

Evolução Tectônica e Denudacional da Serra do Mar (SE/Brasil) no limite entre o Cretáceo Superior e Paleoceno utilizando análises de traços de fissão e U-Th/He em apatitas

Ribeiro, M.C.S.¹; Hackspacher, P.C²; Ribeiro, L.F.B.³., Stockli, D⁴; Hadler Neto, J.C⁵.

¹ Pós-Doutoranda-bolsista Prodoc-Capes, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro/SP, Brasil, marlicarina@yahoo.com.br

² Departamento de Petrologia e Metalogenia, Unesp, Rio Claro/SP

³ Nucleargeo, Tecnologia Nuclear em Sistemas Naturais e Pesquisa Mineral Ltda, Rio Claro/SP, Brasil

⁴ Universidade do Kansas, Lawrence/EUA

⁵ Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Campinas/SP

Resumo

Neste trabalho foram associadas às idades de traços de fissão em apatitas e idades (U-Th)/He em perfil vertical na porção central da Serra do Mar (Sudeste/Brasil), o qual foi associado com um rápido soerguimento tectônico entre o Cretáceo Superior e Paleoceno. Estes processos tectônicos geraram um processo denudacional intenso, o qual foi responsável pela fragmentação dos níveis de paleosuperfícies mapeados.

Palavras-chave: Serra do Mar, Traços de Fissão em apatitas, (U-Th)/He, tectônica Cenozóica

Abstract

In this work we combined results from Apatite Fission Track (AFT) and (U-Th)/He ages from vertical profile in central portion of the Serra do Mar (southeast Brazil), which was associated with rapid tectonic uplift during the Late Cretaceous and Paleocene. These tectonics processes generated one intense denudational process, which was responsible by fragmentation of the paleosurfaces levels mapped.

Keywords: Serra do Mar, Apatite Fission-Tracks, (U-Th)/He, Cenozoic tectonic

1.0-Introdução

Os relevos que compõem a margem passiva do sudeste brasileiro têm seus aspectos físicos relacionados à sua evolução durante o período Mesozóico e Cenozóico, sendo esta marcada pela multi-interação entre os processos tectônicos, isostáticos e climáticos. Registros

sobre a atuação dos eventos tectônicos e climáticos, principalmente durante o Cretáceo Superior e o Paleoceno, contribuíram de maneira significativa na história evolutiva das morfologias que compõem a região sudeste brasileira, principalmente os relevos que formam a Serra do Mar.

As contribuições destes processos durante o período Cretáceo Superior e o Paleoceno vêm sendo amplamente descritos na literatura. Vários trabalhos retratam a importância do período Cenozóico na formação do arcabouço morfotectônico dos relevos que compõem a margem passiva do sudeste brasileiro (Almeida & Carneiro 1998, Gontijo 1999, Modenesi *et al.*, 2002, Riccomini *et al.*, 2004, Zalán & Oliveira 2005; etc.), discutindo a importância das feições indicativas de soerguimento tectônico que desnivelaram as morfologias durante este período. Indícios destas reativações cenozóicas, de acordo com Riccomini *et al.*, (2004) e Zalán & Oliveira (2005), são representados morfologicamente através dos planaltos que indicam blocos tectonicamente soerguidos durante a tafrogênese cenozóica que culminou com a instalação do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, interrompendo a instalação de ciclos erosivos na área.

A aplicação da análise de traços de fissão em apatitas (ATFA) na porção sudeste da margem passiva brasileira tem abordado detalhadamente a problemática sobre a evolução tectono-denudacional do Cenozóico no sudeste brasileiro (Hackspacher *et al.*, 2004, Franco *et al.*, 2005, Ribeiro *et al.*, 2005), o que tem levantado questões sobre a necessidade de se reavaliar os processos extensionais no limite Cretáceo Superior-Paleoceno nas áreas cristalinas (Hackspacher *et al.*, 2006).

Neste trabalho foram utilizadas técnicas de mapeamento geomorfológico para a identificação dos principais níveis de paleosuperfícies, os quais foram selecionadas amostras para a datação através da Análise de Traços de Fissão em Apatitas e a sistemática (U-Th)/He em apatitas.

