



Mapeamento Eletromagnético (EM34) e Gamaespectrométrico do Complexo Alcalino de Paríquera Açú – SP

Elaine M. L. Loureiro*, Melanie Mendoza*, André Rugenski** e Dra. Marta Mantovani*** IAG/USP, Brazil

* IC; ** PG-DR; *** Orientadora

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 were 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 Paríquera Açú alkaline complex (SP) belongs to the Apiaí Domain, SE Brazil. It is an important complex from the scientific and economic view, and geochemical, gravity and magnetic data for this complex are available in the literature. Here we present its conductivity and radiometric behavior as a complementary study. The electrical conductivity was measured by EM34 and gamma ray activity by GS-512.

The obtained results indicate that both, the alkaline and host rock (metasediment) are low conductive while the alkaline fractured and weathered portions present a high conductivity – the radiometric behavior presents a more intense emission where fractures or weathering are present in the alkaline rock, which coincides with the high conductivity.

In the alkaline outcrop the radiometric behavior present a high emission in comparison with young sediments and equal emission for some portions of the host rock.

Resumo

O complexo alcalino de Paríquera Açú (SP) encontra-se na região sudeste do País, no Domínio Apiaí. Em vista de sua importância econômica e científica apresenta-se a sua caracterização relativa à condutividade elétrica, com o equipamento EM34, e a contagem de emissões de radiações gama, com o equipamento GS512. O resultado obtido indica baixas condutividades, enquanto que as regiões fraturadas e alteradas da alcalina têm condutividades altas. O comportamento radiométrico apresenta emissão mais intensa em correspondência das áreas onde a rocha alcalina se encontra menos alterada, coincidindo com zonas de baixa condutividade. Nos afloramentos, a alcalina apresenta alta emissão gama em comparação com sedimentos jovens, e igual emissão para algumas porções da rocha encaixante.

Introdução

A região do Vale do Ribeira, situada ao sul do Estado de São Paulo, tem sido objeto de estudos de cunho acadêmico e exploratório com aplicação de diferentes técnicas geofísicas. No Vale do Ribeira são encontrados muitos minerais de importância econômica, sendo uma porcentagem considerável associada às rochas alcalinas. Nelas são encontradas, como exemplo, terras raras, carbonatito, fosfatos e magnetita. Quanto a sua

importância tectônica, são indicativas do afinamento litosférico passivo e ativo. Dentre os corpos alcalinos localizados, estudados e atualmente explorados economicamente nessa região, destacam-se os maciços alcalinos de Juquiá e Jacupiranga. Nessa região, destaca-se também a alcalina de Paríquera Açú que, até o presente momento, não foi explorada economicamente.

Historicamente a alcalina de Paríquera Açú foi localizada através de observações aeromagnéticas que revelaram uma anomalia de grande amplitude entre os paralelos 24,6°/24,8°S e meridianos 47,8°/48,0°W, aproximadamente a 7 km da cidade de Paríquera-Açú. Essa anomalia, foi interpretada como uma provável manifestação alcalina (Ferreira & Algarte, 1979) devido a sua resposta magnética. Silva e Algarte (1983) ao efetuarem novas investigações geológicas no contexto do projeto Mapas Metalogenéticos do DNPM/CPRM, encontraram rochas sieníticas “*in situ*”, confirmando assim, a presença de uma rocha alcalina em estágio avançado de erosão. Em 1987, o IPT realizou novos estudos geológicos e geofísicos na área (Ferreira et al., 1987).

O complexo alcalino de Paríquera Açú já gerou diversos trabalhos geológicos, geoquímicos e geofísicos. Trabalhos geofísicos anteriores que utilizaram dados gravimétricos e aerogamaespectrométricos aéreos concluíram que o complexo apresenta heterogeneidades e uma possível fenitização externa à alcalina (Rugenski, 1999).

Os métodos usados neste trabalho consistem no método eletromagnético e gamaespectrométrico terrestre que objetivam delimitar os corpos geológicos e verificar as heterogeneidades do complexo alcalino.

Os métodos eletromagnéticos são geralmente empregados em mineração, construção civil (detecção de túneis e cabos) e para o mapeamento superficial de áreas infiltradas por contaminantes. A propriedade física obtida por este método é a condutividade elétrica do meio.

