

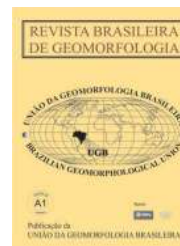


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 3 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1305>



MORFOGÊNESE NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG NO QUATERNÁRIO SUPERIOR: PROCESSOS FLUVIAIS E CONDICIONANTES PALEOAMBIENTAIS NA BACIA DO RIO DAS VELHAS

MORPHOGENESIS OF THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG DURING THE LATE QUATERNARY: FLUVIAL PROCESSES AND PALEOENVIRONMENTAL CONDITIONING IN THE VELHAS RIVER BASIN

Luiz Fernando de Paula Barros

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil
E-mail: luizbarros@ufmg.br*

Antônio Pereira Magalhães Junior

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil
E-mail: antonio.magalhaes.ufmg@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

05/09/2017

Data de Aprovação:

17/05/2018

Palavras-chave:

Geomorfologia Regional;
Luminescência Opticamente
Estimulada; Neotectônica;
Oscilações Climáticas.

Keywords:

Regional Geomorphology;
Optically Stimulated
Luminescence, Neotectonics;
Climatic Oscillations.

Resumo:

Visando aprofundar a compreensão da geomorfologia regional, diversos levantamentos de níveis e sucessões deposicionais fluviais foram empreendidos no Quadrilátero Ferrífero nas últimas décadas. Entretanto, faltam estudos mais regionalizados, que analisem mais de um vale fluvial. 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 alto Rio das Velhas, que compreende a drenagem da área *core* do Quadrilátero Ferrífero. Os resultados revelam um relevo dinâmico, sensível às forças tectônicas e variações climáticas do Quaternário Superior. Os níveis deposicionais fluviais foram datados entre 84-1 Ka por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), permitindo a releitura de dados anteriores e a correlação de depósitos em fases de evolução do sistema fluvial do alto Rio das Velhas. Esses níveis são, em sua maioria, dos tipos escalonado e pareado e, portanto, configuram-se como importantes marcadores dos ritmos da tectônica quaternária na região. Destaca-se o encaixamento de alguns cursos d'água ainda no Holoceno Superior. As datações permitem a associação de diferentes níveis fluviais com oscilações climáticas, que deixaram como registros couraças ferruginosas desenvolvidas sob um clima mais seco/frio que o atual, bem como o embutimento de planícies de inundação em níveis mais antigos, desenvolvidos durante o último máximo glacial.

Abstract:

Aiming to deepen the knowledge of the regional geomorphology, several surveys on river levels and fluvial successions were undertaken in the Quadrilátero Ferrífero domain in recent decades. However, there is a missing of more regionalized analyzes. This paper discusses the river levels and fluvial successions of the upper Velhas' River basin, based on new surveys and rereading of data of the literature about the area. This river catchment contains the drainage of the core area of the Quadrilátero Ferrífero. Analysis of the results shows a dynamic relief, sensitive to the tectonic forces and climatic variations of the Late Quaternary. The fluvial levels were dated between 1-84 Ka using Optically Stimulated Luminescence (OSL) which allowed the rereading previous data and correlating some deposits. Most of these levels are paired and cut-in-bedrock, revealing the rhythm of fluvial downcutting in response to the regional uplift. It is highlighted the downcutting of some watercourses even in the Late Holocene. The OSL dating allowed the association of some fluvial levels with climatic oscillations. Fluvial successions accumulated under driest/coldest periods were turned into duricrusts. In some valleys, the floodplains are nested in older deposits, developed during the last glacial maximum.

Introdução

Situado na borda sudeste do Cráton do São Francisco, no centro sul do estado de Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero é um dos mais marcantes conjuntos serranos do sudeste do Brasil. Ocupada e investigada desde o início do ciclo do ouro (fim do século XVII), esta unidade é de grande interesse histórico, científico e sócio-econômico-ambiental, tendo em vista suas reservas minerais e hídricas (SALGADO e CARMO, 2015). Sustentada por rochas arqueanas e proterozoicas, a morfologia da área pode ser definida como resultado da evolução de um substrato geológico deformado, resultante das orogêneses Transamazônica e Brasiliana, ocorridas a 2,2-2,0 Ga e a 600 Ma, respectivamente (UHLEIN e NOCE, 2012). Os *inputs* tectônicos e a intercalação de litologias com diferentes resistências às intempéries levaram a uma intensa dissecação pela drenagem e à inversão do relevo, deixando sinclinais relativamente alçadas e anticlinais rebaixadas, configurando um relevo do tipo jurássico. Segundo Medina *et al.* (2005), esse processo teria destaque durante um período geológico mais recente (Neógeno e Quaternário), interrompendo eventos de aplanamento generalizado do relevo durante o Cretáceo e o Paleógeno. Nesse sentido, há um papel preponderante do trabalho fluvial a longo termo no modelado do Quadrilátero Ferrífero.

Diante dessa importância do trabalho fluvial e visando aprofundar a compreensão da geomorfologia regional durante o Cenozoico Superior, diversos levantamentos de níveis e sucessões deposicionais fluviais foram empreendidos no Quadrilátero Ferrífero nas últimas décadas (VALADÃO e SILVEIRA, 1992; MAGALHÃES JR. e 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 e CASTRO, 2010; MAGALHÃES JR. *et al.*, 2011; 2012; BARROS e MAGALHÃES JR., 2013). Apesar 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 alto Rio das Velhas, o presente trabalho busca discutir a morfogênese recente do Quadrilátero Ferrífero a partir de processos fluviais, bem como seus condicionantes paleoambientais. Desse modo, procura-se dar um primeiro passo para a compreensão dos eventos geomorfogenéticos responsáveis pela esculturação do relevo nesse importante domínio geológico-geomorfológico do Brasil.

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.

Nas porções oeste e central, a rede hidrográfica tem sentido predominante sul-norte, respondendo ao binômio soerguimento da borda sul do Cráton do São Francisco/subsidência da bacia do Grupo

BambuÍ (MEDINA *et al.*, 2005). Na porção leste, a drenagem predominante tem sentido oeste-leste, tendo como nível de base regional a calha do Rio Doce. 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 talvegues ultrapassar centenas de metros (MEDINA *et al.*, 2005).

Neste estudo são apresentados os resultados obtidos com a investigação nos vales dos seguintes cursos d'água: Rio das Velhas, Rio Maracujá, Ribeirão Carioca, Ribeirão do Mango e Ribeirão Sardinha (Figura 1).

Os estudos sobre a evolução do modelado do Quadrilátero Ferrífero destacam a tectônica, o papel das estruturas regionais e da desnudação diferencial (BARBOSA e RODRIGUES, 1967; DORR, 1969; VARAÇÃO, 1991; ALKMIM e MARSHAK, 1998; SALGADO *et al.*, 2008), resultado de uma rica e complexa

geologia. Esta pode ser dividida em: (i) Complexos cristalinos (gnaisses, migmatitos e granitóides); (ii) Supergrupo Rio das Velhas (principalmente, xistos e filitos), marcado por uma sequência tipo *greenstone belt*; (iii) Supergrupo Minas (principalmente itabiritos e quartzitos), com formações ferríferas bandadas que são adotadas como critério de delimitação do Quadrilátero Ferrífero (ALKMIM e MARSHAK, 1998); (iv) Supergrupo Espinhaço (principalmente, quartzitos); e (v) Grupo Itacolomi (quartzitos e conglomerados).

Quanto aos registros cenozoicos, destacam-se as bacias sedimentares de Fonseca, Gandarela e Gongo Soco, além de pequenas bacias sedimentares que ocorrem de forma isolada e contém 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 colúvio-aluvionares isolados.

