

A tectônica meso-cenozóica de parte da borda nordeste da Bacia do Paraná: traços de fissão em apatita

The mesozoic-cenozoic tectonics of part of the northeastern margin of the Paraná Basin: apatite fission tracks

Carlos Pinto Fracalossi¹, Daniel Françoso Godoy², Peter Christian Hackspacher³

resumo

A possível evolução dos eventos térmicos na porção central do estado de São Paulo foi descrita com base em análises de traços de fissão em apatita. Utilizando apatitas de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, a modelagem da história térmica tornou-se possível graças à homogeneidade dos dados. As histórias térmicas de todas as amostras começam a partir de um apagamento total dos traços de fissão, relacionado ao magmatismo Serra Geral, evoluindo para um período de resfriamento. Além do resfriamento posterior ao magmatismo (Eocretáceo), foram ainda detectados outros dois períodos de

resfriamento, registrados para o Neocretáceo/Paleoceno e Eoceno, condicionados tanto por soerguimento com denudação tectônica quanto por falhamentos. A porção mais próxima da borda da bacia, externa ao Domo de Pitanga, registrou um período de aquecimento durante o Paleoceno que pode ser atribuído ao aumento do gradiente geotérmico. Os períodos de resfriamento têm escala regional e relação temporal com os eventos tectônicos ocorridos no sudeste brasileiro descritos no embasamento cristalino. Já o período de aquecimento registrado no Neocretáceo/Paleoceno tem abrangência local e ocorre somente na parte sul da área de estudo.

Palavras-chave: traços de fissão em apatita | história térmica | tectônica meso-cenozóica

¹ Petrobras. Unidade de Negócio Sergipe Alagoas. Gerência de Avaliação e Acompanhamento Geológico. carlos.fracalossi@petrobras.com.br.

² Universidade Estadual Paulista. Pós-Graduação em Geologia Regional, Rio Claro (SP). dfgodoy@gmail.com

³ Universidade Estadual Paulista. Departamento de Petrologia e Metalogenia, Rio Claro (SP). phack@rc.unesp.br

abstract

The possible development of thermal events in the central portion of São Paulo state was described based on apatite fission track analysis. Using apatites of sedimentary rocks of the Paraná Basin, modeling the thermal history was made possible due to the homogeneity of the data. Every thermal history begins with a total annealing of fission tracks, related to the Serra Geral magmatism, evolving into a cooling period. In addition to cooling after the magmatism (Early Cretaceous) two other periods of cooling were also detected, registered in the Late Cretaceous/ Paleocene and Eocene, driven as much by uplift with tectonic denudation as by faulting. The nearest portion of the edge of the basin (external to the Dome of Pitanga), registered a period of warming over the Paleocene that can be attributed to the increase in the geothermal gradient. The periods of cooling have a regional and temporal relationship with the tectonic events that occurred in the southeastern Brazil and were described in the crystalline basement. The period of warming, registered in the Late Cretaceous/ Paleocene, has local occurrence and can be found only in the southern portion of the studied area.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: apatite fission tracks | thermal history | mesozoic-cenozoic tectonics

introdução

Nos últimos anos, as porções cristalinas da Região Sudeste do Brasil têm sido alvo de vários trabalhos onde o objetivo central é, principalmente, a descrição dos processos tectônicos, magmáticos e geomorfológicos ocorridos após a abertura da parte sul do Oceano Atlântico. Dentre estes trabalhos, aqueles que empregaram técnicas termocronológicas, como os métodos de traços de fissão de apatita (Tello Sáenz *et al.* 2003; Ribeiro, 2003; Hackspacher *et al.* 2004; Ribeiro *et al.* 2005; Franco *et al.* 2005), mostram que os processos tectono-magmáticos que ocorreram no meso-cenozóico possuíram magnitude suficiente para modificar o arcabouço térmico das porções rasas da crosta terrestre (até 4km de profundidade) e

influenciar tanto na reativação do arcabouço estrutural preexistente quanto na evolução geomorfológica daquela região. Dentre os eventos tectônicos descritos nas áreas cristalinas destacam-se:

- I) Jurássico-Eocretáceo: relacionados à própria abertura do Oceano Atlântico Sul e posteriormente ao soerguimento da Serra da Mantiqueira;
- II) Neocretáceo: reativação tectono-magmática que deu origem aos maciços alcalinos do sudeste e soerguimento do Arco de Goiânia;
- III) Cenozóico: processos relacionados à tafrogênese do sudeste.

Paralelamente a esta evolução, são observados na Bacia do Paraná:

- I) Magmatismo Serra Geral;
- II) Deposição do Grupo Bauru e ocorrência de magmatismo alcalino;
- III) Deposição de unidades sedimentares isoladas.

Muitas das estruturas presentes nas porções cristalinas mostram continuidade para dentro da Bacia do Paraná (Riccomini, 1995; Artur e Soares 2002; Sousa, 2002; Ribeiro *et al.* 2005), manifestando-se em alinhamentos estruturais onde a presença de falhas, diques de diabásio e altos estruturais são mais freqüentes, deixando evidente a influência da reativação de estruturas do embasamento no pacote sedimentar da bacia.

Com base nos conhecimentos adquiridos até o momento, é proposto o presente trabalho que consiste na aplicação do método de traços de fissão em apatitas na borda da Bacia do Paraná. Com o emprego deste geotermômetro de 110°C, será verificada a influência dos processos tectônicos registrados nas áreas cristalinas próximas à borda da bacia, área na qual a existência de trabalhos deste tipo é escassa.

A modelagem e o entendimento da história térmica são dados importantes e também podem ser estimados pelos métodos de reflectância de vitrinita e pela análise petrográfica de processos diagenéticos; entretanto, estes dois métodos estimam valores máximos de temperatura atingidos pelas rochas e não geram uma idade para o evento térmico sofrido. Em um caso onde se queira obter a idade do evento térmico, pode-se utilizar o método de datação por traços de fissão. Este método vem sendo utilizado tanto para a revelação de histórias térmicas quanto para estudos de proveniência de bacias sedimentares e episódios de denudação/exumação.

A incorporação de um método que gera uma idade absoluta para os eventos térmicos e eventos de denudação/exumação sofridos pela bacia é de importância significativa para a exploração de petróleo. Uma das aplicações deste método se dá nos estudos de diagênese e na modelagem de bacias. Para os primeiros, ele pode ser aproveitado na obtenção da história térmica, dada diretamente pelo estudo dos traços de fissão, e na datação e quantificação dos episódios de denudação/exumação, utilizados para a construção da história de soterramento quando os eventos erosionais estão ligados a estes. Quanto à modelagem de bacias, a termocronologia por traços de fissão auxiliaria na calibração do fluxo térmico sofrido pela bacia.

Pela importância e pelo significado dos resultados de idade absoluta, servindo de amarração aos processos tectono-magmáticos sofridos pela

bacia, foram aqui analisadas rochas da Bacia do Paraná localizadas na porção central do estado de São Paulo (fig. 1).

arcabouço geológico

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica e se encontra totalmente sobre a crosta continental da Plataforma Sul-americana. É uma seqüência sedimentar-magmática com idades entre o Neorodoviciano e o Neocretáceo e abrange uma área superior a 1.500.000 km².

