



1690362

## ASPECTOS GEOLÓGICOS, PETROGRÁFICOS E QUÍMICOS DO VULCANISMO ÁCIDO DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE PIRAJU- OURINHOS (SP)

Valdecir de Assis Janasi<sup>1</sup>, Tarcísio José Montanheiro<sup>2</sup>, Fernanda Amaral Dantas<sup>1</sup>, Pedro Moraes Reis<sup>1</sup>, Vivian Azor de Freitas<sup>1</sup>, Jorge Kazuo Yamamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociências, USP, Rua do Lago, 562, 05508-800, São Paulo-SP,  
[vajanasi@usp.br](mailto:vajanasi@usp.br)

<sup>2</sup> Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo,  
[tjmonta@igeologico.sp.gov.br](mailto:tjmonta@igeologico.sp.gov.br)

**Resumo** – Uma sucessão de derrames de composição dacítica com espessura superior a 150 m constitui a base da Fm. Serra Geral em uma faixa de ~60 km ao longo da calha do rio Parapanema, entre as cidades de Piraju e Ourinhos (SP). Os derrames mostram zonalidade bem marcada; o contato entre derrames é reconhecido pela presença de níveis com até mais de 3 m de dacitos porfíricos vesiculados de matriz vítrea (de cor marrom-avermelhada quando em contato com arenitos da Fm. Botucatu) e localmente por expressivos corpos de arenito inter-trapp. Dados preliminares de química de minerais e do vidro e de química de rocha indicam temperaturas de cristalização próxima a 1000°C (termometria de piroxênios: saturação em apatita) e evolução magmática controlada pelo fracionamento das fases minerais presentes como fenocristais: andesina (~An50), augita, pigeonita, titanomagnetita e apatita. A variação composicional observada é muito pequena, e em parte devida a efeitos secundários; análises químicas adicionais são necessárias para a caracterização de eventuais diferenças inter-derrame.

**Palavras-Chave:** dacito; Fm. Serra Geral; Província Magmática Paraná-Etendeka; química mineral; temperaturas de magmas

**Abstract** – A succession of dacitic lava flows over 150 m thick constitutes the lowermost portion of the Serra Geral Fm. along the Parapanema river valley in the Piraju-Ourinhos region, State of São Paulo. The flows have a well-defined zonality: flow contacts are identified by thick (locally over 3 m) layers of vesiculated glassy porphyritic rock (with a characteristic reddish-brown color when in contact with the Botucatu Fm sandstones) and locally by expressive lenses of inter-trapp sandstone. Preliminary mineral, matrix glass and total rock chemical data indicate crystallization temperatures around 1000°C (pyroxene thermometry: apatite saturation) and magmatic evolution controlled by the extraction of the phenocrysts (andesine ~An50, augite, pigeonite, titanomagnetite and apatite). The observed compositional variation is small, and in part a reflection of secondary alteration; additional chemical analyses are necessary to identify inter-flow contrasts.

**Keywords:** dacite, Serra Geral Fm.; Paraná-Etendeka Magmatic Province; mineral chemistry; magma temperatures

## 1. Introdução

As rochas vulcânicas ácidas, que compõem cerca de 2,5% do volume da Província Magmática Paraná-Etendeka (K), se distribuem de maneira bastante assimétrica: estão ausentes na porção NNW da Bacia do Paraná, onde parecem ocorrer os derrames basálticos iniciais (Stewart et al., 1996), e são volumetricamente mais expressivas na porção SSE da Bacia (e contraparte africana na Bacia de Etendeka), onde se colocam tipicamente na porção superior da sequência (e.g., Garland et al., 1995).

As ocorrências de rochas vulcânicas ácidas da região de Piraju-Ourinhos (SP-PR), distribuídas em uma faixa de cerca de 60 km ao longo da calha do Rio Paranaípanema, são as mais setentrionais da Bacia do Paraná, e constituem localmente a base da pilha vulcânica, em contato direto com sedimentos eólicos da Fm. Botucatu (Raposo, 1987; Iyomasa et al., 1994; Dantas et al. 2003). Trabalhos prévios nesta região enfocaram a litogeoquímica dessas rochas e dos basaltos associados (Raposo, 1987) e suas características mineralógicas e texturais, com ênfase no potencial de uso como material pozolânico (Montanheiro, 1999).