A condutividade elétrica (e seu inverso, a resistividade elétrica) relaciona-se aos mecanismos de propagação de corrente elétrica nos materiais, sendo que condutividade em solos e rochas pode ser devida a presença de minerais metálicos, o que é denominado de condutividade eletrônica, ou devido ao deslocamento de ions dissolvidos na água contida nos poros e fissuras dos solos e rochas, o que é denominado de condutividade eletrolítica (Naghbian, 1987). Pretende-se verificar se essa heterogeneidade também existe em relação à distribuição desigual de minerais metálicos.

O método gamaespectrométrico utiliza um equipamento que conta as emissões gama do potássio (K), urânio (U) e tório (Th) por uma fonte. O método gamaespectrométrico é muito eficiente na delimitação de corpos e possui uma grande acurácia em levantamentos terrestres pois a distância entre a fonte de emissão de raios gama e o equipamento é significativamente menor que a utilizada em levantamentos aéreos.

A alcalina de Pariquera Açu situa-se num ambiente geológico complexo, onde ocorreram processos que abrangem eventos orogênicos e anorogênicos. O embasamento dessa região é constituído principalmente por rochas metamórficas, migmatíticas e granitóides, que em parte tiveram sua origem no ciclo Brasileiro/Pan-Africano (0.9 – 0.5 Ga) (Almeida et al., 2000). As rochas alcalinas do Vale do Ribeira datam do Mesozóico e constituem numerosos e extensos diques direcionados em N40°/60°W ou maciços (Silva & Algarte., 1981). As rochas alcalinas constituem maciços intrusivos nas litologias do embasamento Proterozóico Médio Inferior - Paleozóico Inferior (Campanha & Sadowsky, 1999). Ocorrem segundo uma faixa aproximada SE à NW, e cada maciço ou complexo pode incluir rochas alcalinas, alcalina-básicas ou alcalina-ultrabásicas (Silva & Algarte., 1981).

Investigações geológicas indicam que a alcalina de Pariquera-Açu, com área aflorante aproximada de 6 km², “com idade em torno de 96 à 130 Ma”, é composta por shonkinitos (3,2-3,6 g/cm³) e malignitos (2,8 g/cm³), subordinados a veios de nefelina sienito (2,63 g/cm³); localmente apresenta material brechoide e diques extensamente alterados. Os sienitos são rochas plutônicas (textura equigranular), sendo classificadas quanto à acidez como intermediárias (subácidas a neutras, 52 à 65% de SiO₂), a concentração de plagioclásios é de 10 à 35 %, quartzo menor que 5% e feldspato alcalino maior que 65 %. (Sørensen, 1974).

Os minerais predominantes na alcalina de Pariquera Açu são: augita titanífera (20-70%; 3,2-3,6 g/cm³), feldspato potássico (10-50%; 2,56 g/cm³), nefelina (1-10%; 2,55-2,65 g/cm³), agregados feldspático-feldspatódico-zeolíticos (2-15%), biotita (2-10%; 2,7-3,1 g/cm³), olivina (3-10%; 3,3-3,6 g/cm³), apatita (1-2%; 3,17-3,23 g/cm³) e magnetita (3-10%; 5,16-5,18 g/cm³). Esporadicamente ocorrem plagioclásios e horblendas pardas. (Silva & Algarte, 1981). Sua forma é ovalada e com eixo maior na direção de aproximadamente 45° NW, sugerindo seu condicionamento tectônico naquela direção, como indicado por Algarte para as demais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. (Algarte, 1972).

A rocha encaixante pertence à Seqüência Turvo-Cajati, grupo Setuva, (Silva & Algarte, 1981; Campanha & Sadowsky, 1999) mais precisamente à subseqüência Cajati (Silva & Batolla, 1981), sendo o grupo Setuva de idade Proterozóica Superior (Campanha & Sadowsky, 1999). A subseqüência Cajati, apresenta como características litológicas: mica-xisto (2,54-2,97 g/cm³) e mica-quartzo-xisto (2,70-2,96 g/cm³), sendo que próximo da intrusão alcalina, é representada mais especificamente por quartzo-muscovita-biotita-xisto (2,65–3,19 g/cm³), mica-xisto (2,72 g/cm³), filito (2,68–

2,80 g/cm³) e metassilito. Rochas gnaissicas-migmatíticas, do Paleozóico Inferior, afloram a menos de 5 km da alcalina de Pariquera Açu, sendo sobreposta pelo grupo Setuva. O embasamento para a alcalina é portanto configurado pelos metassedimentos do grupo Setuva e pelas rochas gnaissicas-migmatíticas. A geologia local é mostrada na Figura 1, onde se observa que a intrusão é cortada por uma falha, 80° NE (Silva & Algarte., 1981).