A sucessão de rochas sedimentares e magmáticas que constituem a bacia representa, segundo Milani (1997), sucessivos episódios de

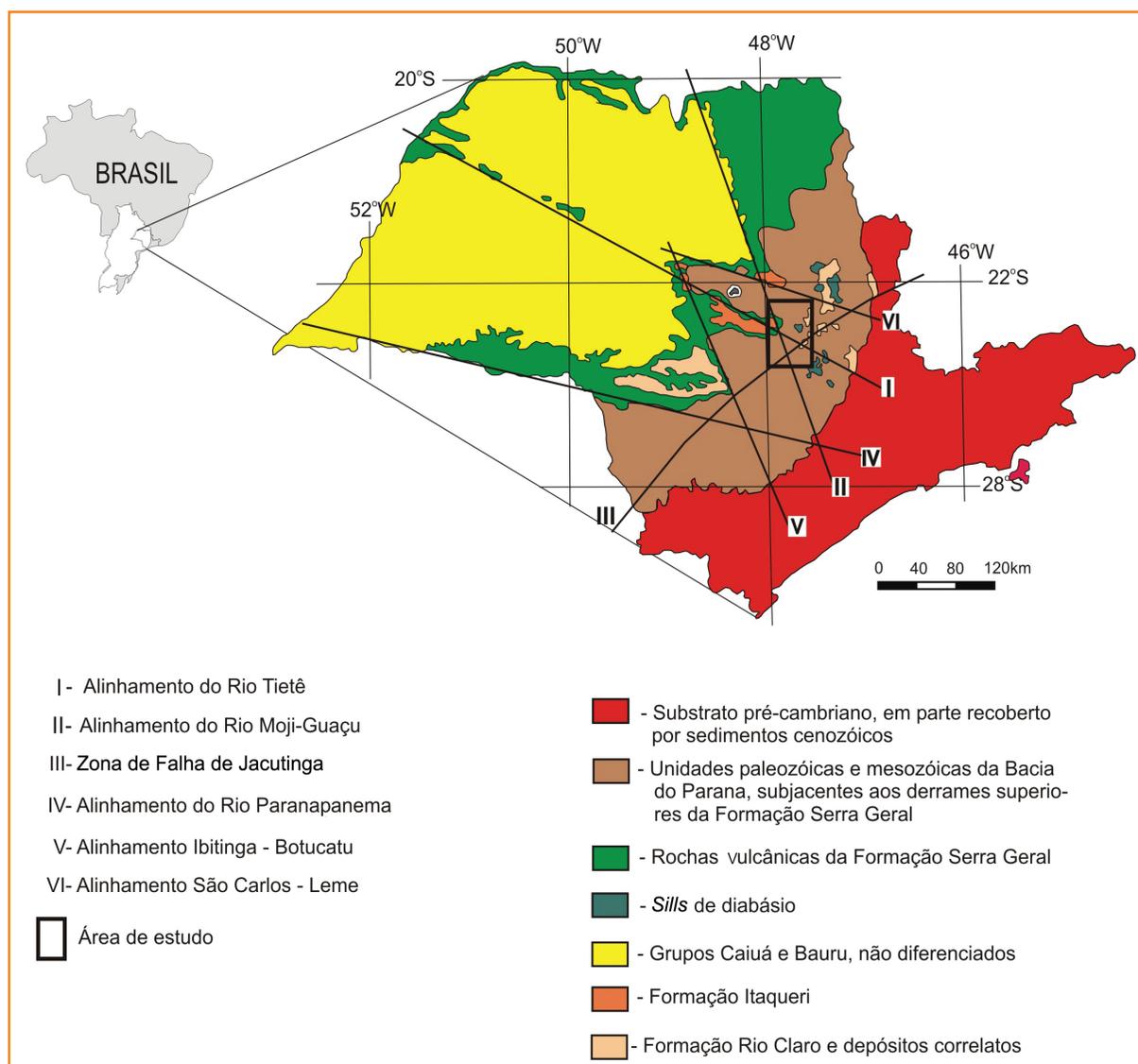


Figura 1
 Mapa geológico simplificado do estado de São Paulo indicando a área de estudo (adaptado de Riccomini, 1995).

Figure 1
 Simplified geological map of the state of São Paulo. Rectangle indicates the studied area (modified from Riccomini, 1995).

sedimentação em uma bacia de registro policíclico. Esta ciclicidade, relacionada ou não, com as orogenias ocorridas na porção oeste do supercontinente Gondwana, deram origem à divisão da bacia em seis superseqüências.

A origem da Bacia do Paraná ainda é pouco conhecida. De comum acordo entre os autores que a estudam, é fato que o desenvolvimento desta foi fortemente influenciado pela geodinâmica do Gondwana sul-ocidental, ficando assim evidente que a evolução tectono-sedimentar deve ser entendida dentro do contexto global da tectônica de placas. Os períodos de sedimentação estão relacionados a fases de subsidência separadas por períodos de erosão que, segundo Milani (1997) e Zalán (2004), apresentam ligação com a convergência da Placa Pantalassiana com a margem sudoeste da placa do paleocontinente Gondwana, com choques ocasionais de terrenos alóctones. O principal elemento que sugere esta ligação é a semelhança temporal dos picos de atividade na borda orogênica do continente com as fases de subsidência da bacia. Assim, momentos de maior atividade neste ambiente tectônico teriam gerado esforços compressivos que se propagariam no ambiente intraplaca, causando fases de subsidência. Momentos de menor atividade na borda do Gondwana favoreceram o desenvolvimento de discordâncias regionais.

Para este trabalho, é importante destacar os eventos tectônicos que a Plataforma Sul-americana sofreu a partir do final do Jurássico, quando a bacia passou a sofrer influência dos processos tectono-magmáticos que culminaram na abertura do Oceano Atlântico. Anomalias térmicas mantélicas (Marques e Ernesto, 2004), durante a reativação da plataforma, geraram um acréscimo de cerca de 200°C, culminando no magmatismo Serra Geral no Eocretáceo, que deu origem a extensos derrames bem como à colocação de diques e soleiras de diabásio.

Anomalias térmicas posteriores a esse magmatismo continuaram ocorrendo subjacentes ao continente sul-americano, dando origem aos maciços alcalinos do sudeste brasileiro. A tectônica nestas áreas merece destaque principalmente se forem levadas em conta estruturas que possuem continuidade para dentro da bacia, mostrando inclusive influência na formação do arcabouço stratigráfico das unidades suprabasálticas. O soerguimento registrado na Serra da Mantiqueira é associado à fase de intumescência do processo que culminou com a ruptura continental e a abertura do

Atlântico. Este soerguimento é registrado por meio de traços de fissão em apatita com idades em torno de 120 Ma no embasamento cristalino adjacente à borda leste da bacia (Tello Saenz *et al.* 2003; Hackspacher *et al.* 2003; Zalán e Oliveira, 2005).

No Neocretáceo, importantes manifestações tectônicas decorrentes de um aquecimento crustal (Almeida e Carneiro, 1998; Tello Saenz *et al.* 2003; Hackspacher *et al.* 2003; Zalán e Oliveira, 2005) ocorreram no âmbito intraplaca. Após o forte soerguimento tectônico do Cretáceo Inferior (Tello Saenz *et al.* 2003; Hackspacher *et al.* 2004), segue-se a nova fase de alçamento térmico entre 90 e 65 Ma associado à intrusão de corpos alcalinos, demonstrando a amplitude do processo térmico que passaria a ter caráter regional e não apenas ligado às alcalinas da borda da Bacia do Paraná. Para Hackspacher *et al.* (2007), esse aquecimento poderia estar associado à reativação da Plataforma Sul-americana com processos tectono-magmáticos vinculados à orogênese ascensional cretácica andina.

Zalán e Oliveira (2005) ressaltam que esse soerguimento neocretácico foi acompanhado de intenso magmatismo e que à medida que se alçava, seu topo era nivelado pela erosão. Segundo Hasui e Haralyi (1991), este período foi marcado por importantes manifestações alcalinas e pela formação de áreas de soerguimento como o Arco de Goiânia e soerguimentos na borda nordeste da Bacia Bauru. Tais feições tectônicas tiveram grande influência na evolução da bacia, sendo responsáveis pela erosão das bordas leste e nordeste e, de acordo com Fernandes e Coimbra (1996) e Fernandes (1998), a topografia elevada a posicionou como uma importante área fonte de sedimentos para a Bacia Bauru.

