

Reconstituição de eventos geomorfológicos no Quadrilátero Ferrífero/MG a partir de registros deposicionais fluviais: a bacia do rio Paraopeba

Reconstitution of geomorphological events in the Quadrilátero Ferrífero/MG from depositional fluvial records: the Paraopeba river basin

Luiz Fernando de Paula Barros^{ab}, Antônio Pereira Magalhães Junior^{ac}

^aDepartamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais

^bluizfpbarros@yahoo.com.br, ^cantonio.magalhaes.ufmg@gmail.com

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero é um marcante conjunto serrano do estado de Minas Gerais. Visando aprofundar a compreensão da geomorfologia regional, diversos levantamentos de níveis e sucessões deposicionais fluviais foram empreendidos na área nas últimas décadas, porém faltam estudos mais regionalizados. A partir de novos dados e da releitura em campo da literatura sobre o tema na área de estudo, este trabalho discute o quadro de níveis e sucessões deposicionais fluviais da bacia do Rio Paraopeba, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero. Os níveis deposicionais fluviais foram datados entre 8-45 ka por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), permitindo o estabelecimento de um primeiro conjunto de datações absolutas para a área. Em geral, os níveis são dos tipos escalonado e pareado e, portanto, configuram-se como importantes marcadores dos ritmos da tectônica quaternária na região, também responsável pelo alçamento tectônico pós-deposicional de alguns registros. As datações por LOE permitem a associação de diferentes níveis fluviais com oscilações climáticas. Porém, a despeito do verificado em outras bacias no contexto do Quadrilátero Ferrífero, não se verificam espessas couraças ferruginosas nas sucessões fluviais, provavelmente devido ao contexto geológico, com predomínio de rochas do embasamento cristalino (gnaisses, granitoides e migmatitos).

Palavras-chave: luminescência opticamente estimulada; neotectônica; oscilações climáticas.

Abstract

The Quadrilátero Ferrífero is a remarkable mountainous domain in the Minas Gerais State, Southeastern Brazil. Aiming to improve the knowledge of the regional geomorphology, various surveys on river levels and fluvial successions were undertaken in recent decades. However, there is a lack of more regionalized analyzes. Based on new surveys and rereading of data in the literature about the area, this paper discusses the river levels and fluvial successions of the upper Paraopeba river basin. This river catchment contains the drainage of the western part of the Quadrilátero Ferrífero. The fluvial levels were dated between 8-45 ka using Optically Stimulated Luminescence (OSL) what allowed the establishment of the first set of absolute ages to the area. Most of these levels are paired and cut-in-bedrock, revealing the rhythm of fluvial downcutting in response to the regional uplift which was also responsible for the tectonic rising of some registers. The OSL dating allowed the association of some fluvial levels with climatic oscillations. However, there are no thick duricrusts in the fluvial successions, despite of the verified in other basins in the context of the Quadrilátero Ferrífero. Probably it occurs due to the geological context with predominance of rocks from the crystalline basement (gneisses, granitoids and migmatites).

Key-words: optically stimulated luminescence; neotectonics; climatic oscillations.

1. Introdução

A construção de planícies de inundação ocorre sob diferentes regimes hidrossedimentológicos, condicionados pelo contexto litoestrutural, tectônico e bioclimático, bem como variáveis internas e interferências humanas. O abandono das planícies de inundação – formando terraços fluviais – está estreitamente relacionado a uma quebra do arranjo entre esses fatores condicionantes (Leopold *et al.* 1964, Schumm 1977, Ritter *et al.* 2002, Bridgland 2003, Jacobson *et al.* 2003). Caso um contexto favorável à sedimentação

seja reestabelecido, uma nova planície de inundação pode ser formada em acordo com as condições dominantes para a produção de água e sedimentos na bacia hidrográfica. Assim, os depósitos fluviais são de grande interesse para investigações sobre a evolução quaternária da paisagem, especialmente quando sua cronologia é bem estabelecida (Bridgland & Westaway, 2014).

De acordo com Sallun *et al.* (2007), existem mais de 40 técnicas aplicáveis à datação de materiais associados a eventos do Quaternário. No entanto, devido a restrições

metodológicas, poucas técnicas de datação absoluta são aplicáveis em regiões serranas tropicais úmidas, como o Quadrilátero Ferrífero. Isso ocorre, por exemplo, em razão da ausência de acumulações orgânicas nos depósitos mais antigos e da intensidade dos processos morfodinâmicos (erosão, movimentos de massa) nas encostas.

Uma das técnicas mais adequadas ao contexto regional é a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). Esta técnica de datação fornece a idade da última estabilização do depósito e, por isso, a coleta de amostras deve ser feita em depósitos relativamente bem preservados e ao abrigo de luz (Burbank & Anderson 2001, Jain *et al.* 2004, Sallun *et al.* 2007, Rittenour 2008). Novos desenvolvimentos em instrumentação e novos protocolos analíticos têm dado maior confiabilidade à técnica, diminuindo as incertezas. O protocolo SAR (*single aliquot regenerative-dose*) permitiu grandes avanços, permitindo identificar e isolar dados distorcidos (Rittenour 2008). No âmbito internacional, no entanto, técnicas ainda mais precisas vêm sendo aplicadas, como a de análise de grãos individuais (Duller, 2008), bem como a aplicação da luz violeta para estimular armadilhas mais profundas da estrutura do cristal de quartzo (Ankjærgaard *et al.*, 2016). Şahiner *et al.* (2017) utilizaram uma combinação das técnicas de Termoluminescência (TL) e LOE para investigar o sinal armazenado em armadilhas muito profundas, permitindo datar sedimentos depositados além do limite convencional da LOE.

Situado na borda sudeste do Cráton Brasileiro São Francisco, no centro sul do estado de Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero é um dos mais marcantes conjuntos serranos do sudeste do Brasil. Diante da importância do trabalho fluvial para a geomorfogênese regional e visando aprofundar a compreensão de eventos do Cenozoico Superior, diversos levantamentos de níveis e sucessões deposicionais fluviais foram empreendidos no Quadrilátero Ferrífero nas últimas décadas (Valadão & Silveira 1992, Magalhães Jr. & Saadi 1994, Marques 1997, Moreira 1997, Bacellar *et al.* 2005, Raposo *et al.* 2008, Cherem *et al.* 2008, Rossi 2008, Costa *et al.* 2010, Lana & Castro 2010, Magalhães Jr. *et al.* 2011, 2012, Barros & Magalhães Jr. 2013). A despeito do relativo grande número de trabalhos realizados, esses estudos são de caráter local. Além disso, muitos deles não apresentam dados absolutos da idade dos depósitos, o que se torna um obstáculo para a construção do quadro regional.

A partir de novos dados e da releitura em campo da literatura sobre o quadro de níveis e sucessões deposicionais fluviais da bacia do Rio Paraopeba, este trabalho busca reconstituir eventos geomorfológicos atuantes na morfogênese da porção oeste do Quadrilátero Ferrífero. Desse modo, procura-se dar um primeiro passo para a compreensão dos eventos geomorfofogenéticos responsáveis pela esculturação do relevo nesse importante domínio geológico-geomorfológico do Brasil.

2. A área de estudo

O Quadrilátero Ferrífero se estende por uma área de aproximadamente 7.000 km², drenada em sua porção oeste e central por afluentes da bacia hidrográfica do Rio São Francisco (sub-bacias do alto-médio Rio Paraopeba e alto Rio das Velhas, respectivamente) e em sua porção leste por afluentes da bacia do alto Rio Doce. As altitudes variam de cerca de 650-800 m no entorno a mais 2.000 m no topo da Serra do Caraça, na borda leste do domínio.

O traçado dos cursos d'água revela comum adaptação às fraturas impressas nas rochas e os vales são, em geral, profundamente encaixados e estreitos, podendo a diferença de altitude entre os interflúvios e os talwegues ultrapassar centenas de metros (Medina *et al.* 2005).

Nas porções oeste e central, a rede hidrográfica tem sentido predominante sul-norte, respondendo a uma antiga combinação de soerguimento da borda sul do Cráton São Francisco/subsidência da bacia do Grupo Bambuí (Medina *et al.* 2005). Neste estudo são apresentados os resultados obtidos com a investigação nos vales dos rios Paraopeba, Serra Azul e Mateus Leme (figura 1).