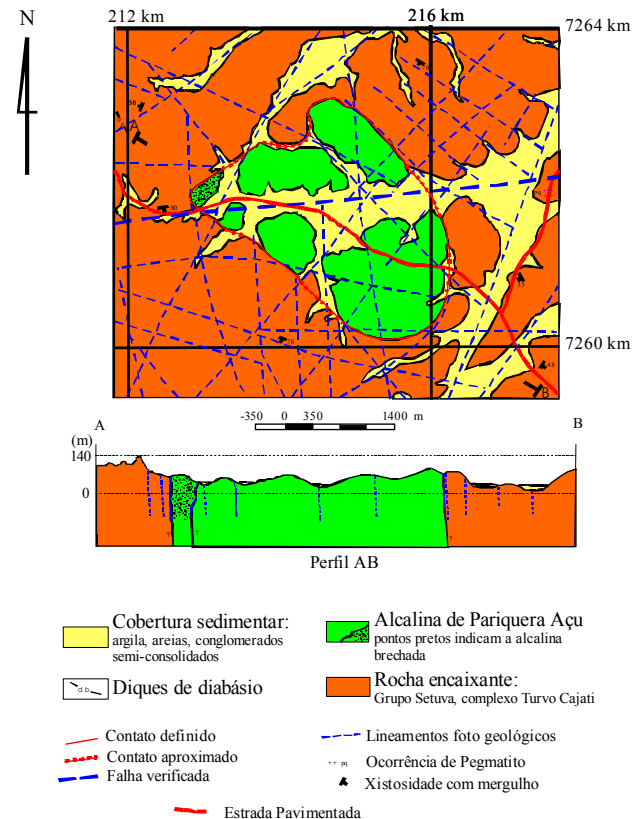


Figura 1 - Mapa geológico local da alcalina de Pariquera Açu (Ferreira et al., 1987).

Metodologia

Os métodos eletromagnéticos envolvem a propagação de campos eletromagnéticos de baixa frequência e baseiam-se nos fenômenos físicos de eletricidade e magnetismo. O instrumento utilizado para este estudo foi o EM34-3 (Geonics) do IAG/USP. O EM34 consiste em duas bobinas, uma transmissora e outra receptora, interligadas por um cabo; para a pesquisa foi utilizado um cabo de 20m de extensão. Além disso, os sistemas de transmissão, consistem de um gerador-alternador ou um oscilador transistorizado. Quando uma corrente elétrica passa pela bobina, é gerado um campo magnético primário HP perpendicular ao plano da bobina. O campo magnético primário gera um fluxo de corrente secundária que ao fluir pelo terreno (condutor) cria um campo induzido magnético secundário HS, que traz consigo informações sobre o condutor. O valor numérico da medida é dado em condutividade aparente. A profundidade de investigação deste aparelho é

predeterminada e depende da extensão do cabo utilizado. No caso do cabo de 20 m de extensão a de profundidade de investigação é de 15m (para bobinas verticais) e 30 m (para bobinas horizontais), para frequências de 1,6 MHz.

A gamaespectrometria consiste na contagem de fótons-gama oriundos do decaimento radioativo dos elementos. Existem elementos radioativos nas rochas que emitem partículas alfa (α), beta (β) e energia gama (γ); os radioelementos mais abundantes na natureza são o potássio (K^{40}), urânio (U^{238}) e tório (Th^{232}). A concentração dos elementos radioativos nas rochas varia quanto a sua origem, idade, grau de intemperismo e metamorfismo. Sendo que os elementos radioativos urânio e o tório não são emissores de partículas gama naturais, como no caso do potássio, é necessário obter uma contagem indireta através dos seus respectivos elementos filhos bismuto (Bi^{214}) e tálio (Tl^{208}). Por causa disso utiliza-se a nomenclatura do bismuto como eU e do tálio como eTh, pois são medidas relativas e não absolutas dos elementos pais, dando equivalência aos filhos (Kogan et al., 1971).