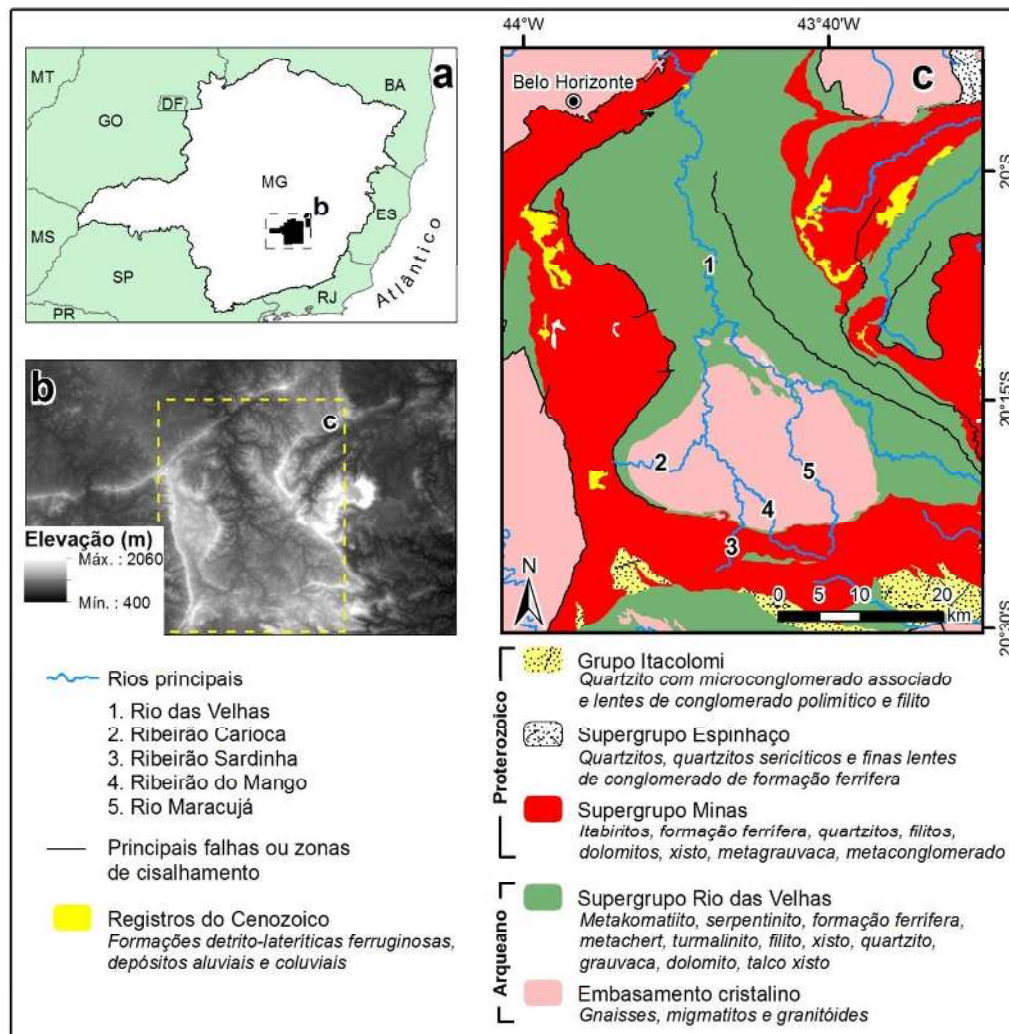


Figura 1 - (a) Localização da área no estado de Minas Gerais, (b) Croqui hipsométrico regional, (c) Mapa geológico simplificado da área investigada. Fonte: dados geológicos de CPRM (2005)

A região apresenta importante atividade tectônica cenozoica, muito relacionada à rica matriz estrutural herdada do Pré-Cambriano. Vários indícios e evidências de movimentação tectônica cenozoica são observados na região (SAADI, 1991; MAGALHÃES JR. e 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 e CASTRO, 2010; MAGALHÃES JR. *et al.*, 2011; BARROS e MAGALHÃES JR., 2013). Trata-se da formação e fechamento de pequenas bacias de sedimentação colúvio-aluvial cenozoicas, bem como da deformação de seus depósitos, basculamentos, além de diversas evidências de uma intensa dissecação do relevo.

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 e LICHTER, 1997; PARIZZI *et al.*, 1998; ARAÚJO *et al.*, 2005; GOMES *et al.*, 2009). Atualmente, o clima regional é marcado, em geral, 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, campo cerrado, campos rupestres e de altitude (CARVALHO FILHO *et al.*, 2010).

Metodologia

Foi feita extensa revisão da literatura sobre níveis e sucessões deposicionais fluviais no Quadrilátero Ferrífero e a releitura desses trabalhos em campo (vales dos rios das Velhas, Maracujá e Mango), 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 (vales dos ribeirões Sardinha e Carioca).

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 e 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, que são um sumário de todas as seções relativas ao nível deposicional.

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. 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 (*single aliquot regenerative-dose*), 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 (MURRAY e WINTLE, 2000). Foram analisadas cinco alíquotas, ou seja, foram feitas cinco curvas de calibração e encontradas cinco idades, para se tirar uma média.

Por fim, foi feita uma proposta de fases para a evolução do sistema fluvial regional. Essa proposta tem como base a relação de dados da datação dos depósitos, características das sucessões deposicionais (como a presença de couraças), bem como o contexto geomorfológico de cada nível em seu respectivo vale, ou seja, sua relação com níveis mais antigos e mais recentes.

Resultados

Os remanescentes de níveis fluviais analisados na bacia do alto Rio das Velhas são, em geral, de pequena dimensão e restritos lateralmente, além de localizados em zonas descontínuas de acumulação ao longo dos vales, muitas vezes separadas por corredeiras ou quedas

d'água e gargantas de superimposição ("fechos"). Exceto os mais recentes, quase sempre os níveis fluviais se encontram descaracterizados morfológicamente por intensos processos bio-pedo-geomorfológicos, principalmente erosão e coluvionamento. Desse modo, os registros fora do contexto de fundo de vale só podem ser notados em perfis expostos. Além do desmonte natural, é nítido o desmonte antrópico dos depósitos, seja pela exploração histórica de ouro de aluvião e gemas, seja pela expansão de áreas urbanas e periurbanas.

A despeito disso, os registros deposicionais levantados permitem a constatação de indícios e evidências de um sistema fluvial dinâmico, sensível às forças tectônicas e oscilações climáticas do Quaternário Superior, e de uma paisagem fluvial significativamente jovem. A síntese dos dados levantados pode ser observada na Tabela 1 e nas Figuras 2 a 6. Os dados detalhados das datações por LOE são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1: Síntese dos níveis deposicionais fluviais da bacia do alto Rio das Velhas.