Os estudos sobre a evolução do modelado do Quadrilátero Ferrífero destacam a tectônica, o papel das estruturas regionais e da desnudação diferencial (King 1956, Barbosa & Rodrigues 1967, Maxwell 1972, Dorr 1969, Varajão 1991, Alkmim & Marshak 1998, Salgado *et al.* 2008), resultado de uma rica e complexa geologia, que pode ser dividida em: (i) Complexos cristalinos (gnaisse, migmatitos e granitóides) que ocorrem em domos (Bação, Bonfim, Caeté, Santa Rita, Belo Horizonte, Florestal e Itaúna) circundando todo o domínio e no interior do mesmo, como uma janela estrutural; (ii) Supergrupo Rio das Velhas (principalmente, xistos e filitos), marcado por uma sequência tipo *greenstone belt* cuja base vulcânica foi datada em 2,76 Ga (Hartmann *et al.* 2006); (iii) Supergrupo Minas (principalmente itabiritos e quartzitos), uma unidade metassedimentar de idade proterozoica (2,58 a 2,04 Ga – Hartmann *et al.* 2006) com formações ferríferas bandadas que são adotadas como critério de delimitação do Quadrilátero Ferrífero (Alkmim & Marshak 1998); (iv) Grupo Itacolomi, também de idade proterozoica, constituído basicamente por quartzitos de origem fluvial, com até 2,06 Ga (Machado *et al.* 1996).

Quanto aos registros cenozoicos, destacam-se as bacias de Fonseca, Gandarela e Gongo Soco (Sgarbi *et al.* 1992, Saadi *et al.* 1992, Sant'Anna *et al.* 1997), além de pequenas bacias sedimentares que ocorrem de forma isolada e contêm registros do Eo-Oligoceno ao Mioceno Superior (Lipski 2002). Ocorrem ainda cangas (couraças ferruginosas), em formação desde o Eoceno (Monteiro *et al.* 2014), e depósitos coluvionares isolados.

A região apresenta importante atividade tectônica cenozoica, muito relacionada à rica matriz estrutural

herdada do Pré-Cambriano. O Quadrilátero Ferrífero possui a segunda maior dentre as anomalias geoidais positivas do Brasil (+8 m), geralmente bem correlacionadas com áreas soerguidas, com atividade neotectônica e sísmica (Ussami *et al.* 1999). Vários indícios e evidências de movimentação tectônica cenozoica são observados na região (Saadi 1991, Magalhães Jr. & Saadi 1994, Marques 1997, Sant'Anna *et al.* 1997, Lipski 2002, Figueiredo *et al.* 2004, Bacellar *et al.* 2005, Medina *et al.* 2005, Campos 2006, Salgado *et al.* 2007, Varajão *et al.* 2009, Lana & Castro 2010, Magalhães Jr. *et al.* 2011, Barros & Magalhães Jr. 2013). Trata-se da formação e fechamento de pequenas bacias de sedimentação colúvio-aluvial, deformação e falhamento de depósitos sedimentares (eocênicos, neogênicos e quaternários), basculamentos, além de diversas evidências de uma intensa dissecação do relevo, como a ocorrência de gargantas epigênicas e capturas de drenagem.

Em relação ao quadro bioclimático, as investigações empreendidas no Quadrilátero Ferrífero e em seu entorno revelam uma considerável flutuação durante o Quaternário Superior (Oliveira 1992, Behling & Lichte 1997, Parizzi *et al.* 1998, Araújo *et al.* 2005, Gomes *et al.* 2009). Atualmente, o clima regional é, em geral, marcado por um período de precipitação elevada, de outubro a março, e outro de estiagem, entre abril e setembro. As médias anuais de precipitação estão entre 1.000-1.500 mm e as de temperatura variam entre 19-22°C (SEA 1980). A região marca a transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica, apresentando grande diversidade e complexidade estrutural de ambientes e tipos fitofisionômicos, com destaque para as matas de galeria, florestas semidecíduais, matas de candeia, cerrado, campos rupestres e de altitude (Carvalho Filho *et al.* 2010, Guarçoni *et al.* 2010, Lamounier *et al.* 2010).

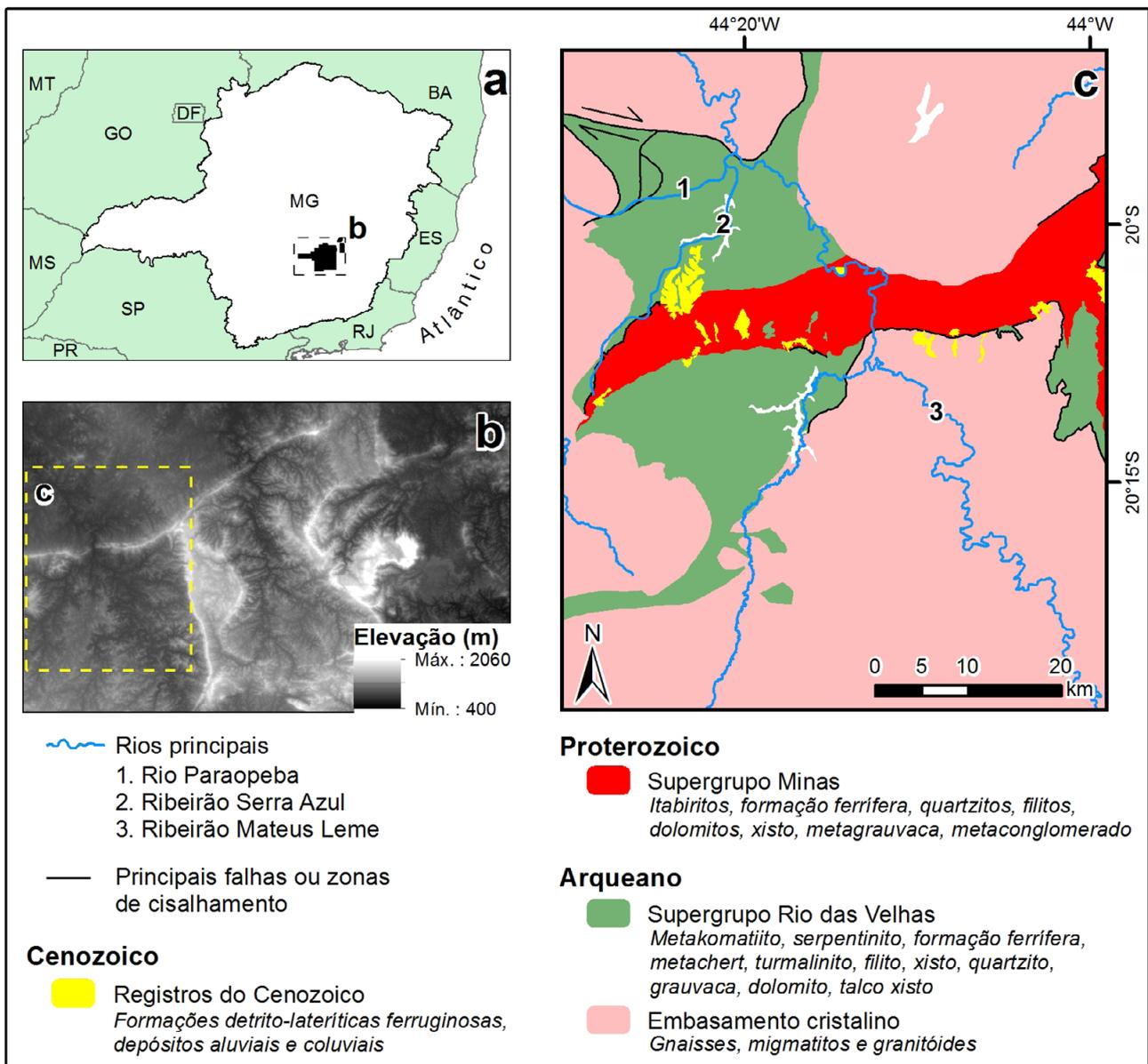


Figura 1: (a) Localização da área no estado de Minas Gerais, (b) Croqui hipsométrico regional, (c) Mapa geológico simplificado da área investigada.