As medidas gamaespectrométricas necessitam ser subtraídas da componente da radiação cósmica, radiação de fundo e espalhamento Compton. É necessário que seja feita pelo menos uma medida sobre uma lâmina d'água, para determinar o "background". O equipamento utilizado foi o GS-512 (tipo: geofysika) do IAG/USP que é um gamaespectrometro portátil.

Aquisição dos Dados

Os resultados obtidos em EM são mostrados na figura III. Nos três mapas (Figuras III A, B e C) existem altos de condutividade que refletem a heterogeneidade no complexo alcalino. Na Figura III-B está configurada a alta condutividade da rocha alcalina. Numa primeira análise, sugere-se que esta perturbação se dá pela influência da cobertura sedimentar e pelo nível do lençol freático, já que coincide com os baixos altimétricos vistos na Figura II, devido ao acúmulo de maior quantidade de clastos.

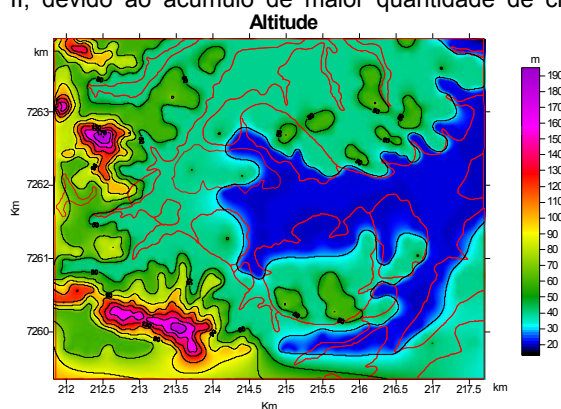


Figura II – Altitude da área estudada, digitalizados da carta topográfica Pariquera Açú de 1:500000 (IBGE). As linhas vermelhas representam o mapa geológico da Figura I.

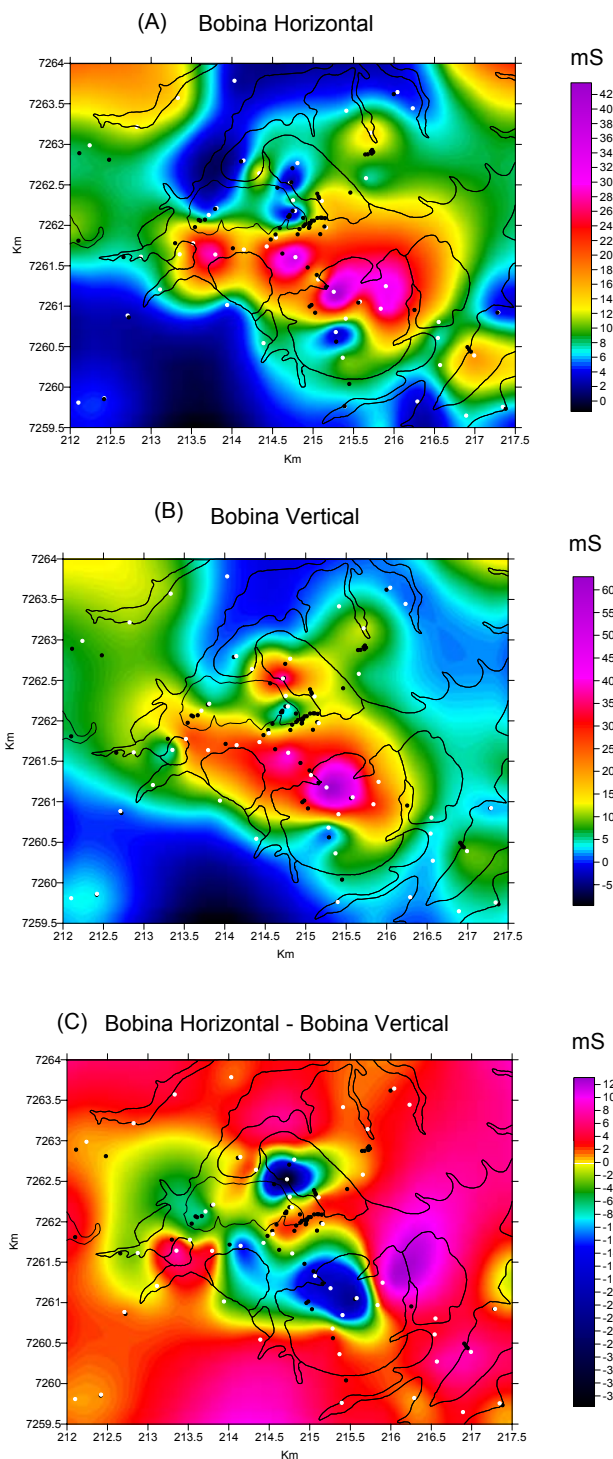


Figura III – Dados obtidos usando o EM34: (A) bobina horizontal com alcance de investigação de 30 m de profundidade; (B) bobina vertical, de 15m; e (C) diferença entre as bobinas horizontal e vertical. As linhas em preto mostram a geologia da região. Os pontos pretos são dados de EM e os pontos na cor branca, as posições das estações de medidas gamaespectrométricas.