No Paleoceno, uma tectônica principalmente distensional ocorreu nas áreas alçadas do sudeste brasileiro, principalmente na Serra do Mar, dando origem ao desenvolvimento do Sistema de Riftes do Sudeste Brasileiro (Almeida, 1976; Riccomini, 1989; Zalán e Oliveira, 2005). Os possíveis reflexos desta tectônica no interior da Bacia do Paraná são reconhecidos por Riccomini (1995, 1997) atribuindo a esta época a formação dos depósitos da Formação Itaqueri, localizada discordantemente sobre as rochas do derrame Serra Geral e da Formação Botucatu.

A partir do Mioceno, uma tectônica de menor magnitude passa a atuar, influenciando na formação de diversos depósitos sedimentares de pequeno porte, como é o caso da Formação Rio Claro (Zaine, 1994; Melo, 1995; Melo *et al.* 1997), relacionada a um

possível soerguimento do Domo de Pitanga nesta época. A Formação Rio Claro e outros depósitos de mesma época desenvolveram-se em uma paisagem onde já se encontrava desenvolvida a Depressão Periférica.

No contexto estrutural, essa evolução mesozóica da Bacia do Paraná e seu entorno reativou descontinuidades preexistentes no embasamento da bacia, de origem pré-cambriana/eopaleozóica, cujo movimento se propagou no pacote sedimentar e gerou grandes alinhamentos estruturais (Soares, 1991; Riccomini, 1995; Artur e Soares, 2002; Rostirolla et al. 2000). Estes alinhamentos configuram parte do arcabouço estrutural e, ao longo destes, é encontrada uma maior ocorrência de falhas, altos estruturais, diques e *sills* de diabásios.

o método de traço de fissão em apatita

A metodologia de análise de traços de fissão em apatita baseia-se na análise quantitativa de defeitos no retículo cristalino do mineral causados

pelo decaimento natural por fissão espontânea do isótopo ^{238}U (Price e Walker, 1962a, 1962b). Estes defeitos são chamados de traços latentes ou traços de fissão e são produzidos continuamente no mineral ao longo de sua história geológica.

O principal diferencial deste método está relacionado à propriedade dos traços gerados serem susceptíveis à temperatura. Quando submetidos a temperaturas superiores a 110°C , os cristais de apatita sofrem uma reorganização em sua estrutura cristalina na região dos traços resultando no apagamento total destes. No intervalo de temperatura entre 60°C e 110°C , os traços são gerados e encurtados lentamente (Wagner e Van Den Haute, 1992). Baseando-se em tal propriedade, a determinação da densidade de traços de fissão marca a idade em que a rocha resfriou abaixo de 110°C , enquanto a estatística das medidas dos comprimentos destes traços permite a modelagem de gráficos tempo *versus* temperatura (histórias térmicas).

As amostras utilizadas neste trabalho são provenientes da Supersequência Gondwana 1 (Milani, 1997). Foram coletadas três amostras no Alto estrutural de Pitanga, próximo à cidade de Piracicaba (SP), sendo que duas pertenciam ao Grupo Itararé, uma à Formação Irati e mais duas amostras do Grupo Itararé próximo à cidade de Americana (SP) (fig. 2).

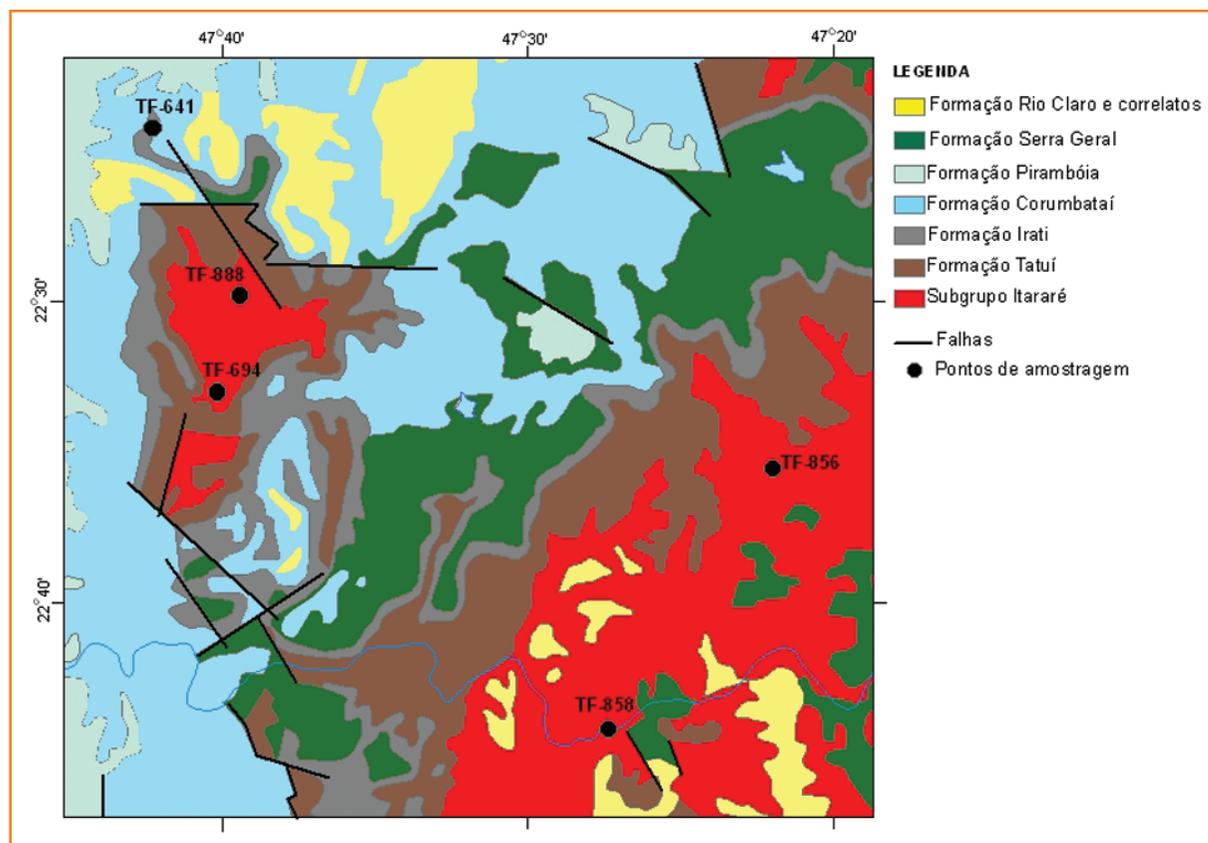


Figura 2
Mapa geológico da área de estudo com as localizações dos pontos amostrados (adaptado de Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2001).

Figure 2
Geological map of the study area, with the locations of sampling sites (modified from Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2001).

Cada amostra foi submetida a um tratamento constituído de etapas de britagem, peneiramento, bateagem, separação magnética, separação por densidade e separação em lupa para a obtenção dos cristais de apatita. Os grãos encontrados foram dispostos em resinas epóxi, posteriormente polidas e atacadas quimicamente em solução de HNO_3 7%, sob temperatura controlada de 20°C por 60 segundos para a revelação dos traços de fissão. Em seguida, foi acoplada a cada amostra uma lâmina de muscovita de baixo teor de urânio e submetidas à irradiação por nêutrons térmicos para a indução da fissão do ^{235}U , cujos traços formados foram detectados pelas lâminas de mica (detector externo). Vidros dopados de urânio (tipo CN1) foram irradiados simultaneamente com as amostras, sob o mesmo fluxo, para a dosimetria de nêutrons (lunes *et al.* 2002).

A análise microscópica foi feita segundo o método EDM (método do detector externo) em um microscópio dotado de platina automática nos três eixos de movimento controlada por computador cujo *software* específico permite a análise de um grão por vez, bem como do seu conjunto de traços induzidos marcados na mica.