3. Metodologia

Foi feita extensa revisão da literatura sobre níveis e sucessões deposicionais fluviais no Quadrilátero Ferrífero e a releitura desses trabalhos em campo, a fim de relacionar as informações e de reinterpretá-las à luz do conjunto. Além disso, a partir de análises em gabinete, foram selecionadas novas áreas favoráveis à investigação em campo, tendo por base imagens de satélite e cartas topográficas. Foram observadas rupturas na morfologia das vertentes, as quais poderiam denunciar a presença de acumulações sedimentares, e quaisquer cortes que proporcionassem exposições de perfis da subsuperfície, como em estradas ao longo dos vales.

Nas campanhas de campo foram levantados dados de depósitos fluviais a partir de seções verticais e da observação do seu contexto espacial. Foram destacadas: a tipologia do nível deposicional (escalonado, embutido, encaixado, de preenchimento, pareado, isolado – [Suguio & Bigarella 1979](#), [Christofoletti 1981](#), [Summerfield 1991](#), [Easterbrook 1999](#)); a altitude e a posição dos depósitos em relação aos cursos fluviais atuais (altura da base do perfil estimada em campo e/ou cartas topográficas); composição granulométrica, espessura e organização de fácies sedimentares, incluindo o tipo de transição entre as mesmas (abrupta ou gradual). Nas camadas de cascalho foi determinado o predomínio ou não de matriz, além do tamanho médio, litologia e grau de arredondamento dos clastos. Observou-se ainda a presença de estruturas sedimentares, cimentação, matéria orgânica e bioturbação.

Os níveis deposicionais de cada vale foram identificados, sobretudo, pela relação dos dados de altura e composição estratigráfica dos depósitos. Foram feitas representações da organização desses níveis em seções transversais aos vales, além de perfis estratigráficos de síntese. Estes perfis devem ser compreendidos como um sumário de todas as seções relativas ao nível deposicional, não representando uma seção-tipo, ou seja, uma reprodução fiel do perfil sedimentar mais significativo. Desse modo, os perfis-síntese não podem ser situados exatamente, pois refletem uma superposição de dados.

Algumas sucessões deposicionais representativas foram amostradas para a datação dos sedimentos por LOE. A seleção de depósitos para datação foi limitada pela disponibilidade de camadas relativamente homogêneas, com pelo menos 10 cm e com abundância de areia quartzosa, evitando-se fácies com presença

marcante de argila/silte, o que poderia indicar uma deposição sob alta turbidez, favorecendo o *partial bleaching*, logo, a ocorrência de erros nas datações. Foram coletadas amostras ao abrigo de luz, utilizando-se sacos pretos e tubos de PVC (5x30 cm). Estes foram inseridos nos perfis horizontalmente, por percussão, coletando-se amostras em camadas arenosas mais próximas da base das sucessões deposicionais. Todas as amostras foram acondicionadas e devidamente embaladas de forma que ficassem ao abrigo da luz no envio. As amostras foram enviadas ao laboratório Datação, Comércio e Prestação de Serviços Ltda., em São Paulo, onde foram preparadas e analisadas para a extração de sua idade absoluta. No laboratório, os tubos foram abertos em ambiente de luz vermelha. Na sequência, os sedimentos passaram por tratamento químico com H₂O₂ (20%), HF (20%) e HCl (10%). Posteriormente, as amostras foram secas e peneiradas, separando partículas na faixa de 100-160 µm (100-60 Tyler). As amostras foram analisadas pelo método SAR, no qual apenas uma alíquota (~7 mg) é utilizada na medida do sinal natural de LOE e nas diversas etapas de irradiação para a construção da curva de calibração. Foram analisadas cinco alíquotas, ou seja, foram feitas cinco curvas de calibração e encontradas cinco idades, para se tirar uma média. O detalhamento da metodologia pode ser encontrado no sítio eletrônico do laboratório (<http://www.datacao.com.br/>).

4. Resultados

Os remanescentes de níveis fluviais analisados são de pequena dimensão e restritos lateralmente, além de localizados em zonas descontínuas de acumulação ao longo dos vales. Exceto os mais recentes, quase sempre os níveis fluviais se encontram descaracterizados morfologicamente por intensos processos bio-pedogeomorfológicos. Desse modo, os registros fora do contexto de fundo de vale só podem ser notados em perfis expostos.

A despeito disso, os registros deposicionais levantados permitem a constatação de indícios e evidências de um relevo dinâmico e de uma paisagem fluvial significativamente jovem. A síntese dos dados levantados na bacia do alto-médio Rio Paraopeba pode ser observada na tabela 1 e os dados detalhados das datações por LOE na tabela 2.

Em linhas gerais, a organização e caracterização dos níveis e sucessões sedimentares da bacia do alto-médio Rio Paraopeba neste trabalho seguem as propostas de [Marques \(1997\)](#) e [Moreira \(1997\)](#).

Tabela 1: Síntese dos níveis deposicionais fluviais da bacia do Rio Paraopeba.

| Curso d'água | Nível deposicional | Tipologia | Altura (m) |
|------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Rio Paraopeba | Nível 5 – N5 | Escalonado e pareado | 60-80 |
| | Nível 4 – N4 | Escalonado e pareado | 40 |
| | Nível 3 – N3 | Escalonado e pareado | 20 |
| | Nível 2 – N2 | Escalonado e pareado | 10 |
| | Nível 1 – N1 | Escalonado e pareado | 0 |
| Ribeirões Serra Azul e Mateus Leme | Nível 6 – N6 | Escalonado e isolado | 100 |
| | Nível 5 – N5 | Escalonado e isolado | 60-80 |
| | Nível 4 – N4 | Escalonado e pareado | 35-40 |
| | Nível 3 – N3 | Escalonado e pareado | 20-25 |
| | Nível 2 – N2 | Escalonado e pareado | 10-15 |
| | Nível 1 – N1 | Escalonado e pareado | 0 |

Tabela 2 – Concentrações de Th, U e K, doses anual e acumulada e idade de cada amostra.

| Nível fluvial | Th (ppm) | U (ppm) | K (%) | Dose anual ($\mu\text{Ga}/\text{ano}$) | Dose Acumulada (Ga) | Idade (ka) |
|---|------------|------------|-----------|--|---------------------|------------|
| Vale do Rio Paraopeba | | | | | | |
| N2 | 50,60±1,82 | 17,30±0,18 | 1,78±0,26 | 10.210±450 | 80,3 | 7,9±0,7 |
| N5 | 6,50±0,23 | 2,80±0,18 | 0,35±0,05 | 1.640±115 | 73,6 | 44,9±5,0 |
| Vales dos ribeirões Serra Azul e Mateus Leme | | | | | | |
| N2 | 11,50±0,41 | 4,59±0,51 | 0,86±0,13 | 3.000±290 | 68,9 | 23,0±3,4 |
| N4 | 7,20±0,26 | 2,33±0,15 | 0,32±0,05 | 1.500±100 | 61,2 | 40,6±4,9 |

4.1. O vale do Rio Paraopeba

As sucessões fluviais analisadas estão localizadas entre os municípios de Brumadinho e Juatuba, na região do Fecho do Funil – garganta epigênica do Rio Paraopeba nas serras do limite norte do Quadrilátero Ferrífero – anteriormente investigada por Marques (1997). Trechos à montante (entre Congonhas e Jaceaba) também foram percorridos, porém não foram encontrados registros significativos de antigos níveis fluviais, apenas colúvios com a presença de cascalho arredondado típico de leito fluvial, atestando a pré-existência desses níveis.