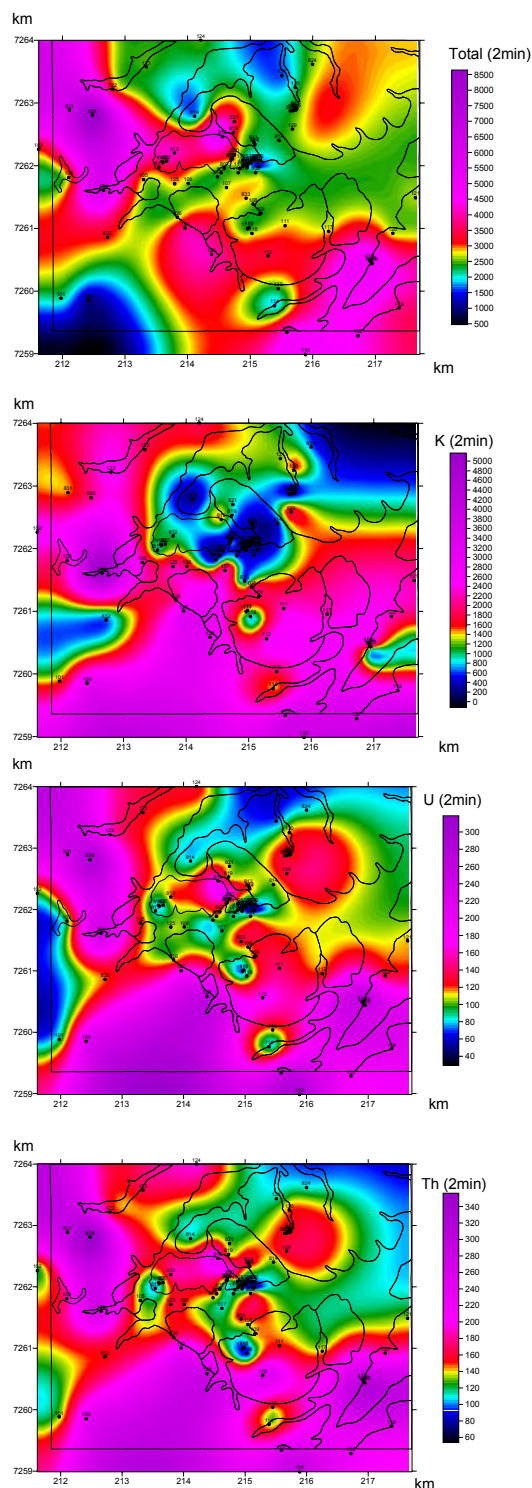


Figura IV – Contagem de elementos radioativos: (A) Contagem Total; (B) Contagem de Potássio; (C) Contagem de Urânio; e (D) Contagem de Tório. As linhas em preto mostram a geologia da região. Os pontos pretos são as posições das estações de medidas gamaespectrométricas.

Comparando as Figuras III-A e III-B, existe um baixo e um alto respectivamente de condutividade na parte norte da alcalina. Neste local, a alcalina é aflorante e pode-se caracterizar esse baixo como sendo da rocha fresca e o alto devido à alteração da alcalina.

Destaca-se também na região sul da alcalina uma anomalia de interesse, mais condutiva, sendo visível tanto para 15 quanto para 30 m de profundidade de investigação. Esta anomalia pode representar heterogeneidades na alcalina ou no manto de alteração, ou pode ser um corpo distinto interno à alcalina.

Na Figura III-C é feita a uma subtração entre as condutividades medidas pelas Bobinas Horizontal e Vertical, que mostra a variação entre as porções superiores e inferiores da rocha.