As idades aparentes calculadas foram corrigidas pelo método que leva em conta a relação encurtamento *versus* redução da densidade dos traços descrito por Guedes *et al.* (2004). A modelagem das histórias térmicas foi realizada utilizando-se o programa HTA (Hadler Neto *et al.* 2001) que gera histórias térmicas cujos vértices inserem-se em caixas de Monte Carlo previamente definidas. Cada história térmica gerada tem a idade aparente e o histograma de comprimento de traços teóricos comparados à idade e aos histogramas experimentais. Para esta comparação, o programa utiliza o método estatístico do $P(\chi^2)$, onde o resultado aceitável está entre 5% e 95%, o que corresponde à compatibilidade entre os dados teóricos e os experimentais. Neste caso, o programa armazena a história gerada, caso contrário, o programa a descarta.

Neste ponto, torna-se importante o conhecimento geológico prévio da área ou o emprego de outras metodologias para uma melhor delimitação das caixas de Monte Carlo, pois os dados experimentais em questão podem aceitar mais de um conjunto de dados teóricos podendo, algumas vezes, serem antagônicos.

resultados

Para a modelagem da história térmica (Carter e Gallagher, 2004) em rochas sedimentares, inicialmente se faz necessária a verificação da homogeneidade dos resultados grão a grão, devido a estes grãos poderem provir de fontes distintas. Se os grãos não sofreram um aquecimento posterior à sedimentação, capaz de apagar total ou parcialmente seus traços herdados da rocha-fonte, a idade obtida terá relação com a exumação da rocha fonte (fig. 3). Por outro lado, se a bacia sofreu um aquecimento capaz de apagar os traços herdados, os novos traços registrarão a história térmica da bacia e a idade central indicará este evento térmico.

Diante da necessidade de se certificar que as amostras não apresentem herança de traços, em primeiro lugar aplicou-se o teste de $P(\chi^2)$ nos resultados de idade de cada amostra.

Como pode ser observado na tabela 1, todas as amostras possuem valores de $P(\chi^2)$ acima de 5% para as idades grão a grão podendo-se afirmar que todas elas possuem homogeneidade de seus dados. Esta homogeneidade permite considerar as idades calculadas para cada amostra como tendo significado estatístico.

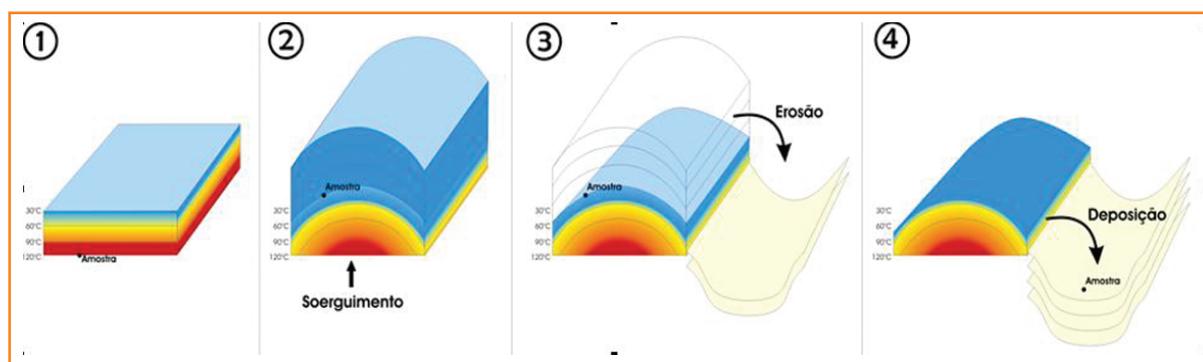
Em segundo lugar, a comparação das idades obtidas com a idade estratigráfica das unidades sedimentares amostradas permite atestar que as apatitas amostradas não possuem herança de traços formados durante o processo de exumação da rocha-fonte.

Figura 3

Modelo esquemático do processo de denudação pelo qual a amostra passa até ser depositada na bacia (adaptado de Bernet e Garver, 2005 apud Genaro, 2008).

Figure 3

Schematic model of denudation through which the sample passes until being deposited in the basin (modified from Bernet and Garver, 2005 apud Genaro, 2008).



Amostra	Unidade estratigráfica	N	Σs	Σi	$\chi^2(\%)$	L (μm)	Idade aparente (Ma)	Idade corrigida (Ma)	Fluência (10^{15}n/cm^2)
TF-641	Formação Irati	13	121	77	95	11,25	90 \pm 9	132,5 \pm 13,5	2,295 \pm 0,078
TF-694	Grupo Itararé	99	1.074	495	63	12,5	93 \pm 6	118 \pm 10	1,66 \pm 0,055
TF-888	Grupo Itararé	118	1.381	936	69	11,68	64 \pm 4	88 \pm 8	1,66 \pm 0,055
TF-856	Grupo Itararé	37	673	345	15,49	10,34	80 \pm 5	118 \pm 9	1,61 \pm 0,053
TF-858	Grupo Itararé	51	677	286	48,86	11,48	69 \pm 4	97 \pm 8	1,07 \pm 0,035

Tabela 1

Dados experimentais das amostras: número total de grãos analisados (N), teste de probabilidade de "qui" quadrado ($P(\chi^2)$), somatória de traços fósseis (Σs), somatória de traços induzidos (Σi), comprimento médio dos traços confinados em μm (L), idade aparente, idade corrigida e fluência de nêutrons.

Table 1

Experimental data of the samples: the total number of analyzed grains (N), probability test of $P(\chi^2)$, summed fossil tracks (Σs), summed induced tracks (Σi), average length of confined tracks in μm (L), apparent age, corrected age and fluency of neutrons.

Finalmente, pode-se constatar que as amostras analisadas indicaram um período de resfriamento " que se iniciou durante o Cretáceo (98-89 Ma) " posterior a um evento de aquecimento provavelmente relacionado ao magmatismo Serra Geral (133-118 Ma).

modelagem das histórias térmicas e correlação com os eventos geológicos

A interpretação da modelagem das histórias térmicas busca uma correlação entre os eventos térmicos nela deduzidos com os eventos geológicos conhecidos da área. Períodos de aquecimento e de resfriamento podem estar associados a diversos eventos geológicos tais como: subsidência, soterramento, alçamento ou aprofundamento das isoterms, magmatismo, alçamento estrutural, entre outros. O que é determinante na interpretação de um aquecimento ou de um resfriamento são os eventos geológicos previamente descritos. Para áreas de fronteira, onde pouco se conhece sobre os eventos geológicos sofridos, pode-se trabalhar com cenários distintos, aventando-se possíveis evoluções para a área estudada.

Na figura 4 são mostradas as curvas mais prováveis de cada história térmica, sendo que cada uma destas curvas representa uma evolução possível que gerou os dados experimentais da respectiva amostra.

As idades das amostras registram o início da retenção dos traços de fissão gerados em 132,5 Ma

para a amostra TF-641, 118 Ma para as amostras TF-694 e TF-856, 97 Ma para a amostra TF-858 e 88 Ma para a amostra TF-888 (Godoy, 2005; Fracalossi, 2007), indicando o tempo em que este nível crustal resfriou para temperaturas abaixo de 110°C.

As histórias térmicas de todas as amostras começam a partir de um apagamento total dos traços de fissão e tomam rumos distintos quando se comparam as amostras da área norte (Domo de Pitanga) com as amostras da área sul (externas ao domo). Devido às idades das amostras estarem próximas da idade do magmatismo Serra Geral, este apagamento total dos traços de fissão foi interpretado como produto do aquecimento regional produzido por esses derrames e intrusões. A partir das histórias térmicas da região do Domo de Pitanga (TF-641, TF-694 e TF-888), que se iniciam em temperaturas frias passando em seguida para um período de aquecimento, propõe-se que estes sedimentos encontravam-se em níveis crustais inferiores quando alcançaram temperaturas suficientes para que os traços fossem apagados. Com o resfriamento, os traços começam a ser gerados e, posteriormente, um período de aquecimento é registrado. Acredita-se que este aquecimento foi favorecido pela estruturação da área que facilitaria a chegada de um fluxo térmico mais quente proveniente de porções mais profundas da crosta. Esse aumento na permeabilidade térmica em decorrência do arcabouço estrutural no domo é destacado por Bernardes (2005). Algo semelhante foi obtido por Gomes e Hamza (2004), mostrando uma anomalia no gradiente geotérmico atual na região do domo. As taxas de resfriamento, obtidas nas histórias térmicas, sugerem uma influência tectônica, cujos falhamento e movimentação dos blocos que configuram o domo, provocaram uma exumação muito rápida resultando no resfriamento rápido observado (Godoy *et al.* 2006).