Cinco níveis deposicionais escalonados (figura 2) foram identificados:

- i) N5: relacionado a patamares entre 780-790 m e datado por LOE em ~45 ka, inclui afloramentos identificados por Fonseca & Costa (1971) e mapeados por Romano (1984) como formação Juatuba. Apresenta sucessões deposicionais com cascalho de quartzo, predominantemente, e couraças placoidais em camadas arenosas cimentadas, além de espessos pacotes silto-argilosos;
- ii) N4: apresenta fácies basal conglomerática, com dominância de quartzo e quartzito, mas com presença marcante de itabirito (cerca de 20%), e fácies superior com grânulos e pequenos clastos arredondados a angulosos;
- iii) N3: apresenta afloramentos pouco espessos em relação aos níveis anteriores, com cascalho subarredondado a anguloso de quartzo, quartzito e itabirito, recobertos por fácies subdesenvolvida de areia fina entrecortada por lentes de cascalho;
- iv) N2: nível fluvial abandonado mais recente, datado por LOE em ~8 ka. Apresenta fácies basal de cascalho, predominantemente arredondado e de quartzo, podendo apresentar diferentes fases deposicionais indicadas por ciclos de granulodecrescência, e fácies superior de material areno-siltoso, por vezes com clastos esparsos ou em lentes;
- v) N1: planície de inundação marcada por depósitos arenosos a silto-argilosos maciços.

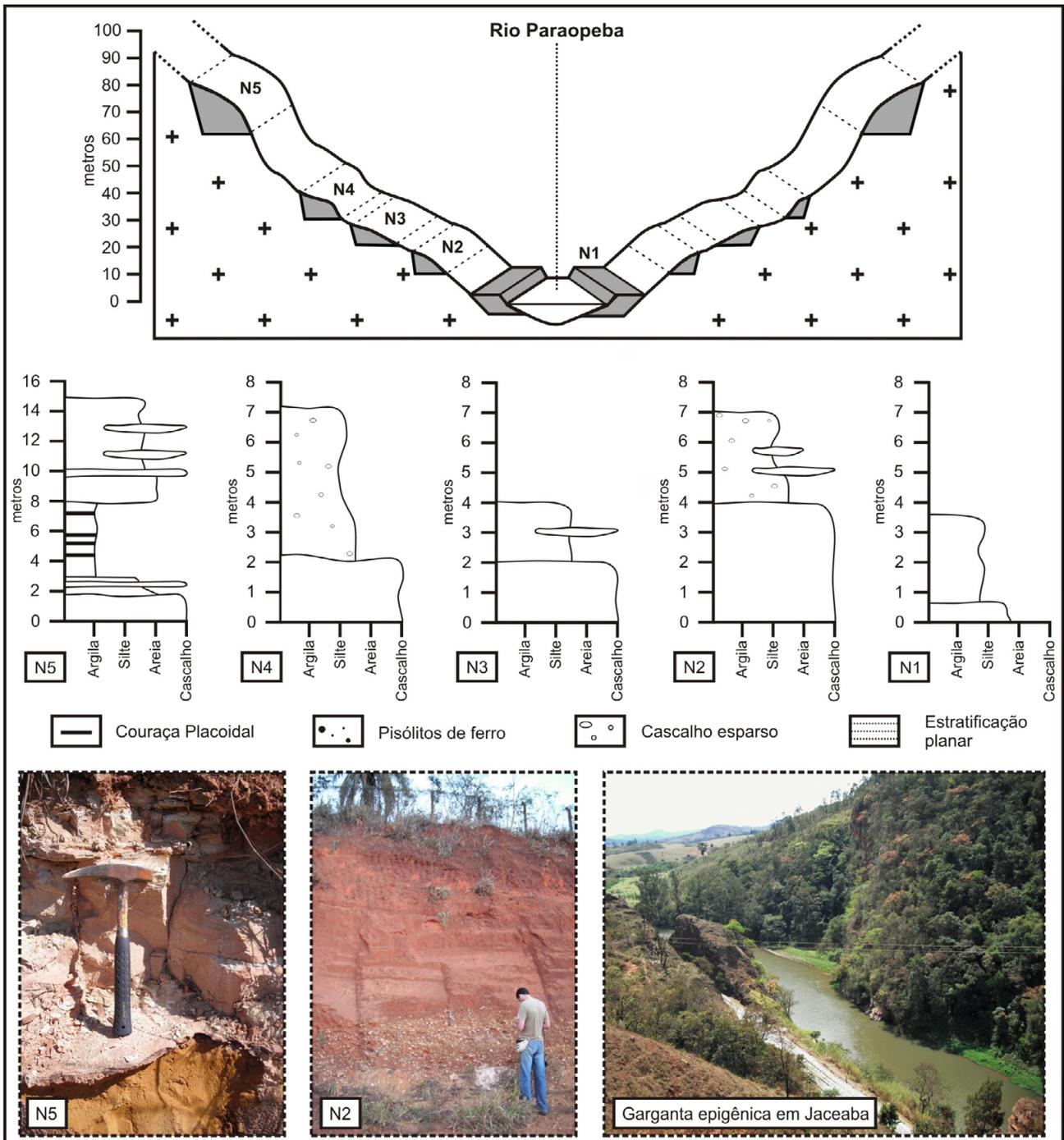


Figura 2: Perfil transversal e perfis estratigráficos de síntese dos níveis e das sucessões fluviais do vale do Rio Paraopeba e suas imagens representativas.

4.2. A bacia do Ribeirão Serra Azul

Na bacia do Ribeirão Serra Azul foram encontrados registros de seis níveis fluviais, cujas sucessões estão

distribuídas entre os vales dos ribeirões Serra Azul e Mateus Leme, seu principal tributário (figura 3).

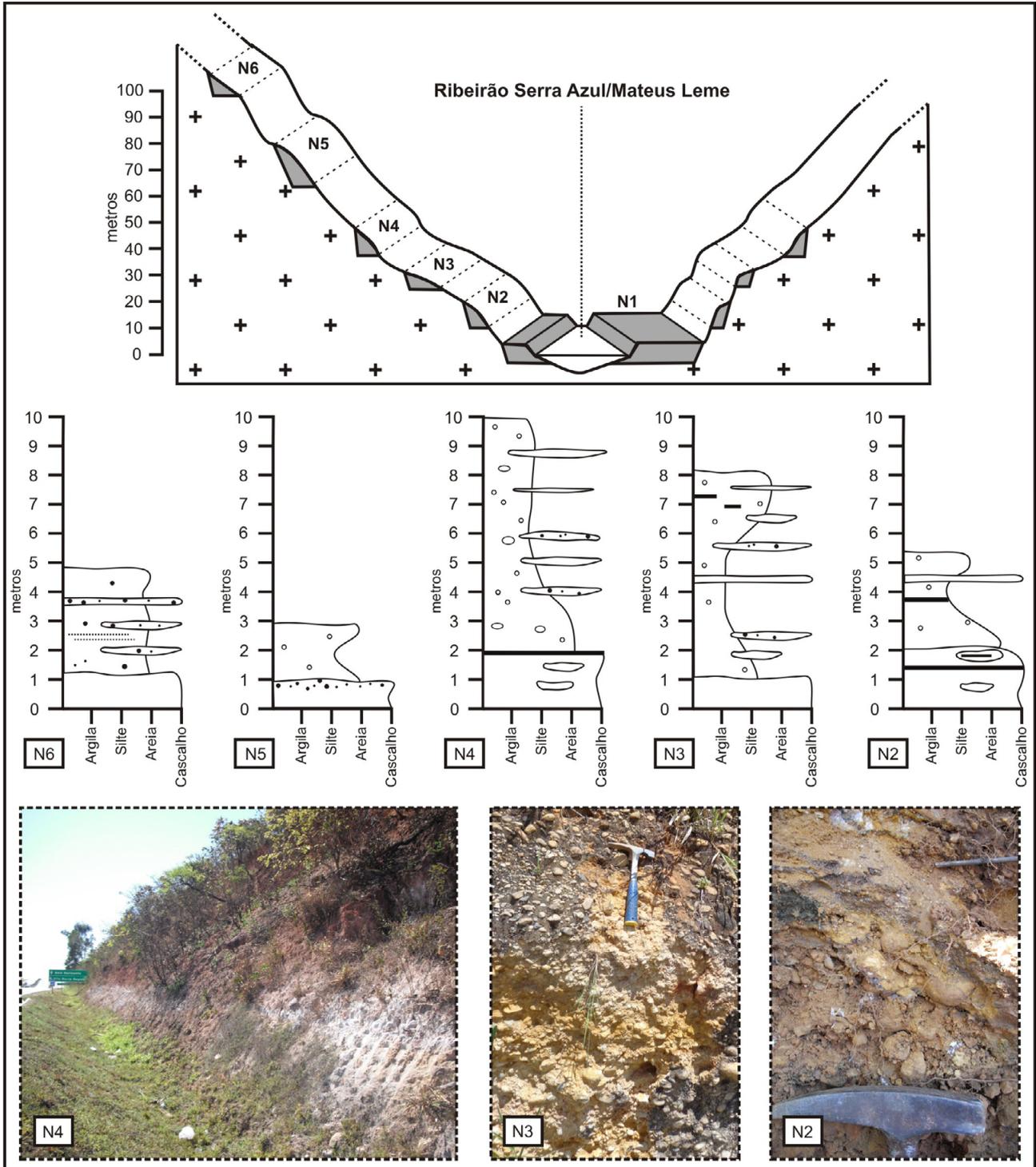


Figura 3: Perfil transversal e perfis estratigráficos de síntese dos níveis e das sucessões fluviais da bacia do Ribeirão Serra Azul e suas imagens representativas.