Os resultados obtidos constataram que a formação das morfologias que compõem a Serra do Mar ocorreu em função do soerguimento tectônico, ocasionando o resfriamento simultâneo destes diferentes termocronômetros no mesmo intervalo de tempo. O primeiro período no Cretáceo Superior e o segundo no Paleoceno. O primeiro evento de soerguimento tectônico regional durante o Cretáceo Superior ocasionou a configuração das unidades morfológicas da Serra do Mar, o segundo evento de soerguimento tectônico com idade do

Paleoceno foi responsável pela sobreelevação, fragmentação e denudação dos níveis de paleosuperfícies da Serra do Mar.

2.0-Contexto Geológico e Geomorfológico Regional

A área de estudo insere-se na Província Mantiqueira, definida por Almeida *et al.*, (1977, 1981), sendo esta formada por uma série de fragmentos crustais de diferentes idades e evoluções tectônicas situados no sul e sudeste do Brasil, envolvendo as Faixas Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira (Campanha & Sadowski, 1999). Geologicamente a área de estudo (Figura-1) está situada no Cinturão Ribeira, setor este cortado por zonas de cisalhamento de direções nordeste, as quais separam os blocos tectônicos que estão inseridos os terrenos Juiz de Fora, Costeiro, Apiaí, Embu, Socorro-Guaxupé.

Geomorfologicamente a Serra do Mar é composta por um conjunto de planaltos que se distribuem paralelamente à linha de costa, com altitudes médias a 1000 metros, e alguns setores, por exemplo, o Planalto da Bocaina chegando a atingir 2000 metros de altitude (Ponçano *et al.*, 1981).

A história tectono-denudacional durante o Mesozóico-Cenozóico da Serra do Mar é marcada pelos primeiros registros de reativações tectônicas mesozóicas ocorrerem a partir do Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior, com o início da Reativação Wealdeniana, marcada pela manifestação do magmatismo toleítico. Esta manifestação tectônica caracterizou-se, sobretudo pela reativação de antigos falhamentos ocasionando o soerguimento de relevos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná (Almeida & Carneiro, 1998).

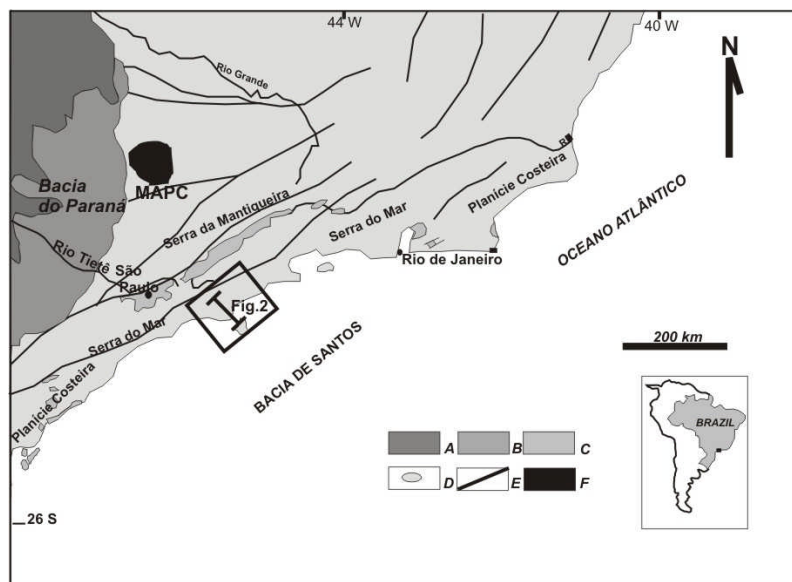


Figura-1: Contexto geológico regional da área de estudo. (a) Rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral, (b) Sedimentos Paleozóicos da bacia do Paraná, (c) Rochas Pré-Cambrianas, (d) Sistema de Rifts Cenozóicos, (e) Zonas de cisalhamento pré-cambrianas, (f) Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Modificado de Melo *et al.*, (1985) e Riccomini *et al.*, (2004).