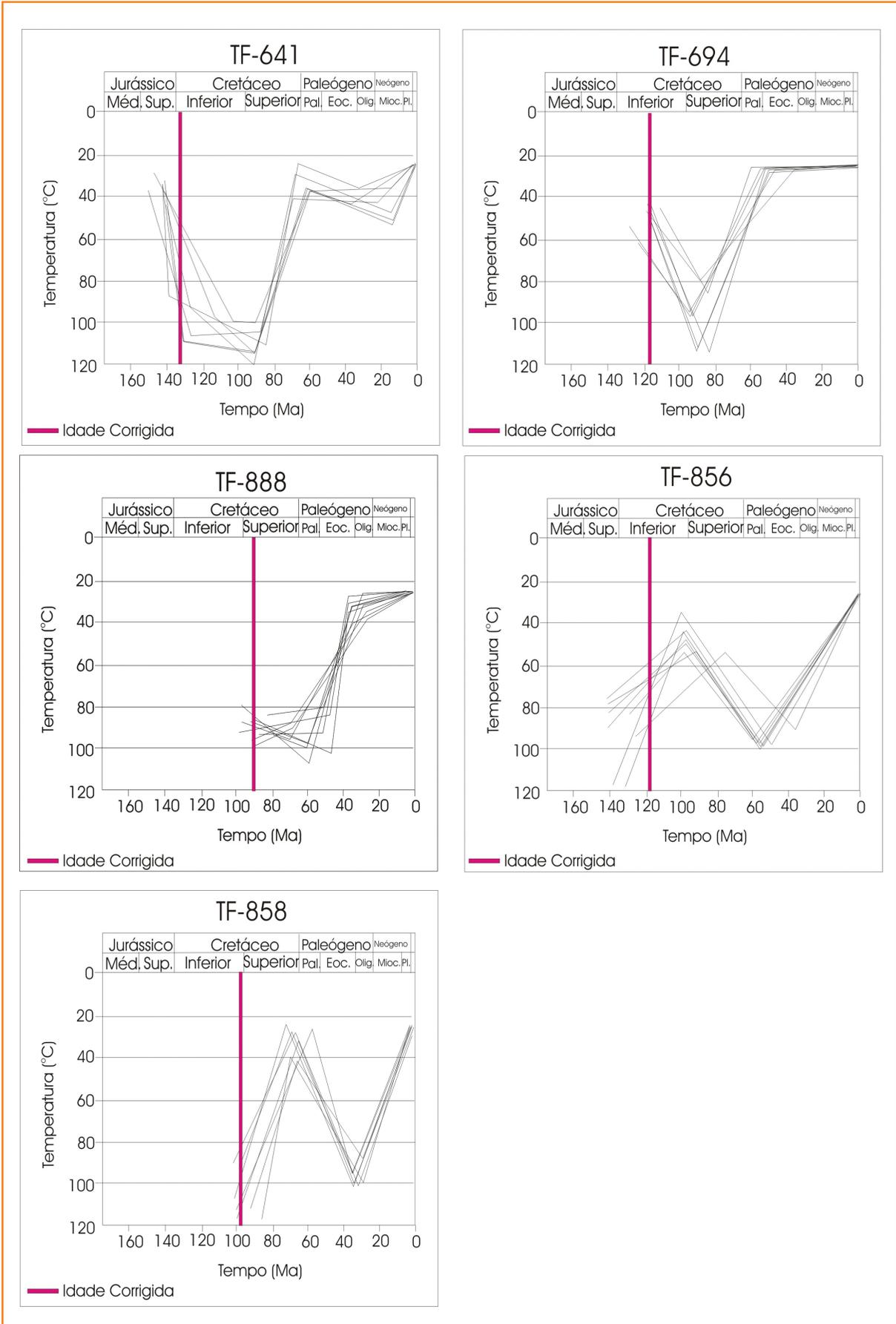


Figura 4
 Gráfico das histórias térmicas modeladas (Godoy, 2005; Fracalossi, 2007).

Figure 4
 Chart of thermal histories (Godoy, 2005; Fracalossi, 2007).

Para as amostras fora da área do domo (TF-856 e TF-858), as histórias térmicas iniciam-se a partir de temperaturas quentes seguindo para um período de resfriamento que pode estar relacionado ao soerguimento do embasamento cristalino na borda leste da bacia, datado a partir de traços de fissão em apatita em 120 Ma (Ribeiro *et al.* 2005). De acordo com Fernandes e Coimbra (1996) e Fernandes (1998), este soerguimento foi responsável pela erosão das bordas leste e nordeste da bacia e a topografia elevada permitiu a atuação como importante área fonte de sedimentos para a Bacia Bauru.

correlação dos eventos locais deduzidos com a evolução regional

Os resultados obtidos na área estudada mostram uma estreita relação temporal com os processos tectono-magmáticos ocorridos no sudeste brasileiro bem como com os processos sedimentares, como é o caso da deposição da Bacia Bauru que tem as rochas da Bacia do Paraná como embasamento. Desta forma, ao se correlacionar os resultados locais com a evolução regional fica claro que a tectônica ressurgente, associada aos eventos térmicos e registrada nos traços de fissão, influenciou na atual configuração do relevo, além de ter colaborado na deposição das unidades sedimentares suprabasálticas. Esta relação torna-se evidente quando se consideram trabalhos como de Riccomini

(1995) e Ribeiro *et al.* (2005), que identificam as diversas reativações de zonas de falhas presentes nas bordas leste e nordeste da bacia e em áreas adjacentes, relacionado-as aos diferentes períodos tectônicos ocorridos no sudeste brasileiro.

Os eventos térmicos e suas interpretações serão discutidos separadamente por período de atuação.

Cretáceo

As histórias térmicas das amostras iniciam-se durante o Cretáceo com o apagamento total dos traços de fissão atribuído ao magmatismo Serra Geral (fig. 4). As idades das amostras TF-641, TF-694, TF-856 e TF-858 são próximas às do magmatismo, enquanto a amostra TF-888 apresenta idade posterior, provavelmente relacionada ao soerguimento do embasamento na borda leste da bacia. A atuação do magmatismo como fonte de calor foi intensificada na área por meio da colocação de vários diques de diabásio que, ao preencher falhas preexistentes, iniciou um período de reativação destas estruturas (Sousa, 1997, 2002).

No início do Neocretáceo, a região do domo experimentou um pico de temperatura de cerca de 100°C, revertido posteriormente para um resfriamento registrado pelas histórias térmicas de TF-641 e TF-694, e atingindo temperatura ambiente no limite Cretáceo-Paleógeno, relacionando-se a uma possível reativação rúptil do domo (Godoy *et al.* 2006). Este resfriamento (fig. 5) coincide em tempo com o intervalo de deposição do Grupo Bauru e é também evidenciado na amostra TF-858 sugerindo um evento térmico regional relacionado a uma reativação provocada pelo soerguimento da borda leste da Bacia do Paraná juntamente com o Planalto Atlântico.