Como os resultados são muito semelhantes nos dois vales, optou-se por apresentá-los em conjunto:

- i) N6: encontrado no vale do Ribeirão Serra Azul em topos de colinas e porções superiores de encostas (850-860 m), apresenta sucessões deposicionais pouco preservadas, nas quais dominam fácies de cascalho clasto suportado e ferruginizado (de quartzo e quartzito, arredondado a anguloso) e de areia fina argilosa com presença de grânulos, pequenos clastos de quartzo, pisólitos de ferro e fragmentos de laterita em placas;
- ii) N5: encontrado no vale do Ribeirão Mateus Leme, apresenta cascalho arredondado a anguloso de quartzo, quartzito e xisto/filito, além de nódulos de laterita, sobreposto por material areno-siltoso;
- iii) N4: datado em ~41 ka. No trecho superior do vale do Ribeirão Serra Azul, apresenta perfis com camada basal de cascalho clasto suportado, matriz arenosa e camadas superiores areno-siltosas a silto-argilosas com cascalho esparso, frequentes lentes de cascalho e nódulos ferruginosos. No trecho inferior do vale do Ribeirão Serra Azul e do vale do Ribeirão Mateus Leme, apresenta perfis com camada basal de cascalho clasto suportado e areia sobreposta por espessa camada (até ~6 m) de argilas e siltes laminados, podendo ocorrer lentes/finas camadas arenosas com couraça e clastos esparsos;
- iv) N3: apresenta os mesmos dois tipos de sucessões deposicionais do nível anterior, entretanto sem a presença comum de couraças. Mais à jusante no vale do Ribeirão Serra Azul e no vale do Ribeirão Mateus Leme, os perfis são menos espessos e pouco preservados. Podem ocorrer fragmentos de couraças, provavelmente oriundos do desmonte do nível anterior;
- v) N2: datado em ~23 ka, sua fácies basal apresenta cascalho de quartzo e quartzito, arredondado a anguloso, sendo geralmente entrecortada ou sobreposta por camada de areia grossa cimentada, formando couraça ferruginosa;
- vi) N1: planície de inundação.

5. Discussão

Poucos dentre os depósitos analisados apresentam as características necessárias para sua amostragem para datação por LOE. Muitos depósitos apresentam a predominância de sedimentos finos (argila e silte) e se encontram bastante endurecidos, não permitindo a amostragem com canos de PVC por percussão. Outros tem preservados apenas os pacotes de cascalho, sem adequadas lentes ou camadas arenosas ou, quando estas estão presentes, apresentam quantidade significativa de argila/silte.

Nesse sentido, o estabelecimento de uma clara cronologia para os eventos de sedimentação fluvial

na alta bacia do Rio Paraopeba ainda não pôde ser alcançado. Entretanto, apresenta-se um primeiro conjunto de dados para a área, contribuindo para a compreensão dos processos no domínio do Quadrilátero Ferrífero como um todo. Desse modo, baseados em diferentes técnicas, novos trabalhos poderão permitir uma avaliação mais crítica dos resultados ora apresentados.

Conforme observam [Kock et al. \(2009\)](#), a ausência de adequadas lentes ou camadas arenosas nos pacotes sedimentares permanece como um dos principais problemas para a obtenção de idades coerentes em ambientes fluviais de elevada energia, como em áreas serranas como o Quadrilátero Ferrífero. Geralmente, a dose anual é determinada pela aferição da concentração de radionuclídeos (U, Th, K) na amostra e estimação da radiação cósmica na latitude, altitude e profundidade da mesma. Assim, é importante que a coleta seja feita no centro de camadas relativamente homogêneas. Segundo [Burbank & Anderson \(2001\)](#), um raio de 30 cm define aproximadamente o volume que vai contribuir com a maior parte da radiação recebida pela amostra. Entretanto, são raros os depósitos observados na região que apresentam fácies de leito com lentes ou camadas arenosas com essa espessura.

Nota-se ainda que cada um dos vales investigados apresenta um número diferente de níveis deposicionais fluviais reconhecíveis. A formação e preservação de níveis fluviais dependem de fatores como a magnitude e a duração do evento deposicional, a idade do depósito, o modo de migração do canal, características das paredes do vale e do leito rochoso, bem como a dinâmica tectônica ([Jacobson et al. 2003](#)). Nesse sentido, os vales encaixados estão sujeitos a erosão mais intensa e a movimentos de massa nas vertentes, removendo ou soterrando registros de níveis deposicionais mais antigos.

Essa pode ser a razão de não terem sido encontrados expressivos depósitos correlatos a níveis fluviais mais antigos em trechos superiores do vale do Rio Paraopeba. Neste vale, [Marques \(1997\)](#) descreveu depósitos de colúvio com cascalho arredondado e ferruginizado acima do N5, a ~100 m de altura, indicando a pré-existência de níveis mais antigos neste vale – o qual seria, provavelmente, correlato ao N6 do vale do Ribeirão Serra Azul.

No entanto, mesmo incompletos, os registros deposicionais fluviais da alta bacia do Rio Paraopeba no contexto do Quadrilátero Ferrífero são componentes essenciais para a compreensão da geomorfogênese neocenozoica regional.

5.2. A neotectônica

Situado em uma área de contato entre o Cráton São Francisco e antigas faixas móveis (Sistema Orogenético Mantiqueira – [Alkimim 2015](#)) e entre significativas descontinuidades crustais e eixos de soerguimento ([Saadi 1993](#)), o Quadrilátero Ferrífero revela indícios e evidências de atividade neotectônica

por toda a região, conforme descrito anteriormente. Diversos indícios e evidências do condicionamento tectônico sobre a evolução dos vales fluviais na bacia do Rio Paraopeba no contexto do Quadrilátero Ferrífero podem ser destacados.

Os registros do N5 do vale do Rio Paraopeba e do N4 da bacia do Ribeirão Serra Azul se assemelham não só em termos da idade absoluta obtida para os depósitos (entre 41-45 ka, sendo a diferença muito pequena se considerada a margem de erro das datações). Esses dois níveis são marcados pela ocorrência de depósitos associados a um ambiente de baixa energia – correlato a planícies de inundação bem desenvolvidas – os quais marcariam um período peculiar na evolução dos vales desta área, com a geração de espessos pacotes silto-argilosos. Observa-se que, a despeito da marcante diferença em termos de altura dos depósitos desses níveis entre os vales dos ribeirões Serra Azul e Mateus Leme e o vale do Rio Paraopeba, os registros são recorrentes em cotas próximas a 760 m. Isso mostra que a atuação e/ou o surgimento de diferentes níveis de base locais levou a uma dissecação mais intensa no vale do Rio Paraopeba ao longo de fases subsequentes.

Segundo Marques (1997), vários afloramentos desses níveis foram relacionados a subciclos do ciclo de erosão Velhas (King, 1956; Romano, 1984), o que os enquadraria no Pleistoceno, embora a hipótese de idade pliocênica superior também tenha sido levantada (Fonseca & Costa 1971). Entretanto, as datações por LOE revelaram idades muito inferiores (tabela 2).