Neste trabalho, apresentamos os resultados iniciais de um projeto de pesquisa voltado para a caracterização geológica e petrológica do vulcanismo ácido. Levantamentos geológicos de semi-detallhe e integração de mapas prévios permitiram avaliar com maior precisão a extensão de afloramento do pacote de rochas vulcânicas ácidas; a individualização em mapa de diferentes corpos ígneos (derrames, condutos, diques) encontra-se em progresso. Em paralelo, estão sendo obtidos novos dados químicos para rocha total e para minerais principais e vidro, que constituem contribuição importante à petrologia do vulcanismo ácido, e são também apresentados a seguir.

## 2. O magmatismo ácido na Província Magmática Paraná-Etendeka

### 2.1. Aspectos gerais

A Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE), de idade Eocretácea (~138-127 Ma), representa um dos maiores eventos vulcânicos do planeta, estendendo-se por cerca de 1.200.000 km<sup>2</sup> nos estados do centro-sul do Brasil e países vizinhos (Paraguai, Argentina e Uruguai); as ocorrências de Etendeka, na Namíbia, representam a continuidade da província no continente africano. O volume de lavas é estimado em c. 800.000 km<sup>3</sup>, com espessuras máximas alcançando localmente 1700 m ao longo do eixo central da Bacia. Predominam largamente (~70%) os basaltos, que foram inicialmente divididos em dois subtipos: os de alto TiO<sub>2</sub>, predominantes na porção norte da Bacia, e os de baixo (<2%) TiO<sub>2</sub>, predominantes no sul (e.g., Peate, 1997). Estudos geoquímicos e isotópicos de maior detalhe, incluindo seções estratigráficas contínuas levantadas no campo ou obtidas em amostragem de poços profundos, permitiram estabelecer uma tipologia de basaltos mais detalhada, distinguindo seis tipos principais, três deles com alto TiO<sub>2</sub>, e os demais com baixo TiO<sub>2</sub> (Peate, 1997). Rochas vulcânicas intermediárias e ácidas são mais comuns na porção SE da Bacia do Paraná, onde predomina uma variedade descrita como tipo Palmas, que guarda afinidades com os basaltos de baixo Ti. Ocorrências menores na porção centro-norte da Bacia (estados do Paraná e São Paulo) são descritas como um segundo tipo (Chapecó), que mostra afinidades geoquímicas e isotópicas com os basaltos de alto Ti.

Estimativas precisas da idade do vulcanismo só foram possíveis com o advento das datações Ar-Ar na década de 1990, e sugerem uma migração de idades de NW (138-135 Ma) para SE (131-127 Ma); o principal volume de magmas se gerou, contudo, em um pequeno intervalo de ca. 5 milhões de anos (135-131 Ma; Stewart et al., 1996), durante o qual parece ter ocorrido alguma migração do magmatismo em direção ao norte (Ernesto et al., 1999).

### 2.2. O magmatismo ácido na PMPE

Na porção meridional da Bacia do Paraná, as rochas vulcânicas ácidas são mais expressivas, e ocorrem tipicamente no topo da pilha vulcânica. São predominantemente riolitos e riodacitos com baixos teores de Ti (+ P e outros elementos incompatíveis), e um amplo intervalo de teores de sílica (64 a 72%), agrupados no "tipo Palmas". Evidências geoquímicas e isotópicas são indicativas de que esses "riolitos" foram produzidos por cristalização fracionada de basaltos de baixo Ti (tipo Gramado) associada à assimilação de fusões parciais de alto Rb/Ba geradas na crosta média a superior (Bellieni et al., 1996; Garland et al., 1995).