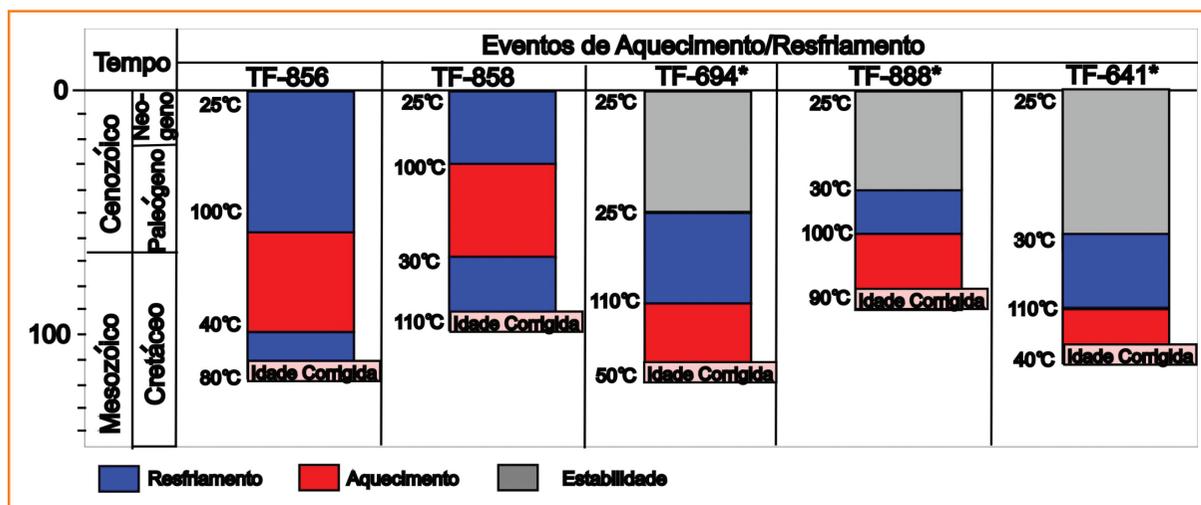


Figura 5
Comparação entre os eventos térmicos ocorridos na região do Domo de Pitanga e em sua área externa. (*) Amostras do Domo de Pitanga.

Figure 5
Comparison between the thermal events occurring in the Dome of Pitanga and in its external area. (*) Samples from Dome of Pitanga.

Em áreas cristalinas adjacentes à bacia, este período é marcado por um segundo período de soerguimento da Serra da Mantiqueira (Tello Sáenz *et al.* 2003) e pelos primeiros pulsos de soerguimento da Serra do Mar (Hackspacher *et al.* 2003), além da principal fase de magmatismo alcalino manifestada em vários pontos da borda da bacia com algumas ocorrências dentro desta. Tal processo de soerguimento da borda leste, em consequência do soerguimento do embasamento cristalino adjacente, é evidenciado pela idade de 88 Ma da amostra TF-888, que se encontrava aquecida até este período. Assim, este soerguimento pode ter contribuído para a geração de espaço de acomodação para os sedimentos da Bacia Bauru. Tais áreas estariam atuando como borda da Bacia Bauru, na forma de um relevo alto, aumentando o desnível entre o depocentro e a borda e fornecendo sedimentos.

Fernandes (1998), ao fazer uma revisão estratigráfica da porção oriental da Bacia Bauru, aponta as bordas leste e nordeste da Bacia do Paraná como principais áreas fontes para os sedimentos, fato que confirma um relevo elevado para a área na época. O Grupo Bauru seria, então, o pacote sedimentar correlativo do ciclo erosivo decorrente deste evento tectônico, corroborado pelas evidências geológicas descritas por Fernandes (1998); Almeida e Carneiro (1998); Zalán e Oliveira (2005) e pelos dados de análise de traços de fissão (Ribeiro *et al.* 2005; Godoy, 2005; Fracalossi, 2007).

Paleoceno

No Paleoceno, um período de aquecimento que culminou com uma máxima temperatura entre o Paleoceno/Eoceno foi registrado nas histórias térmicas das áreas externas ao domo. Na região do Domo de Pitanga (TF-641, TF-694, TF-888), Godoy (2005) verificou um resfriamento (TF-694 e TF-888) com soerguimento ou estabilidade térmica para o período que vai do início do Paleoceno ao final do Eoceno (fig. 5). Este resfriamento estaria relacionado às reativações rúpteis que geraram grande número de falhamentos e perda de calor na região do domo.

Na área externa (TF-856, TF-858), o aquecimento registrado para o mesmo período sugere que fluidos anteriormente confinados e aquecidos, devido ao aumento do gradiente geotérmico, migraram através de planos de falhas durante esta reativação tectônica. Bernardes (2005) descreve uma

paragênese hidrotermal nas rochas da Formação Corumbataí, na região de Rio Claro (SP), com idade ainda não definida, atribuindo estas reações químicas à atuação de calor, com temperaturas na ordem de 70°C a 90°C. Assumindo-se que os resfriamentos registrados nas histórias térmicas estariam ligados à tectônica rúptil, pode-se afirmar que a geração de estruturas foi mais marcante na região do domo durante o Paleoceno (fig. 4).

A tectônica paleogênica foi descrita por Fernandes (1998) como sendo a responsável por uma inversão da borda da Bacia Bauru propiciando a erosão das suas unidades. Este evento pode ter desencadeado também o avanço da erosão nas unidades paleozóicas da borda da Bacia do Paraná, culminando na formação da depressão periférica no Oligo-Mioceno.

Com relação a processos deposicionais, o período de resfriamento no Paleoceno pode ter como depósito correlativo os sedimentos da Formação Itaqueri. Apesar de todas as controvérsias existentes quanto à época de formação desta unidade, Riccomini (1995) conclui que a Formação Itaqueri – depositada discordantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e em parte sobre os arenitos da Formação Botucatu – foi formada entre o Paleoceno e o Eoceno, podendo ser o depósito correlativo da formação da Superfície Sul-americana de King (1956).

Eoceno/Presente

A partir do Eoceno, registra-se um período de estabilidade para as amostras da região do domo (TF-641, TF-694, TF-888) e um período de resfriamento (TF-856, TF-858) que segue até os dias atuais nas amostras da porção externa ao domo (figs. 4 e 5). Este resfriamento é regionalmente reconhecido e marca o último pulso de soerguimento da região. Segundo Melo (1995), este evento pode ter sido o responsável pelo fornecimento de material para a deposição da Formação Rio Claro com idade estimada para o Mioceno, já em um cenário onde a Depressão Periférica estaria instalada.

Quanto aos eventos neotectônicos descritos por Fernandes e Amaral (2002), no embasamento da borda leste da bacia, estes não são registrados nas análises de traços de fissão em apatitas devido às rochas já se encontrarem em um ambiente raso quando as reativações ocorreram. As diferenças térmicas que possam ter ocorrido em tais rochas não se encontravam

em um intervalo de temperatura no qual o método é capaz de registrar. Para isso, faz-se necessário o uso de metodologias que investiguem alterações térmicas em uma faixa de temperatura menor.

discussões

O presente estudo indica que a borda leste da Bacia do Paraná sofreu o reflexo da tectônica meso-cenozóica, possivelmente acompanhando o embasamento cristalino adjacente nos processos de soerguimento e erosão. Toda a história térmica relativa aos eventos tectônicos sofridos pela bacia teve reflexo nas rochas sedimentares paleozóicas que compõem a sua estratigrafia.

Os momentos térmicos mais importantes registrados pelas histórias térmicas no Eocretáceo, Neocretáceo e Paleoceno mostraram estreita relação temporal com a evolução da Plataforma Sul-americana no meso-cenozóico.

No Eocretáceo, a idade das amostras (entre 132 e 97 Ma) sugere estreita relação com o magmatismo Serra Geral. O resfriamento registrado para o Neocretáceo (85-65 Ma) – interpretado como uma possível relação com a reativação provocada pelo soerguimento da borda leste da Bacia do Paraná juntamente com o Planalto Atlântico – é marcado nas áreas cristalinas adjacentes à bacia por um segundo período de soerguimento da Serra da Mantiqueira e pelos primeiros pulsos de soerguimento da Serra do Mar, além da principal fase de magmatismo alcalino.