As condições de formação do N4, no entanto, não afetaram todo o vale do Ribeirão Serra Azul. A jusante, e também ao longo do Ribeirão Mateus Leme, encontram-se sucessões próximas de um padrão meandrante, do tipo *finning upward* (granodecrescência ascendente). Entretanto, as sucessões deposicionais deste mesmo nível revelam fácies de leques aluviais em porções mais à montante, no flanco NE da Serra da Saudade, sugerindo incremento da atividade epigenética (Moreira 1997). Destaca-se que no nível subsequente (N3) haveria a continuação da formação de leques aluviais no flanco NE da Serra da Saudade (Moreira 1997).

A formação de espessos pacotes de siltes e argilas no vale do Rio Paraopeba e na bacia do Ribeirão Serra Azul (N5 e N4, respectivamente) provavelmente foi condicionada pela movimentação de antigas falhas ou zona de cisalhamento compressional ou de transcorrência dextral ao longo do Ribeirão Mateus Leme e/ou perpendiculares a este e ao Rio Paraopeba. Estas falhas ou zonas de cisalhamento marcam o contato entre o embasamento cristalino e as rochas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas (CPRM 2005).

Reforça essa ideia o fato de ter sido observado nestes depósitos e em outros semelhantes (Formação Juatuba) um basculamento para E/SE e um mergulho de cerca de 5° (Romano 1984). Marques (1997) descreve ainda indícios de falhamentos neotectônicos nas proximidades da cidade de Igarapé, indicados por rupturas da linha

de cascalho do N5 do Rio Paraopeba. Nesse sentido, as diferenças altimétricas entre este depósito e aqueles do mesmo nível deposicional situados à jusante, porém cerca de 20 m mais baixos, seriam indícios de um deslocamento tectônico pós-deposicional dos registros (Marques 1997). Destaca-se ainda que, segundo Saadi (1991), as escavações para implantação de barragem no Ribeirão Serra Azul revelaram planos de baixo ângulo, os quais caracterizariam um cavalgamento de xistos sobre alúvios quaternários. Entretanto, o reaterro do afloramento impediu maiores investigações.

Destaca-se também o papel da Serra do Curral como uma barreira no escoamento dos sedimentos para a Depressão de Belo Horizonte. No caso do N2, à montante da Serra do Curral podem ser encontrados depósitos mais espessos que os encontrados à jusante do “Fecho do Funil”. Uma possível reativação de antigas falhas ou zona de cisalhamento extensional (CPRM 2005) perpendiculares ao Rio Paraopeba pode ter condicionado certo “represamento”. Efeito semelhante é discutido por Magalhães Jr. & Saadi (1994) em relação ao Rio das Velhas, que atravessa o mesmo alinhamento serrano por também superimposição.

Outra clara evidência de uma tectônica positiva na evolução neocenoica dos vales da bacia do Rio Paraopeba vem do escalonamento dos níveis deposicionais fluviais. Conforme Bridgland & Westaway (2008), é consenso na literatura que esse arranjo “em escadaria” de níveis fluviais seja resposta/registro de soerguimentos regionais. Conforme pode ser observado em todos os vales analisados, as fases de sedimentação fluvial são separadas por períodos de encaixamento da drenagem no substrato rochoso.

Desse modo, o escalonamento em todos os vales estudados pode ser considerado resposta a um soerguimento crustal do Escudo Brasileiro, marcado, no entanto, por fases de maior atividade. Essas fases são indicadas pelo fato da maioria dos níveis fluviais observados na área ser do tipo escalonado e pareado (Summerfield 1991, Pazzaglia 2013).

Chama a atenção, no entanto, a discrepância nas alturas dos níveis de diferentes vales, mesmo entre aqueles possivelmente correlatos cronologicamente. Isso mostra que, assim como na questão de superfícies de erosão (Varajão 1991, Salgado 2006), a existência de diferentes níveis de base locais e a importância de um comportamento tectônico em blocos – que afetou com intensidade variável as diferentes porções do relevo ao longo do Quaternário – inviabilizam a relação direta de cotas altimétricas e alturas para identificação das diferentes fases da evolução fluvial dos vales do Quadrilátero Ferrífero.

A esse respeito, destaca-se que Moreira (1997) considerou que o fato do N5 ser restrito ao vale do Ribeirão Serra Azul e o N4 ao vale do Ribeirão Mateus Leme levaria a duas interpretações: a de que o N4 seria resultado de um retrabalhamento de depósitos equivalentes ao N5; e a de que poderia ter havido um deslocamento tectônico pós-deposicional do nível superior, resultando em posicionamentos topográficos

atuais diferentes para os depósitos de um mesmo nível. Entretanto, conforme a própria autora não há evidências claras que confirmem nenhuma das duas hipóteses.

Por fim, destaca-se o encaixamento marcadamente recente, de cerca de 10 m, do Rio Paraopeba após a formação do N2 (~8 ka). Tendo sido uma fase de encaixamento relativamente curta, provavelmente a vaga erosiva gerada no vale do Rio Paraopeba não atingiu ou não se processou na mesma intensidade nos afluentes e, por isso, não se encontram registros correlatos. Desse modo, o Ribeirão Serra Azul estaria há mais tempo na posição onde se encontra sua planície de inundação ou próximo dela, o que é compatível com a amplitude da planície à jusante do distrito de Serra Azul.

5.3. As oscilações climáticas

Os níveis fluviais N5 (~45 ka) do Rio Paraopeba e N4 (~41 ka) e N2 (~23 ka) da bacia do Ribeirão Serra Azul são marcados pela presença de couraça ferruginosa nas sucessões deposicionais. A partir das idades obtidas para esses depósitos, é possível verificar que estes níveis foram formados sob condições de clima mais frio/seco que o atual.

Estas condições foram evidenciadas pela reconstituição de um ambiente de savana entre 50-40 ka em áreas hoje ocupadas por matas, a partir de estudos polínicos (Ledru *et al.* 1996, Behling & Lichte 1997, Ledru *et al.* 2005). No Brasil, muitos testemunhos são caracterizados pela ausência de registros deposicionais entre ~25-16 ka, o que marcaria, novamente, um período generalizado de aridez durante o Último Máximo Glacial – UGM (Ledru 1992, Ledru *et al.* 1998). O cenário apresentado por Behling & Lichte (1997) para esse período é de temperaturas significativamente mais baixas, com frequentes geadas nos meses de inverno.

Entre esses dois períodos mais secos/frios, condições úmidas e frescas foram reconstituídas por Oliveira (1992) e Ledru *et al.* (1996), estando associadas a um mosaico de formações florestais, com período de maior umidade registrado a c. 35 ka AP. Em geral, após o UGM, houve um aumento das temperaturas e da umidade em Minas Gerais, a despeito de curtas fases mais secas (Barros *et al.* 2011), culminando com a instalação do clima atual.

Desse modo, conforme modelo proposto por Barros *et al.* (2016a) para outras áreas do Quadrilátero Ferrífero, a formação de níveis fluviais com couraças nas sucessões deposicionais na bacia do Rio Paraopeba estaria relacionada a fases de clima mais seco/frio, alternadas com fases de clima mais úmido/quente. Entretanto, diferente do verificado nas bacias dos rios das Velhas e Doce, as couraças na bacia do Rio Paraopeba não se apresentam como espessos pacotes de cascalho e areia cimentados por óxi-hidróxidos de ferro, com um caráter conglomerático. Nesta bacia, as couraças ocorrem em “placas”, geralmente associadas a lentes arenosas ou no contato de camadas arenosas com camadas pelíticas nas sucessões deposicionais.

Análises geoquímicas, mineralógicas e em microscópio desses dois tipos de couraças foram discutidas por Barros *et al.* (2016b). Em ambos os casos, trata-se da cimentação de clastos e matriz dos depósitos sedimentares, representando o preenchimento de um sistema poroso primário por fases cristalinas e amorfas ferruginosas ou o revestimento de grãos por materiais igualmente ferruginosos. Nas couraças da bacia do Rio Paraopeba o cimento também é predominantemente goethítico.