3.0-Metodologia

3.1.Mapeamento dos Níveis de Paleosuperfícies

Foram utilizadas as metodologias de mapeamento de níveis de paleosuperfícies, visando o mapeamento dos níveis de paleosuperfícies aplainadas em cada unidade geomorfológica estudada. O mapeamento destas paleosuperfícies baseou-se nos trabalhos propostos por Lidmar-Bergström (1996) e Bonow *et al.*, (2006). Foram identificados três níveis de paleosuperfícies situados entre 1400-1000 metros, o segundo entre 900-700 metros e o terceiro entre 600-200 metros.

3.2-Termocronologia de Baixa Temperatura

3.2.1-Análise de Traços de Fissão em Apatitas

No método de traços de fissão, os traços espontâneos são provenientes do decaimento por fissão espontânea do ^{238}U . Neste trabalho foi utilizado o método do detector externo que se baseia na datação de grãos individuais de apatita, permitindo medir a densidade de traços

fósseis (^{238}U) e induzidos (^{235}U) em cada grão, onde é possível calcular a idade para cada grão analisado. Usualmente o detector externo utilizado é uma lamínula de muscovita, juntamente com a montagem dos grãos de apatita para posteriormente serem irradiados com nêutrons térmicos.

Para o cálculo das idades de traços de fissão em apatitas foi utilizado o método de calibração absoluta calculada por (Iunes *et al.*, 2002), e a constante de decaimento por fissão espontânea do ^{238}U medida por Guedes *et al.*, (2003).

3.2.2-U-Th/He em apatitas

O nuclídeo de ^4He (partícula α) é produzido durante o decaimento radioativo das séries do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th (Farley, 2002), resultando na produção estável de ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . Uma quantidade insignificante de partículas α também são produzidas pelo decaimento do $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, gerado os nuclídeos radiogênicos de ^{143}Nd , ^{140}Ce , respectivamente (Reiners, 2002). Medidas de difusão do gás hélio em laboratório indicam que o hélio radiogênico é retido na apatita sob temperaturas médias da superfície da terra ($\pm 45^\circ\text{C}$), mas é em ambientes com altas temperaturas que a perda por difusão é maior (Zeitler *et al.*, 1987, Lippolt *et al.*, 1994; Wolf *et al.*, 1996). Como consequência, as idades de U-Th/He em apatitas são sensíveis à temperaturas muito baixas ($<100^\circ\text{C}$), e em muitos casos irão registrar detalhes sobre a história de resfriamento da apatita, pois as idades de hélio em apatitas são sensíveis à temperatura menor do que outros termocronômetros, podendo prover novas informações sobre a evolução das rochas sob diferentes condições de temperatura *versus* tempo (Wolf *et al.*, 1996).

4.0-Discussões e Resultados

4.1-Análise Geomorfológica

Conforme as análises geomorfológicas realizadas na porção centro-sul da Serra do Mar (Figura), os relevos apresentaram 3 níveis de paleosuperfícies distintos (Figura-2). O primeiro nível de paleosuperfície com altitudes entre 1400-100 metros é formado pelo Planalto de Moraes, onde está situado a nascente do rio Tietê. O segundo nível de paleosuperfície possui intervalo de altitude entre 900-700 metros, situado no Planalto de Paraitinga, e o terceiro nível de paleosuperfície com altitudes entre 600 a 200 metros, constituído pelo Planalto de Juqueriquerê.