O segundo grupo de rochas vulcânicas ácidas, predominante na porção centro-norte da Bacia, e designado "tipo Chapecó", é representado por dacitos, riodacitos, quartzo latitos e riolitos. Exibe mais altos teores de Ti (+ P e elementos HFS), e é em média menos rico em sílica (64 a 68% SiO<sub>2</sub>), se comparado ao "tipo Palmas". É caracteristicamente porfirítico, com até 25% de fenocristais. Evidências petrográficas, geoquímicas e isotópicas sugerem origem por refusão de "underplates" basálticos de alto Ti (Bellieni et al., 1986; Garland et al., 1995), embora alguns autores considerem a possibilidade de se tratar de produtos de anatexia de crosta pré-existente (Harris & Milner, 1997). Contrariamente ao observado no "tipo Palmas", os fenocristais de plagioclásio e de piroxênio não mostram sinais de reabsorção, e têm composição compatível com a do líquido coexistente (Garland et al., 1995). Os teores relativamente baixos de quartzo normativo são compatíveis com a composição do mínimo granítico a pressão elevada (entre 5 e 15 kbar; Garland et al., 1995). Texturas piroclásticas não foram identificadas, e admite-se que a ascensão ocorreu rapidamente, muito provavelmente por diques; de fato, os poucos diques de composição ácida identificados na PMPE são quimicamente equivalentes ao tipo Chapecó (Garland et al., 1995).

### 3. Geologia local

Levantamento geológico em escala de semi-detalle ora em progresso mostra que as rochas vulcânicas ácidas têm distribuição areal mais ampla do que a admitida em mapas prévios (cf. Raposo, 1987; Schobbenhaus *et al.*, 1981). Por toda a região que se estende aproximadamente entre as cidades de Piraju (a E) e Xavantes (a W), essas rochas constituem a base da pilha vulcânica, e se estendem bem a sul da calha do rio Paranapanema, sustentando, ao menos em parte, os contrafortes da Serra Geral. Em muitos mapas prévios, as ocorrências de rochas vulcânicas no platô eram consideradas de natureza basáltica, seja pela falta de apoio petrográfico, seja pela carência de afloramentos não alterados. Também a norte do rio Paranapanema, pôde-se constatar que as rochas vulcânicas ácidas se estendem localmente por áreas antes tidas como basálticas. Embora o contato entre derrames ácidos e básicos não tenha sido observado nessa região, a disposição das rochas sugere que estes últimos recobrem os derrames ácidos. Não existem, contudo, evidências de que os derrames ácidos se estendam em subsuperfície para muito além da sua área aflorante.

Ao longo da calha do rio Paranapanema, situada localmente entre as cotas de 550 e 450 m, expõe-se em vários locais o contato inferior dos derrames ácidos sobre arenitos da Fm. Botucatu. Desníveis de até 100 m correspondem, em boa parte, a paleorelevo, e dificultam o mapeamento e correlação dos derrames. Importante tectônica pós-derrames responde pela exposição de janelas do embasamento (e.g., na região a sul de Timburi; no domo de Sarutaiá etc), e pela exposição do mesmo contato inferior dos derrames ácidos em cotas superiores a 800 m no platô da Serra Geral, pouco mais de 15 km a sul do rio Paranapanema.

Níveis descontínuos, mas por vezes com espessura superior a 10 m, de arenito “inter-trapp”, constituem importante marco estratigráfico. Na região entre Piraju e Timburi, um nível principal de arenito “inter-trapp” pode ser reconhecido regionalmente, e tem sido usado para separar em mapa duas unidades de rocha vulcânica ácida maiores, cada uma com espessura mínima da ordem de 60-80 m.

Diques de composição dacítica, alguns de espessura superior a 50m, são comuns cortando os sedimentos pré-derrames ou mesmo os primeiros derrames ácidos. Diques de diabásio, muito mais abundantes e de espessura bastante variada, são vistos muito raramente cortando derrames ácidos ou basálticos.

Os derrames ácidos exibem zonalidade marcada, sendo reconhecidos: na base, um nível expressivo (1-3 m) de dacito porfirítico de matriz vítrea vermelho fortemente vesicular, melhor desenvolvido quando em contato direto com arenitos, seguido por dacito porfirítico cinza com deslocamento subhorizontal, geralmente com textura “sal e pimenta” (com evidências de devitrificação), e então por dacito com deslocamento subvertical e textura granular. O topo dos derrames é novamente vítreo e vesicular-amigdaloidal, mas em geral de cor cinza-escuro. Embora possa localmente haver dificuldade para separar o topo de um derrame da base de outro, essa zonalidade pode ser usada para identificar a existência de sucessivos derrames, mesmo na ausência de outros critérios, como níveis “inter-trapp” ou mesmo paleossolos. Com o uso desse critério, fica evidente que, ao menos localmente, a unidade vulcânica ácida situada abaixo do principal nível de arenitos “inter-trapp”, é constituída de mais de um derrame.