Essa diferença no tipo de couraça encontrado pode estar relacionada ao contexto litoestrutural. As bacias dos rios das Velhas e, sobretudo, Doce têm expressivas áreas com afloramentos de rochas mais resistentes nas áreas de topo (itabiritos e quartzitos), a despeito de rochas mais frágeis na base das escarpas, favorecendo a retração lateral e o fornecimento de carga detrítica aos cursos d'água, além de abundante exportação geoquímica de Fe pelo intemperismo dos itabiritos (formações ferríferas bandadas). Já a bacia do Rio Paraopeba apresenta esse contexto apenas nas serras das bordas sul e oeste do Quadrilátero Ferrífero, na margem direita daquele rio. Assim, a maior parte da área drenada pela bacia do Rio Paraopeba apresenta como substrato as rochas do embasamento cristalino (gnaisse, granitóides e migmatitos), gerando pouco “resíduo” em sua pedogeneização. Assim, o contexto da bacia do Rio Paraopeba não favoreceria, mesmo em períodos mais secos/frios, a formação de espessos pacotes de sedimentos grossos nos fundos de vale. Nas demais bacias, esses pacotes teriam facilitado a flutuação do nível de saturação de águas enriquecidas em Fe e, assim, a cimentação dos sedimentos.

6. Conclusão

Os registros deposicionais fluviais da bacia do Rio Paraopeba são componentes essenciais para a compreensão da geomorfogênese neocenoica do Quadrilátero Ferrífero. O conjunto de dados discutidos neste trabalho revela indícios e evidências de uma paisagem fluvial jovem, com níveis fluviais com 45 ka ou menos a até 60-80 m acima da drenagem atual. As seguintes conclusões podem ser elencadas:

- A região é marcada por vales com níveis deposicionais fluviais pareados e escalonados, indicando a influência direta de um soerguimento regional durante o Quaternário Tardio. A resposta da drenagem ao soerguimento regional é marcante inclusive no Holoceno, sendo observado encaixamento de cerca de 10 m do Rio Paraopeba desde ~8 ka;
- Assim como em outras áreas do Quadrilátero Ferrífero, verifica-se a presença de couraças ferruginosas em sucessões fluviais formadas provavelmente sob condições de clima mais seco/frio. Entretanto, as couraças verificadas na bacia do Rio Paraopeba não têm caráter conglomerático como nas demais áreas, o que pode estar relacionado ao seu contexto litoestrutural menos favorável à geração de

espessos pacotes de cascalho nos fundos de vale e à exportação abundante de Fe;

- As datações por LOE apresentadas neste trabalho representam um primeiro conjunto de datações absolutas para os depósitos da bacia em seu trecho médio e permitiram relacionar depósitos de vales diferentes. Apesar de situados a alturas diferentes em relação à drenagem atual em cada vale, os níveis correlacionados apresentam características semelhantes e, desse modo, mostram a ineficiência da altura como único critério para a correlação de níveis fluviais na área.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Referências

- Alkmim F. F. 2015. Geological Background: A Tectonic Panorama of Brazil. In: Vieira B. C., Salgado, A. A. R., Santos L. (eds). *Landscapes and Landforms of Brazil (World Geomorphological Landscapes)*. 1ª ed. Amsterdam: Springer Netherlands, p. 9–17.
- Alkmim F. F., Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58. DOI:10.1016/S0301-9268(98)00032-1
- Ankjærgaard C., Guralnik B., Buylaert J. P., Reimann T., Yi S. W., Wallinga J. 2016. Violet stimulated luminescence dating of quartz from Luochuan (Chinese loess plateau): Agreement with independent chronology up to ~ 600 ka. *Quaternary Geochronology*, 34:33-46.
- Araujo A. G. M., Neves W. A., Piló L. B., Atui J. P. V. 2005. Holocene dryness and human occupation in Brazil during the “Archaic Gap”. *Quaternary Research*, 64:298-307. DOI:10.1016/j.yqres.2005.08.002
- Bacellar L. A. P., Coelho Netto A. L., Lacerda W. A. 2005. Controlling factors of gullying in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30:1369-1385. DOI:10.1002/esp.1193
- Barbosa G. V., Rodrigues D. M. S. 1967. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte, IGC/UFGM. 130p.
- Barros L. F. P., Magalhães Jr. A. P. 2013. Quaternary alluvial sedimentation in the Conceição river valley, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3):535-554. DOI:10.5327/Z2317-48892013000300009
- Barros L. F. P., Lavarini C., Lima L. S., Magalhães Jr. A. P. 2011. Síntese dos cenários paleobioclimáticos do Quaternário Tardio em Minas Gerais/Sudeste do Brasil. *Sociedade & natureza*, 23(3):371-386.
- Barros L. F. P., Gomes Coe H. H., Seixas A. P., Magalhães Jr. A. P., Macario K. C. D. 2016a. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 67:71-88. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.02.004.
- Barros L. F. P., Oliveira F. S., Magalhães Jr. A. P. 2016b. Implicações geomorfológicas de couraças em níveis fluviais pleistocênicos no Quadrilátero Ferrífero/MG. *SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 11, Maringá, 2016. Anais...
- Behling H., Lichte M. 1997. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. *Quaternary Research*, 48:348-358. DOI:10.1006/qres.1997.1932
- Bridge J. S. 2003. *Rivers and Floodplains: Forms, Processes, and Sedimentary Record*. Blackwell Science, Oxford, 492p.
- Bridgland D., Westaway R. 2008. Climatically controlled river terrace staircases: a worldwide Quaternary phenomenon. *Geomorphology*, 98:285-315.
- Bridgland D., Westaway R. 2014. Quaternary fluvial archives and landscape evolution: a global synthesis. *Proceedings of the Geologists' Association*, 125:600-629.
- Burbank D. W., Anderson R. S. 2001. *Tectonic Geomorphology*. Malden: Blackwell Science, 274p.
- Campos M. I. B. 2016. Caracterização da deformação frágil e sua relação com os processos de voçorocamento na porção sudeste do Complexo Metamórfico Bação – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 156p.
- Carvalho Filho A., Curi N., Shinzato E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(8):903-916. DOI:10.1590/S0100-204X2010000800017
- Cherem L. F. S., Ramos V. D. V., Lopes F. W. A., Macedo D. R., Magalhães Jr. A. P., Salgado A. A. R. 2008. Níveis e Sequências Depositionais Fluviais no Médio e Baixo Vale do Ribeirão do Caraça – borda oriental do Quadrilátero Ferrífero/MG. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 7, 2008, Belo Horizonte. Anais...
- Christofolletti A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgar Blucher, 313p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM. 2005. *Mapa geológico do Brasil ao milionésimo*. Rio de Janeiro. 41 CDs, 1 DVD.
- Costa A. T., Nalini Jr. H. A., Castro P. T. A., Tatum S. H. 2010. Análise estratigráfica e distribuição do arsênio em depósitos sedimentares quaternários da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, bacia do Ribeirão do Carmo, MG. *REM: Revista Escola de Minas*, 63(4):703-714.
- Dorr J. V. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. United States Geological Survey, 110p. (Professional Paper 641A)
- Duller G. A. T. 2008. Single-grain optical dating of Quaternary sediments: why aliquot size matters in luminescence dating. *Boreas*, Vol. 37, pp. 589–612.
- Easterbrook D. J. 1999. *Surface Processes and Landforms*. 2ª Edição. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 546p.
- Figueiredo M. A., Varajão A. F. D. C., Fabris J. D., Loutfi I. S., Carvalho A. P. 2004. Alteração Superficial e Pedogeomorfologia no Sul do Complexo Bação – Quadrilátero Ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:713-729.
- Fonseca J. S., Costa M. T. 1971. Nota preliminar sobre a ocorrência de vegetais fósseis no vale do Rio Paraopeba, município de Mateus Leme, MG. *REM: Revista Escola de Minas*, 29(2):80.
- Gomes M. O. S., Rodrigues M. F., Delicio M. P. 2009. Evolução paleoclimática e paleoecológica da bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto (MG), com base na microflora. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA*, 21, Belém, 2009. Anais... p. 37.
- Guarçoni E. A. E., Paula C. C., Costa A. F. 2010. Bromeliaceae do Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, Minas Gerais. *Rodriguésia*, 61(3):467-490.