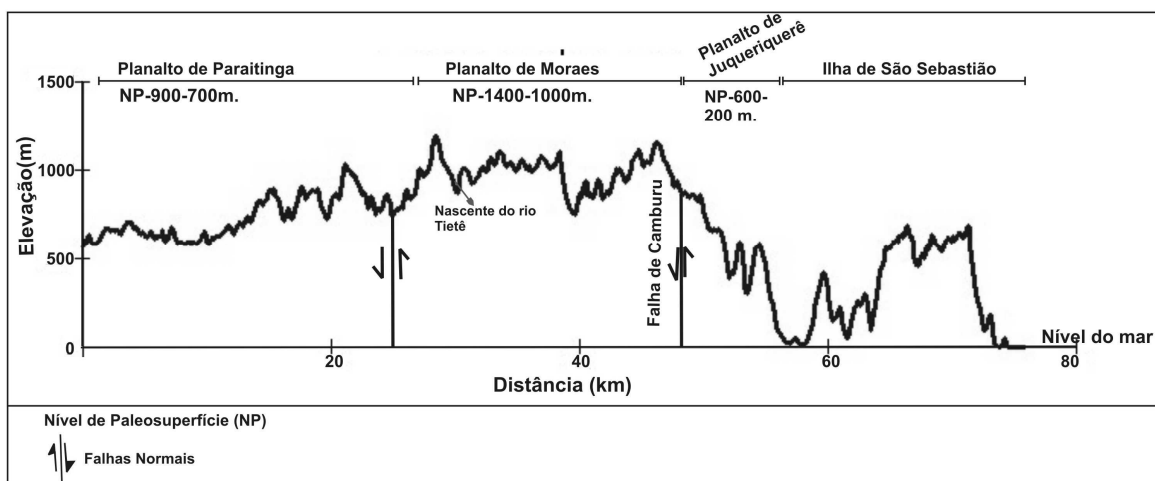


Figura-2: Perfil mostrando a distribuição dos níveis de Paleosuperfícies mapeados na área de estudo (Fonte: Carta Topográfica Santos escala 1:250.000, IBGE, 1976).

5.0-Correlação das Análises Geomorfológicas e Termocronológicas na porção central da Serra do Mar

As idades de traços de fissão e Hélio em apatitas apresentaram dois grupos de idades com intervalos distintos (Cretáceo Superior e Paleoceno) entre os três níveis de paleosuperfícies mapeados. Para as análises da distribuição das idades dos termocronômetros utilizados, levou-se em consideração o intervalo de erro considerado, ambos se situaram dentro do mesmo intervalo de idade. Este fato, provavelmente está associado ao resfriamento rápido (que as amostras registraram durante este período, o que acabou gerando uma difusão nula ou parcial do ^4He nas apatitas, provavelmente a taxa de resfriamento neste termocronômetro foi superior a $10^\circ\text{C}/\text{Ma}$, preservando idades mais antigas ou iguais as obtidas por meio análises de traços de fissão em apatitas.

Analisando o gráfico de altitude (metros) *versus* idades de traços de fissão em apatitas (Ma) nota-se um forte desnivelamento topográfico entre os níveis de paleosuperfície mapeados entre 1400-1000 e 600-200 metros (Figura-3A). Com base nos resultados obtidos em associação com dados geomorfológicos verifica-se que na área ocorreram dois períodos de tectonismo distintos, o primeiro durante o Cretáceo Superior e o segundo durante o Paleoceno.

O evento associado ao Cretáceo Superior foi responsável pelo soerguimento em toda a Serra do Mar (Figura-3B), gerando o alçamento das morfologias e dissecação dos níveis topográficos mais elevados, formando posteriormente o nível de paleosuperfície (900-700 metros), formado atualmente pelo Planalto de Paraitinga. Na porção formada pelo nível de paleosuperfície (900-700 metros) não foram constatados indícios da preservação de superfícies erosivas correlatas à superfície Sul-Americana, apenas o retrabalhamento das feições morfológicas existentes.

O segundo evento datado do Paleoceno foi registrado no Planalto de Moraes e Juqueriquerê e as demais morfologias que compõe a nascente do rio Tietê (Figura-3 A). Geomorfologicamente este evento tectônico associado à reativação da falha de Camburu (Campanha *et al.*, 1994), ocasionou a fragmentação dos níveis de paleosuperfícies nesta seção do perfil, enquanto que na porção central da Serra do Mar este soerguimento desempenhou um papel importante no traçado das paleodrenagens.