Para o Paleoceno, o resfriamento estaria relacionado às reativações rúpteis que geraram grande número de falhamentos e perda de calor na região do domo. Fernandes (1998) descreveu a tectônica paleogênica como sendo a responsável por uma inversão da borda da Bacia Bauru, propiciando a erosão das suas unidades e culminando na formação da depressão periférica no Oligo-Mioceno. Para o mesmo período, foram gerados, no sudeste brasileiro, corredores de grábens (riftes) paralelos à costa (Zalán e Oliveira, 2005), o chamado Sistema de Riftes do Sudeste do Brasil. Este trabalho de cunho local reforça que a aplicação do método em um âmbito regional poderia elucidar algumas dúvidas em relação a uma evolução tectonotermal mais abrangente. Uma ferramenta termocronológica com uma faixa de

temperatura menor, como é o caso da termocronologia por meio de análises de U-Th-He, contribuiria para o melhor entendimento da paisagem atual e viria complementar a evolução a partir do Oligoceno, igualmente importante na evolução da região.

agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao colega Gilmar Bueno pelos comentários construtivos sobre o tema; ao Laboratório de Geocronologia por Traço de Fissão do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro (IGCE/UNESP-RC); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro; e aos revisores.

referências bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, p. 15-26, 1976. Suplemento.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 135-150, 1998.

ARTUR, P. C.; SOARES, P. C. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 433-448, 2002.

BERNARDES, E. S. **Diagênese da Formação Corumbataí na Mina Partezani, Rio Claro – SP**. 2005. 127 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

CARTER, A.; GALLAGHER, K. **Characterizing the significance of provenance on the inference of thermal history models from apatite fission-track data: a synthetic data study**. Bolde: Geological Society of America, 2004. p. 7-23. (GSA Special Paper, 378).

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil:**

- sistema de informações geográficas – SIG: escala 1:2.500.000. Brasília: CPRM, 2001. 4 CD-ROM.
- FERNANDES, A. J.; AMARAL, G. Cenozoic tectonic events at the border of the Paraná Basin, São Paulo, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, New York, v. 14, n. 8, p. 911-931, 2002.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A. Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 195-205, 1996.
- FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- FRACALOSSI, C. P. **Uso da termocronologia por traços de fissão em apatita no reconhecimento de áreas de recarga e análises isotópicas de $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ em águas subterrâneas do aquífero Itararé**. 2007. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- FRANCO A. O. B.; HACKSPACHER P. C.; GODOY D. F.; RIBEIRO L. F. B.; GUEDES S. História térmica do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (SP/MP) e adjacências através da análise de datação por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 351-358, 2005.
- GENARO, D. T. **Contribuição ao conhecimento de processos atuantes no rifteamento continental, por traços de fissão em zircões e apatitas, aplicados no Rift Continental do Sudeste Brasileiro, bacias de Taubaté, Resende, Volta Redonda e circunvizinhanças**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, São Paulo, 2008.
- GODOY, D. F. **Termotectônica por traços de fissão em apatitas dos altos estruturais de Pitanga, Pau d’alho e Jibóia** – centro do estado de São Paulo. 2005. 74 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- GODOY, D. F.; HACKSPACHER, P. C.; GUEDES, S.; HADLER NETO, J. C. Reconhecimento da tectônica mesozóica-cenozóica na borda leste da Bacia do Paraná através da aplicação de traços de fissão em apatitas no Domo de Pitanga (sudoeste de Rio Claro, SP). **Geociências**, v. 25, n. 1, p. 151-164, 2006.
- GOMES, A. J. L.; HAMZA, V. M. Mapeamento de gradientes geotérmicos do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOFÍSICA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 1., 2004, São Paulo. **Resumos expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2004, 1 CD-ROM.
- GUEDES, S.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; TELLO SÁENZ, C. A. Kinetic model for the relationship between confined fission-track length shortening and fission-track age reduction in minerals. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research: Section B**, v. 217, n. 4, p. 627-636, jun. 2004.
- HACKSPACHER, P. C.; RIBEIRO, L. F. B.; RIBEIRO, M. C. S.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; TELLO SÁENZ, C. A. A origem da Serra do Mar: termocronologia por traços de fissão em apatita. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 9., 2003, Búzios (RJ). **Resumos expandidos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003, p. 384-386.
- HACKSPACHER P. C.; RIBEIRO L. F. B.; RIBEIRO M. C. S.; FETTER A. H.; HADLER NETO J. C.; TELLO SÁENZ, C. A.; DANTAS E. L. Consolidation and break: up of the South American platform in southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. **Gondwana Research**, Kochi, v. 7, n. 1, p. 91-101, 2004.
- HACKSPACHER, P. C.; GODOY, D. F.; RIBEIRO, L. F. B.; HADLER NETO, J. C.; FRANCO, A. O. B. Modelagem térmica e geomorfologia da borda sul do Cráton do São Francisco: termocronologia por traços de fissão em apatita. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 76-86, 2007.
- HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; PAULO, S. R.; TELLO SÁENZ, C. A.; BALESTRIERI, M. L.; BIGAZZI, G.; CURVO, E. A. C.; HACKSPACHER, P. C. A PC compatible Brazilian software for obtaining thermal histories using apatite fission track analysis. **Radiation Measurements**, v. 34, p. 149-154, 2001.
- HASUI, Y.; HARALYI, N. L. E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Parnaíba. **Geociências**, São Paulo, v. 10, p. 57-77, 1991.
- IUNES, P. J.; HADLER NETO, J. C.; BIGAZZI, G.; TELLO SÁENZ, C. A.; GUEDES, S. O.; PAULO, S. R. Durango apatite fission track dating using length-based age corrections and nêutron fluence measurements by

natural thorium thin films and natural U-doped glasses calibrated through natural uranium thin films. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 187, n. 3-4, p. 201-211, 2002.

KING, L. C. A. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: MONTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Coord.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 245-263, 2004.

MELO, M. S. **A formação Rio Claro e depósitos associados – sedimentação neocenoica na Depressão Periférica Paulista**. 1995. 144 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MELO, M. S.; COIMBRA, A. M.; CUCHIERATO, G. Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, Neocenoico da Depressão Periférica Paulista. **Revista IG**, São Paulo, v. 18, n. 1/2, p. 49-63, 1997.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 255 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

PRICE, B. P.; WALKER, R. M. A new detector for heavy particle studies. **Physics Letters**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 113-115, 15 Dec. 1962.

PRICE, B. P.; WALKER, R. M. Observations of charged-particle tracks in solids. **Journal of Applied Physics**, Melville, v. 33, n. 12, p. 3400-3406, Dec. 1962.

RIBEIRO, L. F. B. **Morfotectônica da região centro leste do estado de São Paulo e adjacências de Minas Gerais: termocronologia e paleotensões**. 2003. 195 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

RIBEIRO, L. F. B.; HACKSPACHER, P. C.; RIBEIRO, M. C. S.; HADLER NETO, J. C.; TELLO, S. C. A.; IUNES, P. J.; FRANCO, A. O. B.; GODOY, D. F. Thermotectonic and fault dynamic analysis of precambrian basement and tectonic with the Paraná

Basin. **Radiation Measurements**, Amsterdam, v. 39, n. 6, p. 669-673, Dec. 2005.

RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção centro-leste do estado de São Paulo. **Revista IG**, São Paulo, v. 18, n. 1/2, p. 41-48, jan./dez. 1997.

RICCOMINI, C. **O rift continental do sudeste do Brasil**. 1989. 256 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do estado de São Paulo e áreas vizinhas**. 1995. 100 p. Trabalho apresentado para obtenção de livre docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

ROSTIROLLA, S. R.; ASSINE, M. L.; FERNANDES, L. A.; ARTUR, P. C. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – o exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 639-648, 2000.