- Hartmann L. A., Endo I., Suita M. T. F., Frantz J. C., Carneiro M. A., McNaughton N. J., Barley M. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U-Pb isotopes. *Journal of South American Earth Sciences*, 20:273-285.
- Jacobson R., O'Connor J. E., Oguchi T. 2003. Surficial geologic tools in fluvial geomorphology. In: Kondolf G. M., Piegay H. (eds). *Tools in fluvial geomorphology*. Chichester: Wiley, p. 25-57.
- Jain M., Murray A. S., Botter-Jensen L. 2004. Optically stimulated luminescence dating: How significant is incomplete light exposure in fluvial environments? *Quaternaire*, 15:143-157.
- King L. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147-265.
- Kock S., Kramers J. D., Preusser F., Wetzel A. 2009. Dating of Late Pleistocene terrace deposits of the River Rhine using Uranium series and luminescence methods: Potential and limitations. *Quaternary Geochronology*, 4:363-373.
- Lamounier W. L., Carvalho V. L. M., Salgado A. A. R., Marent B. R. 2010. A influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero-MG. *Geografias*, 06(1):152-165.
- Lana C. E., Castro P. T. A. 2010. Variabilidade morfológica em níveis de base do rio Maracujá (Quadrilátero Ferrífero MG): influências litológicas, estruturais e de reativações cenozóicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 11:21-30.
- Ledru M. -P. 1992. Modification de la végétation du Brésil central entre la dernière époque glaciaire et l'interglaciaire actuel. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, 314(2):117-123.
- Ledru M. -P., Soares Braga P. I., Soubiè S. F., Fournier M., Martin L., Suguio K., Turcq B. 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123:239-257. DOI:10.1016/0031-0182(96)00105-8
- Ledru M. -P., Bertaux J., Sifeddine A., Suguio K. 1998. Absence of last glacial maximum records in lowland tropical forest. *Quaternary Research*, 49:233-237. DOI:10.1006/qres.1997.1953
- Ledru M. -P., Rousseau D. -D., Cruz Jr. F. W., Riccomini C., Karmann I., Martin L. 2005. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. *Quaternary Research*, 64:444-450.
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco: Freeman and Company, 522p.
- Lipski M. 2002. Tectonismo cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 171p.
- Machado N., Schrank A., Noce C. M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from archean-proterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 141:259-276.
- Magalhães Jr. A. P., Saadi A. 1994. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1):42-54.
- Magalhães Jr. A. P., Cherem L. F. S., Barros L. F. P., Santos G. B. 2011. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. *Geomorphology*, 132:187-194.
- Magalhães Jr. A. P., Barros L. F. P., Raposo A. A., Cherem L. F. S. 2012. Dinâmica fluvial quaternária do Rio Maracujá, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13:3-14.
- Marques M. R. 1997. Morfodinâmica fluvial cenozóica no vale do Rio Paraopeba entre o Fecho do Funil e Juatuba, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 83p.
- Maxwell C. H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria district, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey, 72p. (Professional Paper 341J).
- Medina A. I., Dantas M. E., Saadi A. 2005. Geomorfologia. In: PROJETO APA SUL RMBH-Estudos do Meio Físico. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, v.6.
- Monteiro H. S., Vasconcelos P. M., Farley K. A., Spier C. A., Mello C. L. 2014. (U-Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 131:267-289. DOI:10.1016/j.gca.2014.01.036
- Moreira P. F. 1997. Depósitos cenozóicos e evolução morfodinâmica na bacia do Ribeirão Serra Azul (médio Rio Paraopeba), Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 104p.
- Oliveira P. E. 1992. A palynological Record of late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil. PhD Thesis. Columbus, The Ohio State University – USA, 238p.
- Parizzi M. G., Salgado-Labouriau M. L., Kholer H. C. 1998. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. *The Holocene*, 8:311-321. DOI: 10.1191/095968398670195708
- Pazzaglia F. J. 2013. Fluvial Terraces. In: Wohl E. (ed). *Treatise on Fluvial Geomorphology*. New York: Elsevier, p. 379-412.
- Raposo A. A., Oliveira L. F., Magalhães Jr. A. P., Cherem L. F. S. 2008. Níveis e seqüências deposicionais do vale do ribeirão do Mango, Quadrilátero Ferrífero/MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7, Belo Horizonte, 2008. *Anais... v. 1*, p. 110-120.
- Rittenour T. M. 2008. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas*, 37:613-635. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2008.00056.x
- Ritter D. F., Kochel R. C., Miller J. R. 2002. *Process Geomorphology*. McGraw Hill, 560p.
- Romano A. W. 1984. *Geologia da folha de Esmeraldas*. Belo Horizonte, Instituto de Geociências Aplicadas.
- Rossi P. G. G. 2008. Investigação da Influência da Estrutura Geológica na Evolução e Configuração da Geomorfologia da Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero-MG. Monografia. Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 69 p.
- Saadi A. 1991. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intra-placa, descontinuidades crustais e morfogênese. Tese. Concurso de Professor Titular, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Saadi A., Sgarbi G. N. C., Rosière C. A. 1992. A Bacia de Gongo Soco, nova bacia terciária no Quadrilátero Ferrífero: controle cárstico e/ou tectônico. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, Anais... Resumos Expandidos, 1:600-601.
- Saadi A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos*. 1(1):1-15.
- Şahiner E., Erturaç M. K., Meriç, N. 2017. Dating of geological samples over millions of years by Thermally Assisted Optically Stimulated Luminescence (TA-OSL) technique: Gediz River Terraces, Kula/Manisa. *Geological Bulletin of Turkey*, 60, p. 489-506.
- Salgado A. A. R. 2006. Estudo da Evolução do Quadrilátero Ferrífero, MG-Brasil, através da quantificação de processos erosivos desnudacionais. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Salgado A. A. R., Varajão C. A. C., Colin F., Braucher R., Varajão A. F. D. C., Nalini Jr. H. A. 2007. Study of the erosion rates in the upper Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG, Brazil) by the in situ produced cosmogenic ¹⁰Be method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32:905-911. DOI: 10.1002/esp.1448

- Salgado A. A. R., Braucher R., Varajão C. A. C., Colin F., Varajão A. F. D., Nalini Jr. H. A. 2008. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 52:317-323.
- Sallun A. E. M., Suguio K., Tatumi S. H., Yee M., Santos J., Barreto A. M. F. 2007. Datação absoluta de depósitos quaternários brasileiros por luminescência. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(2):401-412.
- Sant'Anna L. G., Schorscher H. D., Riccomini C. 1997. Cenozoic Tectonics of the Fonseca Basin Region, Eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 10(3-4):275-284.
- Schumm S. A. 1977. *The Fluvial System*. Caldwell: The Blackburn Press, 338p.
- Secretaria de Estado de Agricultura – SEA. 1980. Atlas de zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais. 1980. Disponível em: <http://www.ide.ufv.br/geominas/>. Acesso em 23 julho 2015.
- Sgarbi G. N. C., Fantinel L. M., Masotti F. S. 1992. Geologia dos sedimentos lacustres da Bacia Terciária do Gandarela. In: *Simpósio de Geologia do Núcleo Minas Gerais*, 6, 1992, Ouro Preto. REM: *Revista da Escola de Minas*, 45:118-122.
- Suguio K., Bigarella J. J. 1979. *Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação e sua interpretação e importância*. Curitiba: UFPR, 183p.
- Summerfield M. A. 1991. *Global Geomorphology*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 537p.
- Ussami N., Molina E. C., Medeiros W. E. 1999. Novos vínculos sobre a evolução térmica da margem continental leste do Brasil. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, 7, 1999, Lençóis. Anais... Sessão 3, p. 20-23.
- Valadão R. C., Silveira J. S. 1992. Estratigrafia Quaternária e evolução do Relevo no Complexo do Baçõ, Dados Preliminares. REM: *Revista Escola de Minas*, 45:85-87.
- Varajão C. A. 1991. A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21:131-145.
- Varajão C. A. C., Salgado A. A. R., Varajão A. F. D. C., Braucher R., Colin F., Nalini Jr. H. A. 2009. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1409-1425.

Recebido em 15 de março de 2017

Aceito em 29 de outubro de 2018