### 4. Petrografia e química mineral

A classificação modal das rochas vulcânicas ácidas estudadas só é possível nas poucas amostras de textura granular; a proporção de vidro vulcânico presente na maior parte das amostras inviabiliza o uso de modas para fins de nomenclatura. Como mesmo nos casos de rocha isenta de vidro a granulação muito fina torna imprecisas as estimativas, optou-se por nomear as rochas a partir de critérios químicos. Foram escolhidas para geoquímica amostras de rocha com pequena proporção de amígdalas, ou aquelas nas quais as amígdalas tinham tamanho suficiente para que fossem extraídas por catação manual durante a cominuição. Os resultados analíticos, obtidos por ICP-OES no Laboratório de Química e ICP do IGC-USP, mostram que as rochas ácidas têm pequena variação composicional (65-67% SiO<sub>2</sub>; Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O ~8%) e se situam no limite entre os campos dos dacitos e traquitos no diagrama TAS (Le Maitre, 1989); por simplicidade, elas são designadas dacitos neste trabalho.

As variações texturais são principalmente em termos de cristalinidade e granulação da matriz. Nas rochas de matriz vítrea, os fenocristais de plagioclásio alcançam até 5 mm; microfenocristais podem ser subidiomórficos; mais frequentemente, apresentam geometrias indicativas de “quenching”, como terminações em rabo-de-andorinha. Clinopiroxênio, titanomagnetita e apatita também ocorrem como fenocristais, porém em menor abundância. A cor marrom-avermelhada das rochas vítreas que ocorrem no contato basal com arenitos parece associar-se à oxidação da matriz, que é acompanhada, em algumas amostras, pela alteração dos fenocristais de piroxênio. Nas rochas com textura macroscópica “sal e pimenta” observa-se uma da mescla de porções claras, cristalinas, com intercrescimento de quartzo e feldspatos, com porções de aspecto turvo, que parecem ter sido parcialmente vítreas, nas quais o plagioclásio tem tipicamente texturas de “quenching”. Nas rochas holocristalinas, fenocristais e amígdalas são menos abundantes, e quartzo é sempre distinguível ao microscópio, em geral intercrescido com os feldspatos.

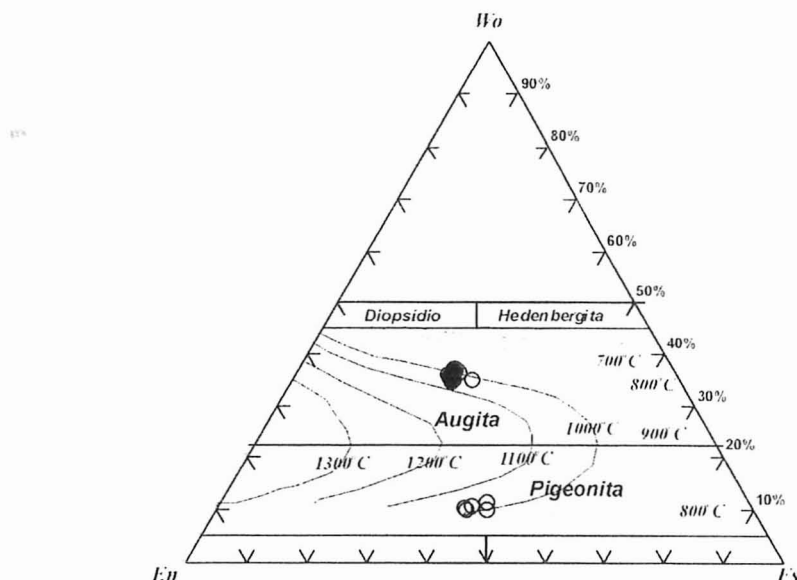
Os fenocristais de plagioclásio mostram zoneamento normal, com variação entre An50 e 40 nas amostras com matriz vítrea; já nas amostras com matriz cristalina, os terços de An nas bordas são mais sódicos, semelhantes aos de microfenocristais e matriz (An40-28). Feldspato alcalino ocorre na matriz e bordas de microfenocristais, e tendem a ser mais ricos em Or na matriz. Dois piroxênios (augita e pigeonita) estão preentes na maior parte das amostras, como esparsos fenocristais e componentes da matriz. É discreto a nulo o zoneamento dos cristais, e não existem diferenças



composicionais apreciáveis também entre as amostras (Fig. 1). As amígdalas, cujo diâmetro normalmente varia entre 1 e 20 mm, podem alcançar localmente dimensões maiores (até decimétrica), e são preenchidas por zeólitas, calcedônia e carbonatos.