Curso d'água	Nível deposicional	Tipologia	Altura (m)
Rio das Velhas	Nível 4 – N4	Escalonado e pareado	10-50
	Nível 3 – N3	Escalonado/de preenchimento e pareado	0-15
	Nível 2 – N2	Escalonado/Embutido/de preenchimento e pareado	0
	Nível 1 – N1	Embutido e pareado	0
Rio Maracujá	Nível 4 – N4	Escalonado e pareado	10-15
	Nível 3 – N3	Escalonado e pareado	1-3
	Nível 2 – N2	Encaixado/de preenchimento e pareado	0
	Nível 1 – N1	Embutido e pareado	0
Ribeirão do Mango	Nível 4 – N4	Escalonado e isolado	40
	Nível 3 – N3	Escalonado/De preenchimento e pareado	0-2
	Nível 2 – N2	Encaixado/Embutido/de preenchimento e pareado	0
	Nível 1 – N1	Embutido e pareado	0
Ribeirão Sardinha	Nível 3 – N3	Escalonado e isolado	10
	Nível 2 – N2	De preenchimento e pareado	0
	Nível 1 – N1	Embutido e pareado	0
Ribeirão Carioca	Nível 2 – N2	Escalonado e isolado	1-2
	Nível 1 – N1	Encaixado 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 das Velhas – Magalhães <i>et al.</i> (2011)						
N2	8,45 \pm 0,30	2,40 \pm 0,47	0,51 \pm 0,07	1.980 \pm 220	2,0	1,0 \pm 0,2
	9,56 \pm 0,34	2,88 \pm 0,28	0,73 \pm 0,11	2.400 \pm 200	2,5	1,0 \pm 0,1
N3	9,45 \pm 0,34	2,97 \pm 0,05	0,88 \pm 0,13	2.570 \pm 170	2,5	0,9 \pm 0,1
	3,17 \pm 0,11	1,02 \pm 0,31	1,25 \pm 0,18	1.980 \pm 250	16,0	8,1 \pm 1,0
	9,27 \pm 0,33	4,17 \pm 0,26	1,09 \pm 0,16	3.050 \pm 250	15,5	5,0 \pm 0,6
N4	5,57 \pm 0,20	2,14 \pm 0,10	1,00 \pm 0,14	2.200 \pm 190	22,5	10,3 \pm 1,4
	9,34 \pm 0,33	3,33 \pm 0,23	1,04 \pm 0,15	2.830 \pm 240	133,0	47,0 \pm 5,5
	8,37 \pm 0,30	2,51 \pm 0,35	1,00 \pm 0,15	2.500 \pm 260	120,0	48,0 \pm 5,5
	4,16 \pm 0,15	0,92 \pm 0,17	1,61 \pm 0,23	2.400 \pm 270	120,0	50,0 \pm 5,8
Vale do Rio Maracujá – Magalhães Jr. <i>et al.</i> (2012) modificado						
N2	15,08 \pm 0,54	4,0 \pm 0,52	0,47 \pm 0,07	2.780 \pm 245	77,0	27,7 \pm 3,8
N3	19,21 \pm 0,70	6,47 \pm 0,13	0,38 \pm 0,05	3.620 \pm 140	139,0	38,4 \pm 3,4
N4	12,22 \pm 0,44	3,85 \pm 0,01	0,32 \pm 0,05	2.390 \pm 85	193,0	80,7 \pm 6,9
	14,14 \pm 0,51	4,45 \pm 0,02	0,05 \pm 0,01	2.400 \pm 50	202,0	83,8 \pm 5,9
Vale do Ribeirão do Mango*						
N3	22,92 \pm 0,83	5,74 \pm 0,01	1,31 \pm 0,19	4.640 \pm 260	77,0	16,6 \pm 1,8
N4	21,87 \pm 0,79	7,28 \pm 0,25	0,50 \pm 0,07	4.150 \pm 200	205,0	49,5 \pm 4,9
Vale do Ribeirão Sardinha*						
N1	10,52 \pm 0,38	4,05 \pm 0,75	0,93 \pm 0,13	3.000 \pm 360	4,2	1,4 \pm 0,2
N2	9,46 \pm 0,34	3,39 \pm 1,23	0,38 \pm 0,06	2.200 \pm 400	16,8	7,5 \pm 1,5
Vale do Ribeirão Carioca*						
N2	21,78 \pm 0,78	6,99 \pm 0,33	0,89 \pm 0,13	4.470 \pm 275	5,0	1,1 \pm 0,1

*Dados novos.

O vale do Alto Rio das Velhas

O vale do Rio das Velhas no contexto do Quadrilátero Ferrífero foi analisado por Magalhães Jr. e Saadi (1994) e Magalhães Jr. *et al.* (2011). Nesta síntese, apresenta-se a integração dos dados de ambos os trabalhos. Assim, no vale do alto Rio das Velhas encontram-se registros de quatro níveis fluviais (Figura 2).

Estes níveis apresentam grande variedade em seus atributos, o que pode ser considerado um reflexo dos diferentes compartimentos geomorfológicos e geológicos atravessados pelo rio. Os níveis se encontram organizados de maneira diferente ao longo do vale, sendo os maiores desníveis verificados na porção mais à jusante da área investigada, entre as cidades de Sabará e Belo Horizonte.

Em linhas gerais, os níveis e sucessões fluviais

podem ser descritos do seguinte modo:

- i. N4: bastante residuais, seus depósitos estão situados entre 10-50 m de altura e apresentam fácies basal de cascalho arredondado (principalmente de quartzo e itabirito – formação ferrífera bandada) ferruginizado ou cimentado formando couraça, presença de matriz arenosa e fácies superior geralmente de material areno-argiloso maciço;
- ii. N3: sempre escalonado em relação ao N4, preenche o fundo do vale no trecho mais à montante, porém no trecho próximo da Serra do Curral chega a apresentar 15 m de desnível para o rio atual;
- iii. N2: encontra-se embutido no N3 no trecho intermediário e escalonado no trecho mais próximo da Serra do Curral, apresentando grande diversidade de fácies;

