pb evidence of late Archean tectono-thermal activity in southern São Francisco shield, Brazil, *Can. J. Earth Sci.*, 29.
- Machado, N. & Schrank, A., 1989.** Geocronologia U-Pb no maciço de Piumhi: Resultados preliminares. In: SBG, Simpósio de Geologia Minas Gerais, 5, Belo Horizonte, 1.
- Minty, B.R.S., 1991.** Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*.
- Nabighian, M.N., 1972.** The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37:507-517.
- Noce, C. M., 1995.** Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Instituto de Geociências da USP, São Paulo, Tese de Doutorado.
- Pinese J.P.P. 1997.** Geoquímica, geologia isotópica e aspectos petrológicos dos diques máficos Pré-Cambrianos da região de Lavras (MG), porção sul do Craton do São Francisco. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado 178 p.
- Pires, F. R. M., Ribeiro, A., Barbosa, M. I. M., 1990.** Distribuição do greenstone belt Barbacena na Região de São João Del Rey, MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, Anais 6.
- Quémeñeur, J. J. & Vidal, P. H. 1989.** Primeiras datações radiométricas dos granitos de São João Del Rey. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Anais 1.
- Ribeiro, A., Trouw, R. A. J., Andreis, R.R., Paciullo, F. V. P., Valença, J. G., 1995.** Evolução das Bacias proterozóicas e termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Craton São Francisco. *RBG*, 25.
- Schrank, A. & Souza Filho, C.R., 1998.** The Tectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero Region from the Archean to the Neoproterozoic: Revision, Problems and Prospects. In: 14 International Conference on Basement Tectonics. Ouro Preto, Brazil, p. 122-125.
- 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. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB.
- Teixeira, W., Cordani, U. G., Nutman, A. P., Sato, K. 1998.** Poliphase archean evolution in the Campo Belo Metamorphic Complex, southern São Francisco Craton, Brazil: shrimp and U-Pb-zircon evidence. *Journal of South American Earth Science*, 11.
- Toledo, C. L. B., 2002.** Evolução Geológica das Rochas Máficas e Ultramáficas no greenstone belt Barbacena, Região de Nazareno, MG. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UNICAMP.

Agradecimentos

Agradecemos à COMIG e ao 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°. 2002/09038-6). C. Miethke e C.R. Souza Filho agradecem ao CNPq, respectivamente, pela bolsa de Iniciação Científica (programa PIBIC) e pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (Proc. No. 301227/94-2).