## 5. Implicações petrogenéticas

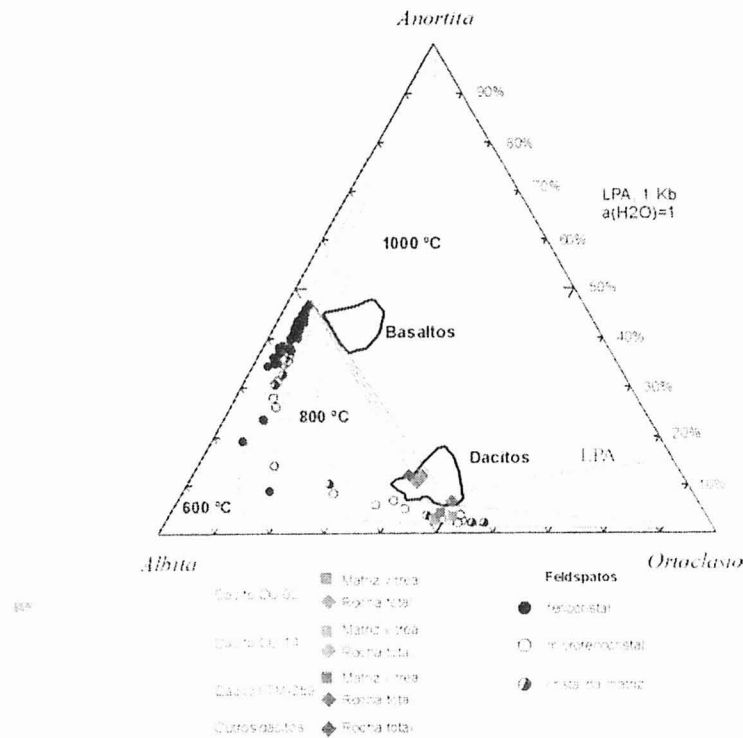
Estimativas de temperaturas de cristalização previamente publicadas para as rochas vulcânicas ácidas da PMPE indicam valores da ordem de 1000°C, consistentes com a ocorrência na forma de derrames e com a mineralogia magmática anidra dessas rochas. As temperaturas obtidas pelo método de Lindsley (1983) a partir da composição de piroxênios coexistentes (Fig. 1) também fornecem valores próximos a 1000°C; em particular, a composição da pigeonita parece incompatível com temperaturas mais baixas. Foram também calculadas temperaturas de saturação em apatita, a partir da formulação de Harrison & Watson (1984), que se situam no intervalo de 980 a 1000°C. Tendo em vista a presença de fenocristais desse mineral, essas temperaturas devem constituir boa aproximação da temperaturas *liquidus*.



**Figura 1.** Composição dos piroxênios coexistentes (augita e pigeonita) em rochas vulcânicas ácidas da região de Piraju-Ourinhos no diagrama triangular Wo-En-Fs. As isothermas são derivadas do trabalho experimental de Lindsley (1983) para P=1 kbar.

Temperaturas de saturação em zircão são consideravelmente mais baixas (860-890°C), e mostram que os magmas estavam insaturados nesse mineral. Essa observação está em concordância com a não identificação de zircão entre os minerais de cristalização precoce nessas rochas, e coloca em dúvida modelos que admitem que o teor mais baixo de Zr das rochas ácidas da região de Piraju-Ourinhos refletiria sua derivação, por fracionamento envolvendo zircão, a partir de magmas equivalentes aos da região de Guarapuava (cf. Garland et al., 1995). Mais provavelmente a insaturação em Zr reflete característica da fonte do magma parental dos dacitos.