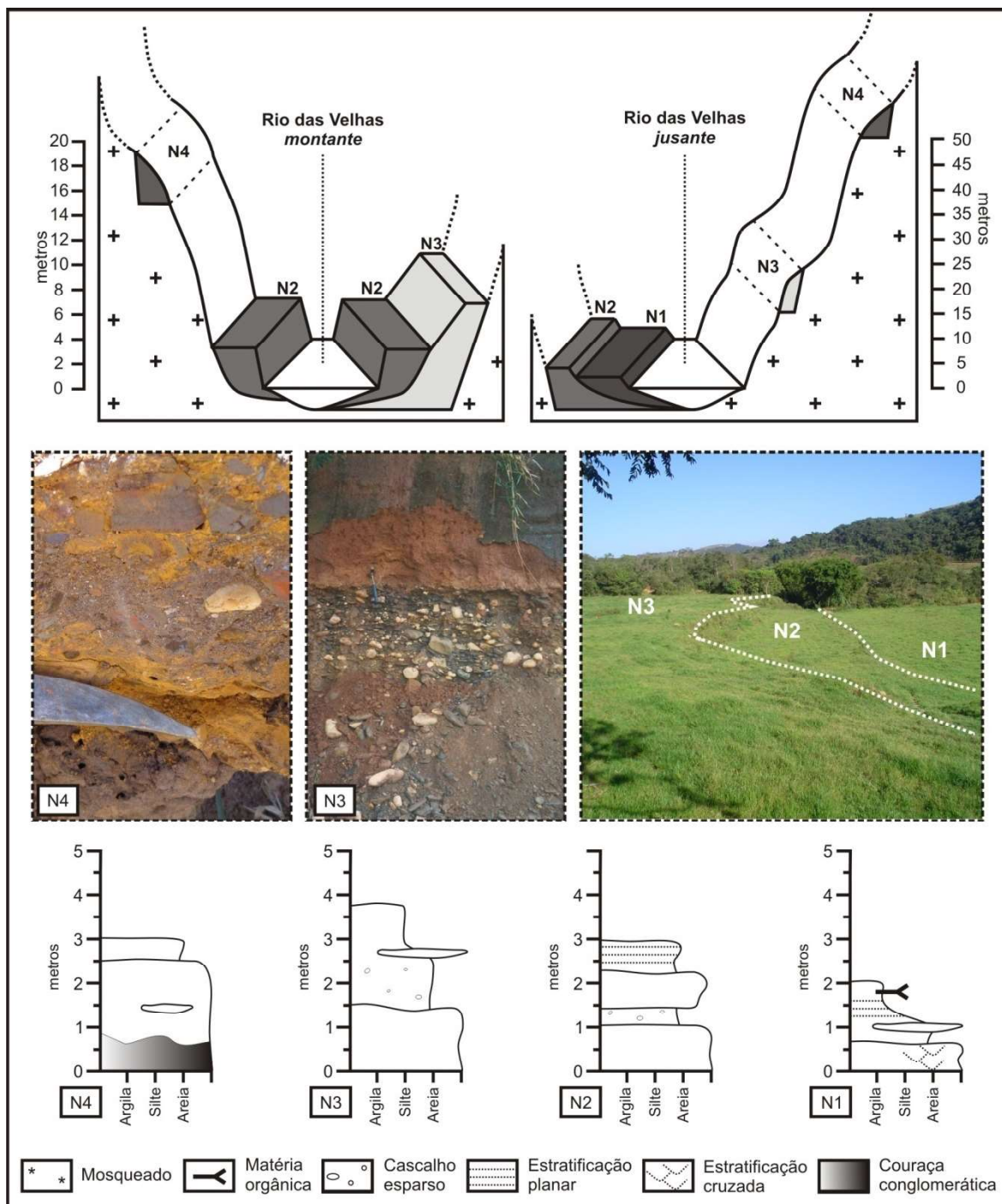


Figura 2 - Perfis transversais e estratigráficos de síntese dos níveis e sucessões deposicionais fluviais do vale do Rio das Velhas e suas imagens representativas.

iv. N1: planície de inundação embutida no N2, apresentando depósitos predominantemente arenosos com acumulações de matéria orgânica e ocorrência de estratificações cruzadas e plano-paralelas.

Magalhães Jr. *et al.* (2011) apresentam as idades obtidas por LOE para os depósitos dos níveis fluviais abandonados deste vale: ~48 ka, ~8 ka e ~1 ka para N4,

N3 e N2, respectivamente.

O vale do Rio Maracujá

Registros deposicionais de quatro níveis fluviais foram identificados no vale do Rio Maracujá, estando a maioria localizada no alto-médio curso (Figura 3):

- i. N4: encontrado a uma altura aproximada de 10-15 m, apresenta cascalho subanguloso a arredondado de quartzo claro e/ou escuro, podendo ocorrer matacão;
- ii. N3: encontrado quase sempre às margens do canal fluvial atual, a uma altura entre 1-3 m, apresenta cascalho subanguloso a arredondado de quartzo e fácies superior de material argilo-arenoso, podendo apresentar mosqueados vermelhos;
- iii. N2: sem contato visível com o substrato rochoso, suas sucessões deposicionais ainda apresentam

- estruturas sedimentares acanaladas e plano-paralelas e apresentam cascalho de quartzo, xisto/filito e itabirito subarredondados a arredondados, podendo ocorrer couraça conglomerática;
- iv. N1: planície de inundação apresentando cascalho de quartzo (predominante), xisto/filito e itabirito, com depósitos embutidos no N2, sendo que, localmente, a sedimentação atual recobre sedimentos relativos ao N2. Neste caso, a sedimentação atual é individualizada por uma discordância deposicional entre estes dois momentos.

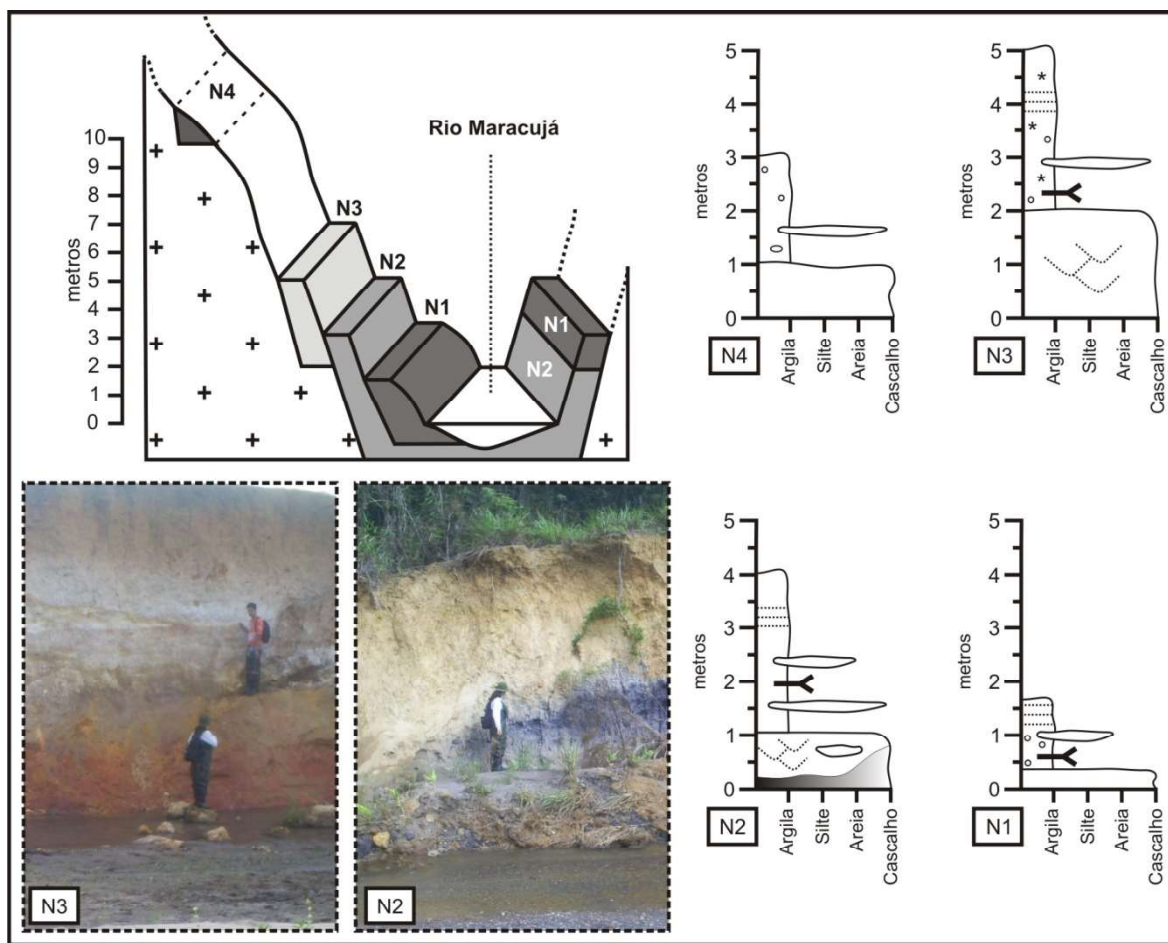


Figura 3 - Perfis transversais e estratigráficos de síntese dos níveis e sucessões deposicionais fluviais do vale do Rio Maracujá e suas imagens representativas.

Uma relativa concentração de topos entre as cotas de 1.020 m e 1.040 m na bacia e no vale do Rio Maracujá poderia revelar ainda uma paleosuperfície mais antiga que o N4, provavelmente abandonada no Pleistoceno Superior (VALADÃO e SILVEIRA, 1992; MAGALHÃES JR. *et al.*, 2012). Entretanto, não foram encontrados depósitos nestas altitudes.

Com a reanálise dos dados apresentados por

Magalhães Jr. *et al.* (2012) verificou-se a troca de duas das amostras datadas. Uma vez que ambas as amostras apresentam doses acumuladas e idades muito próximas, foi solicitada uma checagem do material amostrado e constatada a troca pelas características dos sedimentos. Assim, o novo quadro é mais condizente com a realidade geomorfológica observada em campo. Dessa forma, para ambas as amostras do N4 foram obtidas idades

de cerca de ~83 ka. Para o N3 a idade é de ~38 ka e para o N2 a idade é de ~28 ka. No caso do N1 não foi possível obter resultados reprodutíveis devido à pequena quantidade de grãos de quartzo nos sedimentos.