SOARES, P. C. **Tectônica sin-sedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles**. 1991. Trabalho apresentado para cargo de professor titular, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

SOUSA, M. O. L. **Caracterização estrutural do Domo de Pitanga – SP**. 1997. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

SOUSA, M. O. L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d'Álho e Jibóia: centro do estado de São Paulo**. 2002. 206 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

TELLO SÁENZ, C. A.; HACKSPACHER, P. C.; HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; GUEDES, S. O.; RIBEIRO, L. F. B.; PAULO, S. R. Recognition of Cretaceous, Paleocene and Neogene tectonic reactivation through apatite fission track analysis in Precambrian areas of Southeast Brazil: association with the opening of the South Atlantic Ocean. **Journal of South American Earth Science**, New York, v. 15, n. 7, p. 765-774, Jan. 2003.

WAGNER, G.; VAN DEN HAUTE, P. **Fission Track Dating**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1992. 285 p.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha de Rio Claro**. 1994. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Coord.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 245-263, 2004.

ZALÁN, P. V. Origem e evolução estrutural do sistema de riftes cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269-300, 2005.

Bibliografia

DUNKL, I. The additional parameters: a short introduction to the data handling with trackkey 4.1. **On Track**, v. 11, n. 1, p. 19-22, 2001.

DUNKL, I. Trackkey: a Windows program for calculation and graphical presentation of fission track data. **Computers and Geosciences**, New York, v. 28, n. 1, p. 3-12, 2002.

GALBRAITH, R. F.; LASLETT, G. M. Statistical models for mixed fission track ages. **International Journal of Radiation Applications and Instrumentation**. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements, v. 21, n. 4, p. 459-470, Oct. 1993.

GREEN, P. F.; DUDDY, I. R.; GLEADOW, A. J. W.; TINGATE, P. R.; LASLETT, G. M. Fission track annealing in apatite: track length measurements and the form of the Arrhenius plot. **Nuclear Tracks and Radiation Measurements**, v. 10, n. 3, p. 323-328, 1985.

GUEDES, S.; HADLER N. J. C.; IUNES, P. J.; ZUÑIGA, A.; TELLO S. C. A.; PAULO, S. R. The use of the U(n,f) reaction dosimetry in the determination of the δf value through fission-track techniques. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research: Section A**, v. 496, n. 1, p. 215-221, Jan. 2003.

HADLER NETO, J. C.; IUNES, P. J.; PAULO, S. R.; TELLO SAENZ, C. A. S.; BALESTRIERI, M. L.; BIGAZZI, G.; CURVO, E. A. C.; HACKSPACHER, P. C. A PC compatible Brazilian software for obtaining thermal histories using apatite fission track analysis. **Radiation Measurements**, Amsterdam, v. 34, n. 1-6, p. 149-154, Jun. 2001.

OSMOND, J. K.; KAUFMAN, M. I.; COWART, J. B. Mixing volume calculations, sources and aging trends of Floridan aquifer water by uranium isotopic methods. **Geochimica Cosmochimica Acta**, v. 38, n. 7, p. 1083-1100, Jul. 1974.

expanded abstract

In the last years, the description of tectonic, magmatic and geomorphologic processes occurred after the opening of the Southern part in the Atlantic Ocean have been a source of a number of studies on the crystalline portions in the Southeast Region of Brazil.

Fission tracks have been demonstrating that the tectonic-magmatic processes which took place in the Meso-Neozoic had magnitude enough to modify the structural framework in the shallow portions of the earth crust and to influence on the reactivation of the preexisting structural framework and in the geomorphological evolution in that region.

Structures presents in the crystalline portions show continuity to the inner part of Paraná Basin, making it clear the influence of reactivation of structures in the basement of the sedimentary package.

This paper presents the results of a local study, carried out in the Northern part of Paraná Basin, which uses the employment of the apatite fission tracks method, with the purpose of observing the influence of tectonic processes registered in the basement, near the border of the basin.

Among the tectonic events described in the basement of the basin, there can be highlighted:

- I) Jurassic-Eocretaceous: Related to the opening in the Southern Atlantic Ocean itself and later to the uplift of Serra da Mantiqueira;*
- II) Neocretaceous: Tectonic-magmatic reactivation which gave rise to the alkaline massif in the Southeast and the uplifting of Arco de Goiânia;*
- III) Cenozoic: processes related to the taphrogenesis of the Southeast.*

In parallel to this evolution, it is observed in Paraná Basin:

- I) General Ridge Magmatism;*
- II) Deposal of Bauru Group and event of alkaline magmatism;*
- III) Deposal of isolated sedimentary units.*

The interpretation of the modeling in the thermal histories searched for the correlation between thermal events deducted thereof with the geological events

known in the area. The samples showed homogeneity in the values of $P(\chi^2)$ and do not present legacy of tracks formed during the process of exhumation of the source rock. The thermal histories in all samples started from a total erasure of fission tracks and have taken different routes when compared to the samples in the Northern (Pitanga Dome, Paraná Basin) with the samples in the Southern area (external to the dome). The ages registered the beginning of withholding of tracks generated in 132.5 Ma (TF-641), 118 Ma (TF-694 and TF-856), 97 Ma (TF-858) and 88 Ma (TF-888).

Due to the fact that the ages of the samples are close to the Serra Geral magmatism age, this total erasure of fission tracks was construed as a result of the regional warming produced by flows and intrusions.

Results obtained in the studies area demonstrate a close time relation with the tectonic-magmatic processes occurred in the Brazilian Southeast as well as in the sedimentary processes, as it is the case of the deposal in Bauru Basin which has rocks from Paraná Basin as basement. Therefore, when correlating local results with the regional evolution, it is clear that the resurgent tectonic, associated to thermal events and registered in the fission tracks, has influenced the current configuration of the relief, besides cooperating for the deposal of the suprabasaltic sedimentary units.

The cooling registered in the thermal histories of the samples TF-641 and TF-694 during the Cretaceous-Paleogene limit may be related to a possible breaking reactivation of the Pitanga Dome. This cooling coincides in time with the deposal interval of Bauru Group and is also evidenced in sample TF-858 suggesting a regional thermal event related to a reactivation caused by the uplifting of the East border of Paraná Basin together with the Atlantic Plateau. In crystalline areas adjacent to the basin, this period is marked by a second uplifting period of Serra da Mantiqueira and by the first uplifting pulses of Serra do Mar, besides the alkaline magmatism main phase, expressed in several points in the border of the basin with some events within the same. Therefore, this uplifting may have contributed for the generation of accommodation space for the sediment in Bauru Basin.

At the Paleocene, a heating period which resulted in the maximum temperature between the Paleocene/Eocene was registered in the thermal histories of the external area to the dome. The Pitanga Dome region (TF-641, TF-694, TF-888) is

marked by cooling (TF-694 and TF-888) with uplifting or thermal stability for the period which ranges from the beginning of the Paleocene to the end of the Eocene. This cooling would be related to breaking reactivations which generated a great number of failures and loss of heat in the region of the dome, whereas the heating registered in the external area (TF-856, TF-858), for the same period, suggests that the fluids previously confined and heated, due to the increase of the geothermal gradient, have migrated by means of fault planes during this tectonic reactivation.

From the Eocene, it is registered a period of stability for the samples in the region of the dome (TF-641, TF-694, TF-888) and a cooling period (TF-856, TF-858) which continues until current days in the samples of the external portions of the dome. This cooling is regionally known and marks the last uplifting pulse in the region.

Based on said results, this paper indicates that the East border of Paraná Basin has suffered the reflex of the tectonic meso-cenozoic, possibly followed by the adjacent crystalline basement in the uplifting and erosion processes. The whole thermal history related to the tectonic events suffered by the basin represented a reflex on the Paleozoic sedimentary rocks which comprise its stratigraphy. This study, with local nature, emphasizes that the employment of the method in a regional scope could clarify some doubts regarding a more comprehensive tectonothermal evolution.