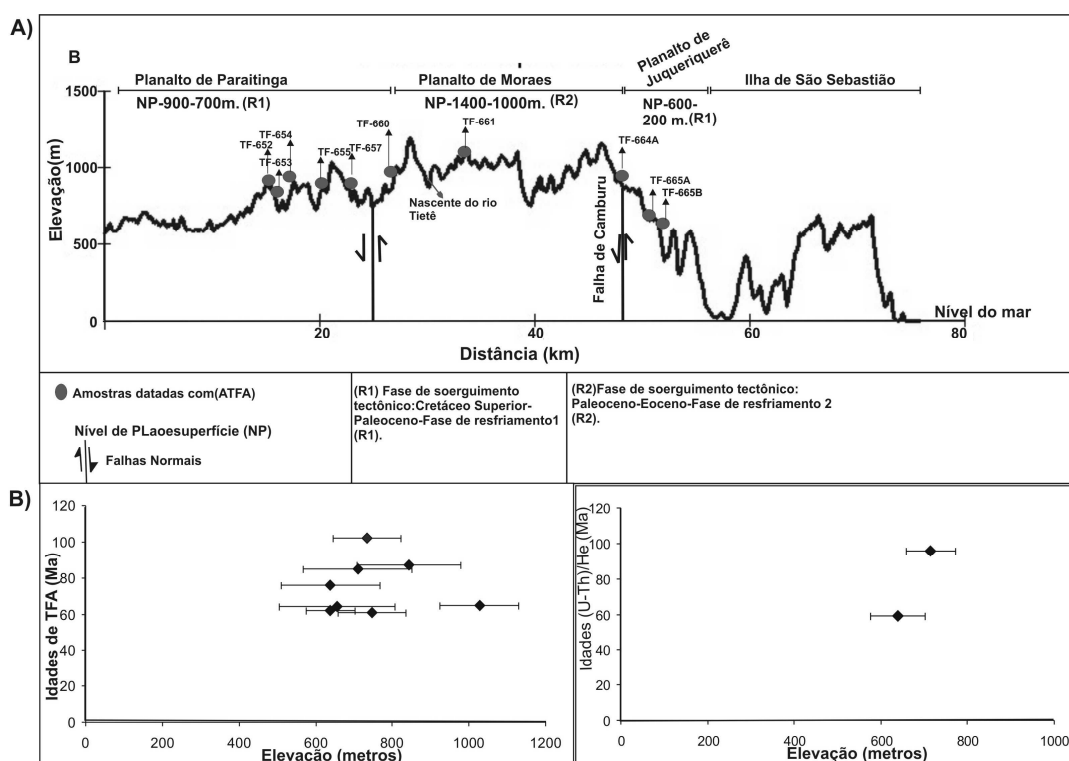


Figura-3: a) Perfil mostrando a distribuição dos níveis de Paleosuperfícies mapeados e b) os gráficos idades versus elevação dos termocronômetros (Traços de Fissão em Apatitas e U-Th/He em apatitas).

Agradecimentos

À Fapesp pelo suporte financeiro (Proc: 00/03960-5), a bolsa de Doutorado (Proc: 03/07574-0) e a bolsa de Pós-Doutoramento Prodoc-Capes de Marli Carina Siqueira Ribeiro.

Referências Bibliográficas

- Almeida F.F.M.de, Hasui Y., Brito Neves B.B.de, Fuck R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste*, **8**, Campina Grande, 1977. *Atas...*, Campina Grande, p. 363-391.
- Almeida F.F.M.de, Hasui Y., Ponçano W.L., Dantas A.S.L., Carneiro C.D.R., Melo M.S.de, Bistrichi C.A. 1981. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, Nota Explicativa*. São Paulo, IPT, Monografias **6**, v. 1, 126 p. (Publ. 184).
- Almeida, F.F.M., Carneiro, C. Dal Ré. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**, n.2:135-150.
- Bonow, J.M, Lidmar-Bergström, K., Japsen. P. 2006. Palaeosurfaces in central West Greenland as reference for identification of tectonic movements and estimation of erosion. *Global and Planetary Change* **50**:161-183.
- Campanha, G.A.C., Hendrik, H., Ponçano, W.L., 1994. Análise morfotectônica do Planalto de Juqueriquerê, São Sebastião. *Revista Brasileira de Geociências* **24** (1), pp.32-42.
- Campanha G.A.C., Sadowsky G.R. 1999. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiáí Domain). *Precambrian Research*, **98**, pp.31-51.
- Farley, K.A. 2000. Helium diffusion from apatite: general behavior as illustrated by Durango fluorapatite. *Journal Geophysical Research* **105**, pp.2903-2914.
- Franco, A.B.F., Hackspacher, P.C., Godoy, D.F., Ribeiro, L.F.B., Guedes, S. 2005. História Térmica do maciço alcalino de Poços de Caldas (SP/MG) e adjacências através da análise da datação por traços de fissão em apatitas. *Revista Brasileira de Geociências* **35** (3):351-358.
- Gontijo, A. H. F. 1999. *Morfotectônica do médio vale rio Paraíba do Sul: região da Serra da Bocaina, estados de São Paulo e Rio de Janeiro*. 259f. Tese de Doutorado em Geociências - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-São Paulo.