O vale do Ribeirão do Mango

No vale do Ribeirão do Mango, os registros deposicionais antigos são escassos, porém quatro níveis fluviais foram identificados (Figura 4):

- i. N4: depósito situado a cerca de 40 m de altura, tendo sido datado em ~50 ka. Apresenta cascalho heterométrico de quartzo, granito e itabirito, arredondado a anguloso, com presença de matriz argilosa e fácies superior de material argiloso;
- ii. N3: apresenta cascalho de quartzo sub-anguloso a

sub-arredondado, podendo ocorrer matacão. Ainda preservado como terraço, sua base está situada a até 2 m acima do canal atual;

- iii. N2: encaixado em relação ao N3 ou embutido no mesmo (mais à montante), contém cascalho basal sub-arredondado (de quartzo e itabirito, bem selecionado) e matriz de areia grossa, estando ferruginizados e cimentados e sobrepostos por material silto-argiloso maciço;
- iv. N1: planície de inundação com fácies silto-arenosa de cor cinza-escuro, com presença de lentes de matéria orgânica e lentes de areia de itabirito, ocorrendo estruturas deposicionais plano-paralelas.

Para as amostras dos níveis N2 e N1 não foi possível obter idades por LOE, devido à quantidade insuficiente de grãos de quartzo nos depósitos.

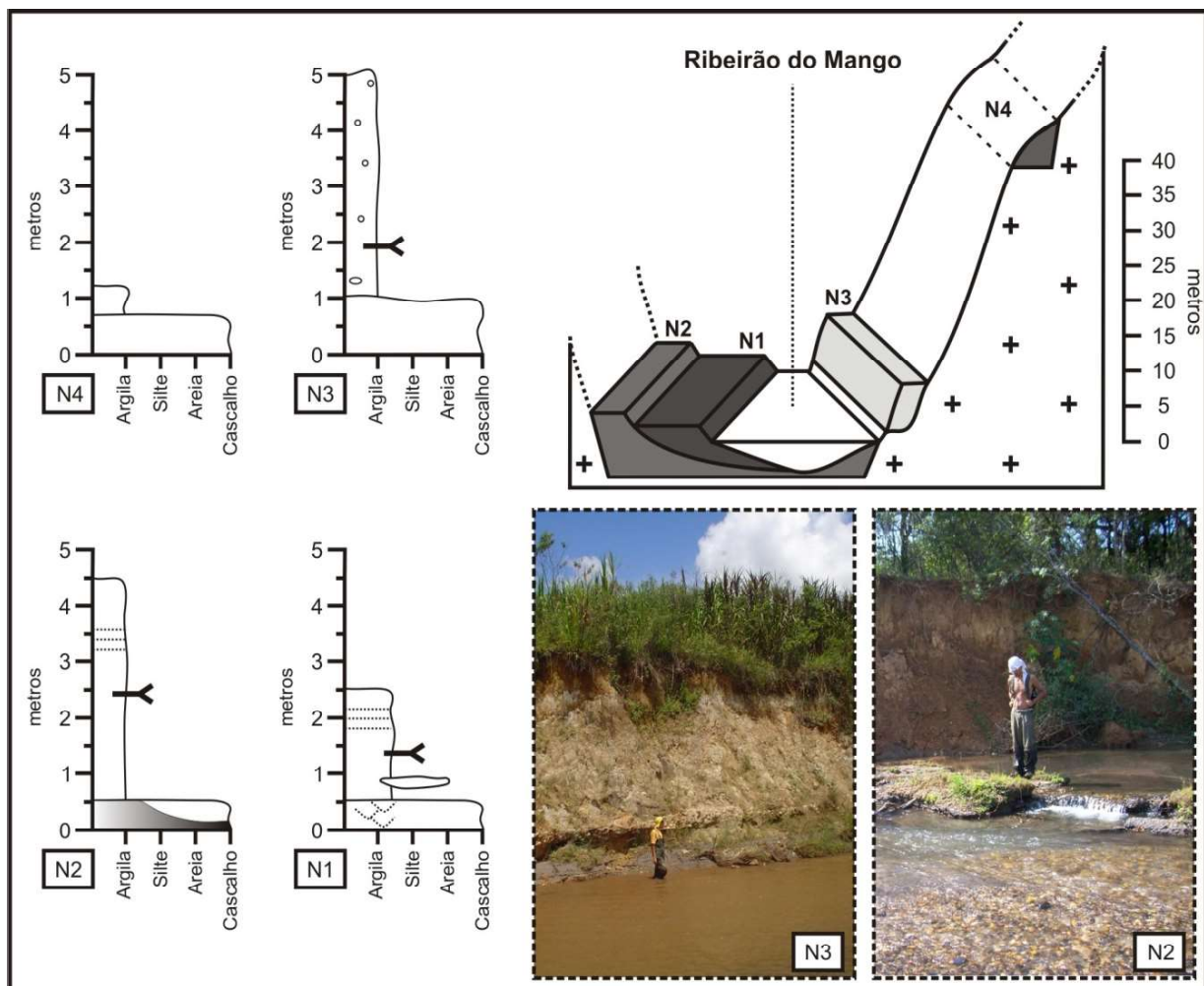


Figura 4 - Perfis transversais e estratigráficos de síntese dos níveis e sucessões deposicionais fluviais do vale do Ribeirão do Mango e suas imagens representativas.

O vale do Ribeirão Sardinha

Os registros fluviais no vale do Ribeirão Sardinha são ainda mais escassos. Foram identificados os seguintes níveis (Figura 5):

- i. N3: couraça conglomerática com cascalho subarredondado e matriz arenosa entre blocos de rocha, de modo análogo ao ambiente de corredeira no leito atual;
- ii. N2: datado em $\sim 7,5$ ka, não apresenta desnível basal em relação à drenagem atual e compõe-se de cascalho

- iii. N1: planície de inundação embutida no N2, apresenta grande variedade de sucessões estratigráficas, predominando sedimentos arenosos (areia muito fina a média) assentados sobre o substrato rochoso ou sobre o cascalho basal do N2, sendo estes, em geral, maiores que os transportáveis pelo regime atual.