Na Figura 2 estão lançadas as composições de feldspatos, rocha total e matriz vítrea de algumas amostras de dacito estudadas. A composição da rocha total é situa-se no campo de fase do plagioclásio a T=1000°C, e a evolução magmática até a matriz vítrea é controlada, nesse diagrama, pelo fracionamento de plagioclásio de composição equivalente à do núcleo dos fenocristais. O espectro composicional mais amplo observado em trabalhos prévios deve-se, em boa parte, a efeitos secundários (preenchimento de vesículas; alteração de fenocristais e matriz). Assim, por exemplo a amostra FTM-259, um dacito marrom-avermelhado de matriz vítrea da base da pilha vulcânica, parece dever seu caráter mais pobre em Ca e a maior razão K/Na à intensa alteração dos fenocristais. As análises disponíveis até o momento não permitem identificar diferenças químicas primárias de magnitude suficiente para identificar diferentes derrames na região. Acredita-se, no entanto, que isto pode vir a ser caracterizado com a obtenção de um volume mais expressivo de dados, acompanhado de análises mais completas, incluindo um amplo leque de elementos traço por ICPMS.



**Figura 2.** Composição de feldspatos, rocha total e matriz vítrea de dacitos da região de Piraju-Ourinhos no diagrama Ab-Na-Or. A linha cotética (LPA) baseia-se em Thompson (1996). Os campos composicionais de basaltos e dacitos da região estudada baseiam-se nos dados de Montanheiro (1999).

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp pelo apoio financeiro. FAD e PMS agradecem ao CNPq e VAF à Fapesp pela concessão de bolsas de Iniciação Científica.

## 7. Referências

- BELLINENI, G., Comin-Chiaramonti, P., MARQUES, L.S., MELFI, A.J., NARDY, A.J.R., PAPATRECHAS, C., PICCIRILLO, E.M., ROISENBERG, A., STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, v. 27, p. 915-944, 1986.
- DANTAS, F.A., JANASI, V.A., RUBERTI, E. Rochas vulcânicas ácidas cretáceas da Bacia do Paraná, região de Piraju-Ourinhos (SP): petrografia, química mineral e química de rochas. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 8, 2003, São Pedro (SP). Boletim de Resumos...São Pedro. SBG, p. 70, 2003
- GARLAND, F., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites, southern Brazil. *J. Petrol.*, v. 36, n.5, p. 1193-1227, 1995.
- IYOMASA, W.S., FERNANDES, L.A., FRASCÁ, M.H.B.O., SCARMÍNIO, M. As rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral no vale do Rio Paranapanema (SP/PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário de Camboriú/SC. Boletim de Resumos, p. 107-108, 1994.
- HARRISON, T.M. & WATSON, E.B. 1984. The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, p.1468- 1477, 1984.
- HARRIS, C. , MILNER, S. Crustal origin for the Paraná rhyolites: Discussion of 'Description and Petrogenesis of the Paraná Rhyolites, Southern Brazil' by Garland et al. (1995). *Journal of Petrology*, v. 38, p. 299-302, 1997.
- LINDSLEY, D. Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, v. 68, p. 477-493, 1983.
- MONTANHEIRO, T.J. Prospecção e caracterização de pozolanas na Bacia do Paraná, Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 226 p., 1999.
- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. SP, Unesp, Geociências, v. 21, p. 15-32, 2002.
- PEATE, D. The Paraná-Etendeka Province. In: JJ Mahoney & MF Coffin (Eds.): Large Igneous Provinces. Geophysical Monograph 100, AGU, p. 217-245, 1997.
- RAPOSO, M.I. Evolução magmática e petrológica das rochas vulcânicas ácidas Mesozóicas da região de Piraju-Ourinhos (SP e PR). Dissertação de Mestrado, Instituto Astronômico e Geofísico, USP, 159 p., 1987.

- SCHOBEBENHAUS F. C.; ALMEIDA CAMPOS, D.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. In: Schobbenhauss, C.; Almeida Campos, D.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. (eds.) Geologia do Brasil. DNPM, 501p, 1981.
- STEWART, K., TURNER, S., KELLEY, S., HAWKESWORTH, C., KIRSTEIN, L., MANTOVANI, M. 3-D, 40Ar – 39Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 143, p. 95-109, 1996.
- THOMPSON, A.B. Fertility of crustal rocks during anatexis. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, v. 87, p. 1-10, 1996.