- Guedes, S., Hadler Neto, J. C., Iunes, P. J., Zuñiga, A., Tello Saenz, C. A., Paulo, S. R. 2003. The use of the U (n,f) reaction dosimetry in the determination of the λ_f value through fission-track techniques. *In: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **496**, pp. 215-221
- Hackspacher, P.C; Ribeiro, L.F.B.; Ribeiro, M.C.S.; Fetter, A.H.; Hadler Neto, J.C.; S. Tello, C.E.; Dantas, E.L. 2004. Consolidation and break-up of the South American platform in southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. *Gondwana Research*, **1**:91 -101.
- Hackspacher, P.C., Saad, A.R., Hadler Neto, J.C. 2006. O registro do limite Cretáceo Superior- Paleógeno em rochas pré- cambrianas da região sudeste do Brasil com base em datação por traços de fissão em apatitas. *In: Boletim do 7º Simpósio do Cretáceo do Brasil e 1º Simpósio do Terciário do Brasil*, p.65.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Carta topográfica – São Paulo – escala 1: 250 000 ano 1976.
- Iunes, P. J.; Hadler Neto, J. C.; Bigazzi, G. Tello Saenz, C. A.; Guedes, S. O.; Paulo S.R. 2002. Durango Apatite Fission Track Dating Using Length-based Age Corrections and Neutron Fluence Measurements by Natural Thorium thin Films and natural U-doped Glasses Calibrated Through Natural Uranium Thin Films. *In: Chemical Geology* **187**: 201-211.
- Lidmar-Bergström, K., 1996. Long term morphotectonic evolution in Sweden. *Geomorphology* **16**:33-59.
- Melo, M.S de, Riccomini, C., Hasui, Y., Almeida, F.F.M. DE, Coimbra, A.M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tectônicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**: 193-201.
- Lippolt, H.J., Leitz, M., Wernicke, R.S., Hagedorn, B., 1994. U-Th/He dating of apatite-experience from different geochemical environments. *Chemical Geology*, **112**, pp. 179–191.
- Ponçano, W. L., Carneiro, C. D. R., Bistrichi, C. A., Almeida, F. F. M., Prandini, F. L. 1981. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*. **2**: 94.
- Reiners, P.W. 2002. (U-Th)/He Chronometry Experiences a Renaissance. *EOS Trans. AGU*, **83**, 1, pp.26-27.

- Ribeiro, L.F.B., Hackspacher, P.C., Ribeiro, M.C.S., Hadler Neto, J.C., Tello Saenz, C.A. .S., Iunes, P.J., Franco, A. O.B., Godoy, D.F. 2005. Thermotectonic and fault dynamic analysis of Precambrian basement and tectonics constraints with the Paraná basin.: *Radiation Measurements* **(39)**, pp.669 – 673.
- Riccomini, C; Sant’Anna, L.G.; Ferrari, A.L. Evolução geológica do rift continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B. B. (eds.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. pp. 383-405.
- Zalán, P.V. & Oliveira, J.A.B de. 2005. Origem e evolução estrutural do sistema de rifte Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 13, n.2:269-300.
- Wolf, R.A., Farley, K.A., Silver, L.T., 1996. Helium diffusion and low temperature thermochronometry of apatite. *Geochim. Cosmochim. Acta* **60**, pp. 4231–4240.
- Zeitler P.K, Herczeg, A.L, McDougall, I., Honda, M. 1987. U-Th-He dating of apatite:a potential thermochronometer. *Geochim. Cosmochim. Acta* **51**, pp. 2865–68.