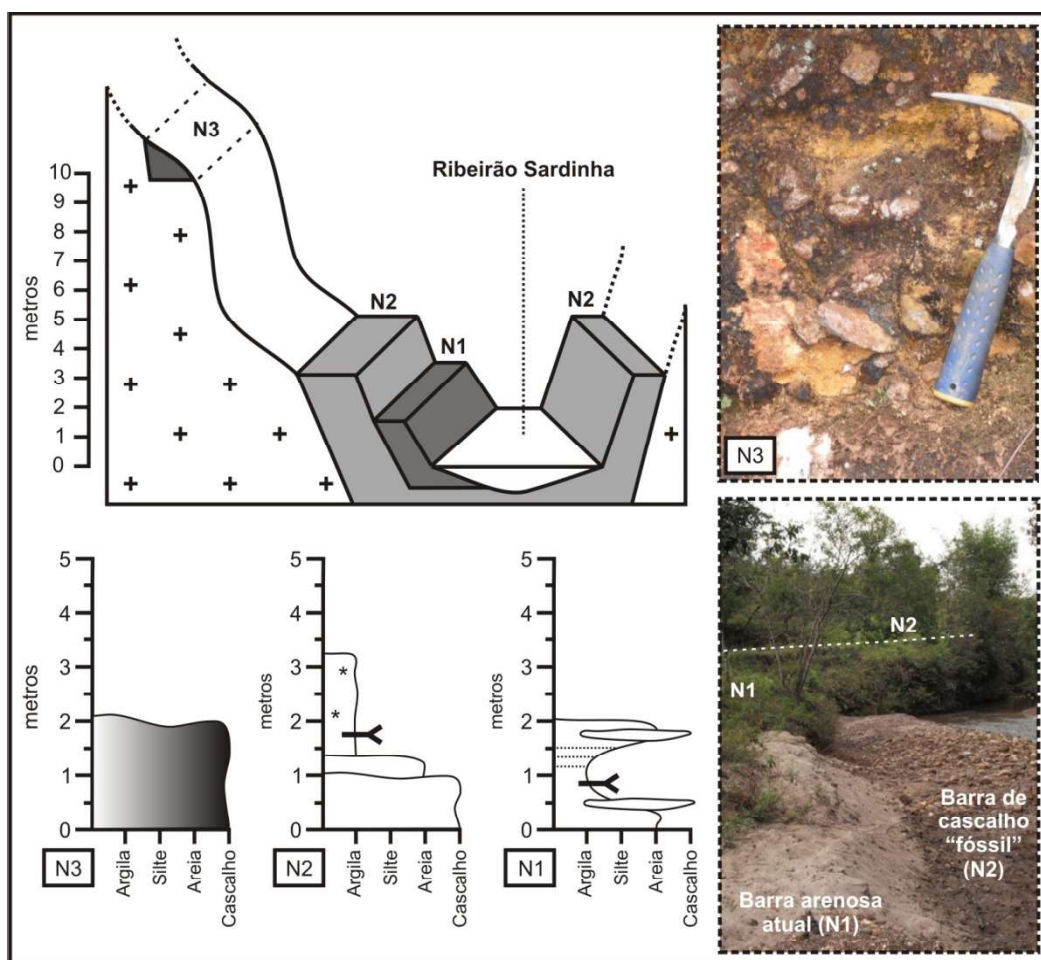


Figura 5 - Perfis transversais e estratigráficos de síntese dos níveis e sucessões deposicionais fluviais do vale do Ribeirão Sardinha e suas imagens representativas.

Destaca-se que o N2 é o único nível observável na maior parte do vale. O N1 se desenvolve apenas em trechos onde o vale é mais aberto, possibilitando o meandramento e, conseqüentemente, o desmonte do N2 e a formação do N1.

A datação de depósitos a 10 m e a 20 m de altura neste vale revelou idades muito abaixo do esperado:

18 ka \pm 3 ka e 22,4 ka \pm 5 ka, respectivamente. Desse modo, estes registros sedimentares foram reavaliados e considerados depósitos originalmente fluviais retrabalhados por processos de vertente. No caso do depósito na alta vertente (20 m), certa inclinação da linha de seixos em direção oposta à da drenagem reforçaria a ideia do retrabalhamento. No caso do

depósito a 10 m de altura, o mesmo é subdesenvolvido e menos organizado em relação aos demais do vale.

O vale do Ribeirão Carioca

Apenas no fundo do vale do Ribeirão Carioca foram encontrados depósitos fluviais preservados (Figura 6). No entanto, cerca de 10 m acima da drenagem foram encontrados depósitos de colúvio com a presença de cascalho arredondado, denotando a pré-existência de níveis fluviais mais antigos. Os níveis fluviais preservados neste vale são a planície de inundação (N1) e um nível de baixo terraço (N2), cuja

base está situada entre 1-2 m acima da lâmina d'água e o topo a ~2 m acima do topo da planície.

No médio-baixo vale, o nível de terraço se caracteriza por apresentar sucessão deposicional rica em fácies de leito, com diversos ciclos de deposição de cascalho e areia (inclusive com estruturas preservadas). O cascalho, apesar de ter comprimento médio de aproximadamente 2 cm, pode atingir mais de 15 cm, sendo quase sempre de quartzo subarredondado e secundariamente de granito/gnaiss. A planície de inundação apresenta fácies bastante semelhantes às do terraço, porém a fácies basal, de leito, é dominante.

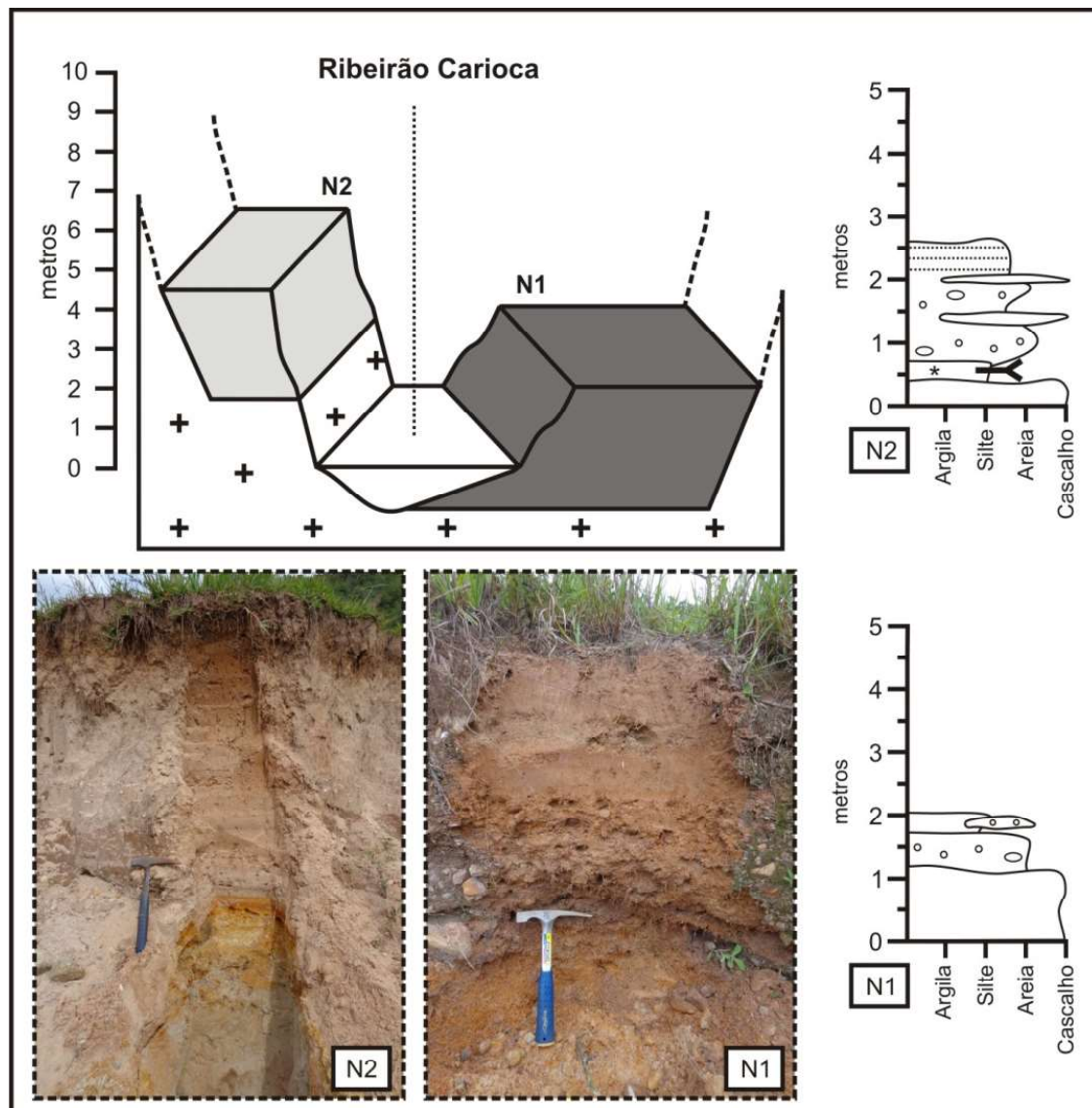


Figura 6 - Perfis transversais e estratigráficos de síntese dos níveis e sucessões deposicionais fluviais do vale do Ribeirão Carioca e suas imagens representativas.