A Figura IV mostra dados de gamaespectrometria. A Figura IV-A mostra que há um baixo de elementos radioativos em convergência com os baixos topográficos. Essa anomalia ocorre por causa da alta solubilidade de elementos radioativos em água quando estes são desagregados da rocha e lixiviados.

Observando as demais contagens, verifica-se na região central do complexo alcalino, na cobertura sedimentar, altos anômalos de Tório e Urânio, e baixo de Potássio, sugerindo a provável presença de um corpo carbonatítico face ao seu sinal gamaespectrométrico.

Conclusão

O estudo avalia as propriedades físicas da alcalina quanto à condutividade e radioatividade natural. São enumeradas duas características obtidas através da análise dos dados:

- (i) O manto de alteração da alcalina é mais condutivo do que a rocha fresca;
- (ii) o complexo alcalino apresenta heterogeneidades litológicas, constatadas tanto com os dados de EM como radiométricos.

A gamaespectrometria não permitiu obter uma discriminação dos produtos de alteração do complexo alcalino e da rocha encaixante, porém é possível distinguir feições anômalas internas ao complexo alcalino que provavelmente são decorrentes da variedade litológica.

Estudos anteriores no complexo alcalino de Poços de Caldas (MG) mostram que houve saprolitização e bauxitização da rocha alcalina (Valeton et al., 1997). Foi verificado nesse caso que existem elementos que exibem imobilidade como V, Pb, Ga, Nb, Zn, Th e U, e a mobilidade de elementos como Mn, Ca, Na, K, Mg, Co, Zn, Rb, Ba e Sr.

Caso o intemperismo químico do complexo alcalino de Paríquera Açu seja semelhante ao de Poços de Caldas, os dados apresentados são coerentes e mostram que é possível mapear o manto de alteração através das propriedades condutivas da rocha.

Também é importante mencionar a anomalia na porção sul do complexo alcalino, onde há um alto condutivo coincidente com o gama espectrométrico.

Agradecimentos

Aos professores Dr. Carlos A. Mendonça, Dr. Eronaldo B. Rocha e Dr. Francisco Hiodo, e ao amigo e colega Eduardo M. Leite.

Referências

Algarte, J.P.(1972). A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. Congresso Brasileiro, 26, Belém, 1972., SBG, v. 1, 65-69p.

Almeida, F.F.M.,(1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, v.13(3), 139-158p.

Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B.de, Carneiro, C.D.R., (2000). The origin and evolution of the South American Platform. *Earth-Science Reviews* v. 50, 77-111p.

Campanha G.A. and Sadowski, G.R., (1999). Tectonics of the southern portion of Ribeira belt (Apiáí Domain). *Precambrian Research*, v. 98, . 31-51p.

Ferreira, F.J.F., Algarte, J.P.,(1979). O comportamento aeromagnetométrico – cintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná In: SIM. REG. GEOL., 2, Rio Claro. Atas de Rio Claro, v. 2, 195-208p.

Ferreira, F.J.F., Monma R., Silva, R.B., Algarte, J.P., Martins, F.A.G., Rodrigues, E.P., Theodorovicz, A., Tassinari, C.G.C., Coutinho, J.M.V., (1987). A alcalina de Pariqueira Açu. Atas do sexto Simpósio de Geologia, SBG/SP – Rio Claro, v.1, 159-164p.

Kogan R.M., Nazarov I.M. And Fridman Sh.D., (1971). Gama spectrometry of natural environments and formations: theory of the method applications to geology and geophysics. Atomi Jerusalem, 1971.

Nagbhan, M.N.,(1987). Eletromagnetic methods in applied geophysics – Theory, v.1, 131-311p.

Rugenski, A.,(1999). Investigação geofísica da alcalina de Pariqueira Açu com ênfase em gravimetria. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP.

Silva, A.T.S.F., Algarte, J.P., (1981). Contribuição à geologia da Sequência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariqueira Açu, Estado de São Paulo. 1. Litologia e petrografia, Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba, 1981. Atas. São Paulo, SBG Vol.1, 109-120.

Silva, A.T.S.F. & Batolla Jr. F., (1981). Projeto Integração Vale do Ribeira. Relatório final. São Paulo: CPRM. Capítulo 4.

Sørensen, H., (1974). The alkaline rocks. Printed John Wiley & Sons, 1-622p..

Valenton I., Schumann A., Vinx R. and Wieneke (1997) Supergene alteration since the upper cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil. *Applied Geochemistry*, 12.,133-154p.