Discussão

O contínuo trabalho fluvial na modelagem da paisagem varia entre estágios de equilíbrio, agradação e dissecação, em resposta a controles internos e externos ao sistema fluvial. Mesmo todos os vales investigados estando situados na mesma região, ocorrem variações de fatores litoestruturais, diferentes níveis de base e áreas de drenagem, etc. Assim, ainda que respondam aos mesmos controles regionais, cada uma das bacias investigadas possui uma sensibilidade diferente para ajuste dos processos fluviais e desenvolvimento de registros posicionais.

Consoante, os vales investigados possuem quantidade diferente de níveis fluviais, que apresentam idades variadas. Assim, os diversos eventos de sedimentação não têm registros preservados em todos os vales. A formação e a 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). Os processos dominantes nas vertentes e/ou o contexto tectônico local e regional desempenham, muitas vezes, o papel definitivo na determinação de onde os depósitos fluviais podem ser preservados (JACOBSON *et al.*, 2003; PAZZAGLIA, 2013). Nesse sentido, os vales encaixados estão sujeitos a erosão mais intensa e a movimentos de massa nas vertentes, “apagando” registros de níveis deposicionais mais antigos.

A bacia do alto Rio das Velhas apresenta depósitos com no máximo ~84 ka (N4 do vale do Rio Maracujá) na região do Quadrilátero Ferrífero. Entretanto, em área cárstica do médio Rio das Velhas, registros de níveis superiores estão preservados, sendo os mais antigos encontrados em topos de colinas (PINTO, 2009). Datações por LOE realizadas nestes depósitos superiores, revelam idade média de ~131,4 ka (MAGALHÃES JR. *et al.*, *em preparação*). Nesse sentido, registros mais antigos não são encontrados no alto Rio das Velhas devido às condições menos favoráveis para formação e preservação dos depósitos, em razão do relevo com alto gradiente.

Na bacia do alto Rio das Velhas, colúvios com cascalho com características de transporte fluvial (situados cerca de 20 m acima da drenagem) podem ser associados a níveis mais antigos no vale do Ribeirão

Sardinha, assim como topos nivelados entre as cotas de 1.020-1.040 m (80-100 m de altura) no vale do Rio Maracujá (MAGALHÃES JR. *et al.*, 2012).

Vale acrescentar que poucos depósitos apresentam as características necessárias para a coleta de boas amostras para datação por LOE, devido à ausência de lentes ou camadas arenosas relativamente homogêneas e com a espessura adequada nos pacotes sedimentares. Assim, o estabelecimento de uma clara cronologia para os eventos de sedimentação fluvial na bacia do alto Rio das Velhas não é tarefa simples. Nesse sentido, novos trabalhos baseados em diferentes técnicas poderão permitir futuramente uma avaliação mais crítica dos resultados apresentados.

O quadro regional

Na bacia do alto Rio das Velhas, a fase mais antiga de evolução do sistema fluvial é registrada pelo N4 do Rio Maracujá, com ~82 Ka. Sendo o afluente do Rio das Velhas situado mais à montante dentre os investigados, o vale do Rio Maracujá teria sido menos afetado pelas vagas erosivas geradas pela drenagem tronco, permitindo a preservação de registros mais antigos. Além disso, a litoestrutura mais frágil (Embasamento Cristalino) presente na maior parte da bacia teria favorecido uma maior abertura do vale e maior desenvolvimento dos depósitos.

Uma segunda fase registrada na bacia do alto Rio das Velhas é revelada pelos depósitos com idade média de 49 Ka, correspondentes ao N4 dos rios das Velhas e Mango. No vale do afluente os registros são muito escassos, porém no vale do Rio das Velhas são mais comuns e os sedimentos estão frequentemente ferruginizados ou cimentados.

A terceira fase de evolução do sistema fluvial regional tem nos depósitos do N3 dos rios Maracujá e Mango o seu registro. Em ambos os vales, este nível é encontrado como baixo terraço, sendo a idade no vale do Rio Maracujá igual a ~38 Ka. Um nível correspondente em afluente do Rio Maracujá foi datado em ~32 ka anos AP via radiocarbono (BACELLAR *et al.*, 2005), reforçando a existência de um momento de agradação dos vales neste período. Desse modo, para a associação desses registros, a idade obtida para o N3 do Ribeirão do Mango (~17 Ka) foi desconsiderada, tendo em vista as evidências de campo e a possibilidade de remobilização do material amostrado. Esta fase seria desenvolvida

após um período de dissecação, evidenciado pelo escalonamento dos níveis deposicionais em relação aos da fase anterior. No vale do Rio Maracujá este período teria sido dilatado ou os registros deposicionais formados entre ~82 Ka e ~38 Ka foram subdesenvolvidos, pois não foram preservados. Pela mesma razão, também não se observam depósitos entre ~49 Ka e ~10 Ka no vale do Rio das Velhas.

A quarta fase também é testemunhada por níveis escalonados preservados como baixos terraços (N2) nos vales dos rios Maracujá e Mango. Apenas para o primeiro foi possível obter uma idade para os depósitos, igual ~28 Ka. Após a formação dos níveis nesta fase, não ocorreu significativo encaixamento no substrato rochoso em ambos os vales, tendo em vista os depósitos mais novos estarem embutidos. Além das evidências geomorfológicas, a presença de couraças ferruginosas nos depósitos de ambos os vales permite associa-los a um mesmo momento de evolução do sistema fluvial. Em alguns trechos, os cursos d'água correm sobre esses materiais (Figura 4). Por este critério, o N3 do Ribeirão Sardinha também teria sido formado nesta fase. Neste caso, no entanto, houve encaixamento significativo da drenagem posteriormente à formação do N3, o que estaria relacionado ao recuo de um *knickpoint* observado junto à ocorrência dos depósitos deste nível.

Uma quinta fase teria como registros o N3 do Rio das Velhas e N2 do Ribeirão Sardinha, tendo os seus depósitos uma idade média de ~8 Ka. Enquanto no principal os registros são encontrados como baixos terraços entre 0 e 15 m acima do rio atual, no tributário não houve encaixamento no substrato rochoso após esta fase e, assim, os depósitos mais novos são encontrados embutidos. Desse modo, sendo muito recente, a vaga erosiva gerada no curso d'água principal ainda não atingiu todo o vale, tampouco a maioria dos afluentes.

A sexta fase de evolução do sistema fluvial regional é marcada pelo N2 dos rios das Velhas e Carioca. Apesar da idade média muito semelhante em ambos os vales, equivalente a ~1 Ka, a situação dos registros é diferente. No vale principal, esta fase é percebida por baixos terraços sem encaixamento posterior no substrato rochoso, de modo que a planície de inundação é encontrada embutida. No afluente, no entanto, o baixo terraço correspondente tem sua base cerca de 2 m acima do rio atual. Desse modo, uma resposta tardia à vaga erosiva gerada no Rio das Velhas entre as fases cinco e seis seria manifesta no vale do Ribeirão Carioca entre

as fases seis e sete. Esse quadro pode revelar ainda um soerguimento local. As condições mais úmidas do clima atual e a ausência de couraças ferruginosas no fundo do vale, bem como sua posição mais à jusante no Complexo Bação, podem ter contribuído para o fato deste vale ser o único onde se observa incisão no substrato rochoso no Holoceno Superior. Desse modo, a propagação da vaga erosiva ainda não atingiu os afluentes situados mais à montante, tendo em vista a ocorrência de diversos níveis de base locais que teriam freado sua propagação. No vale do Ribeirão Sardinha, os depósitos com idade correspondente a esta fase são encontrados na planície de inundação. Tendo em vista o conjunto, apesar da falta de datações, acredita-se que o desenvolvimento das planícies de inundação (N1) dos vales dos rios Maracujá e Mango também tenha tido início nesta fase.

A sétima e última fase corresponde à formação das planícies de inundação (N1) nos vales dos rios das Velhas e Carioca, com depósitos com menos de 1 Ka. Entretanto, os contextos são diferentes em cada vale. As características faciológicas e a idade muito recente do N1 sugerem que seus depósitos são uma resposta às alterações hidrossedimentológicas na bacia do alto Rio das Velhas, provocadas pela ocupação antrópica secular (garimpo histórico, desmatamento, pecuária, mineração, expansão de áreas urbanas, etc.). No Ribeirão Carioca, apesar de também muito recente, o desenvolvimento da planície de inundação seria um ajuste natural, tendo em vista os registros estarem encaixados em relação aos depósitos do nível mais antigo e possuírem características estratigráficas semelhantes.

Os controles fundamentais

Situado em uma área de contato entre o Cráton do São Francisco e antigas faixas móveis 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 apresentado anteriormente. Em geral, trata-se de uma tectônica de caráter ressurgente, que se aproveita de estruturas herdadas de ciclos geotectônicos antigos. Às movimentações induzidas por tensões intraplaca, ligadas ao deslocamento nas bordas da Placa Sul-Americana – envolvendo compressão horizontal WNW-ESSE (HASUI, 1990) ou NW-SE com variações locais para E-W e N-S (SAADI, 1993) – soma-se a movimentação epirogenética induzida pelo

equilíbrio das massas crustais em resposta à intensa desnudação regional.

Alguns indícios e evidências do condicionamento tectônico sobre a evolução dos vales fluviais na região podem ser destacados. No vale do Rio das Velhas, os registros do nível fluvial mais antigo (N4) teriam sido deslocados por movimentações tectônicas diferenciais, pois os maiores desníveis ocorrem de modo brusco e estão coincidentemente localizados nos contatos entre os domínios morfoestruturais regionais (MAGALHÃES JR. e SAADI, 1994). Destaca-se o papel da Serra do Curral como uma eficiente barreira no escoamento dos sedimentos produzidos na área *core* do Quadrilátero Ferrífero para a depressão de Belo Horizonte. No caso do N3, à montante da Serra do Curral podem ser encontrados depósitos com até 40 m de espessura, enquanto à jusante o máximo observado é de 10 m. Uma possível reativação de antigas falhas indiscriminadas e de empurrão de direção NE-SW, perpendiculares ao Rio das Velhas, pode ter condicionado essa dinâmica. Desse modo, o rompimento da “barreira” representada pela garganta na Serra do Curral geraria vagas erosivas que se propagariam para os tributários a diferentes taxas, em razão de variações litoestruturais e da presença de *knickpoints*.

Na Depressão de Belo Horizonte, Magalhães Jr. e Saadi (1994) também descrevem falhamento normal de direção NE-SW e rejeito de 1,5 m em depósito basculado em sentido NW, correlato ao N3 descrito neste trabalho. A própria organização diferenciada dos níveis fluviais ao longo do vale do Rio das Velhas – ora embutidos, ora com maiores desníveis – pode ser reflexo de uma tectônica em blocos. As principais rupturas no perfil longitudinal do alto Rio das Velhas estão relacionadas a expressivas falhas de empurrão NE-SW herdadas do Ciclo Brasileiro, as quais podem representar os principais eixos de movimento desses blocos (MAGALHÃES JR. *et al.*, 2011).

Mais à montante, o conjunto de falhas NNW-SSE e NE-SW que limita o Complexo Bação a E e SE (presente em mapas de maior detalhe) teria servido de plano regional para a reativação que provocou certo basculamento de patamares em direção a E no vale do Rio Maracujá, tais como hemigrabens (LANA e CASTRO, 2010). Este basculamento é proposto com base na configuração de calhas assimétricas, com maior desenvolvimento morfológico em sua margem esquerda e confinamento junto às encostas na margem direita.

Também na bacia do Rio Maracujá, Bacellar *et al.* (2005) identificaram deformações neotectônicas com juntas e falhas transcorrentes em registros sedimentares fluviais correlatos aos descritos neste trabalho.

Uma forte evidência de uma tectônica positiva na evolução neocenozoica dos vales da bacia do alto Rio das Velhas vem do escalonamento dos níveis deposicionais fluviais. Conforme Bridgland e 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, a maioria dos níveis de sedimentação fluvial é separada 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 um possível comportamento em blocos e 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). Os níveis fluviais isolados foram assim classificados provavelmente pela escassez de registros, tendo em vista serem os mais antigos.

Quanto ao controle climático, uma influência marcante na região está relacionada à formação de couraças ferruginosas nos depósitos, presentes no N4 do Rio das Velhas, N3 do Ribeirão Sardinha e N2 dos rios Mango e Maracujá. Essas couraças, em sua maioria, apresentam-se como espessos pacotes de cascalho e areia cimentados por óxi-hidróxidos de ferro, com um caráter conglomerático. Análises geoquímicas, mineralógicas e em microscópio desses materiais foram discutidas por Barros *et al.* (2016a). 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.

A partir da análise dos registros deposicionais fluviais dos vales dos rios Mango e Conceição (afluente da bacia do Rio Doce no Quadrilátero Ferrífero), Barros *et al.* (2016b) propuseram um modelo para a formação de couraças ferruginosas nesses vales que poderia ser estendido para outros vales do Quadrilátero Ferrífero. As bacias dos rios das Velhas e 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 em fases mais secas/frias, em que a cobertura vegetal é ineficiente na proteção das encostas. Além disso, há nessas áreas uma abundante exportação geoquímica de Fe pelo intemperismo dos itabiritos capeados por cangas. Assim, em períodos mais secos/frios, a formação de espessos pacotes de sedimentos grossos nos fundos de vale facilitaria a flutuação do nível de saturação de águas enriquecidas em Fe. Esse processo seria o responsável pela cimentação dos sedimentos, a partir da precipitação de óxi-hidróxidos de ferro na “frente de oxidação” formada no contato da zona saturada com a insaturada (BARROS *et al.*, 2016a,b).

Esse modelo poderia ser válido para as demais ocorrências de couraças da bacia do alto Rio das Velhas, tendo em vista que os níveis com couraças nos vales dos rios das Velhas (N4, ~48 Ka) e Maracujá (N2, ~28 Ka) apresentam depósitos com idades coincidentes com períodos mais secos/frios, precedidos e sucedidos por períodos mais úmidos quentes em Minas Gerais definidos na literatura.

As condições climáticas mais secas/frias por volta de 50 Ka foram evidenciadas pela reconstituição de um ambiente de savana em áreas hoje ocupadas por matas, conforme estudos polínicos conduzidos por Ledru *et al.* (1996), Behling e Lichte (1997) e Ledru *et al.* (2005). Do mesmo modo, muitos testemunhos no Brasil são marcados pela ausência de registros deposicionais entre ~25-16 ka, o que marcaria um período generalizado de aridez durante o Último Máximo Glacial – UGM (LEDRU, 1992; LEDRU *et al.*, 1998). Nesse período, Behling e Lichte (1997) estimaram para a região 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, se aproximando da idade do N3 do Rio Maracujá (~38 ka). Após o UGM, em geral, 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.

As alterações climáticas – induzindo alterações

hidrossedimentológicas nas bacias – teriam ainda condicionado o abandono dos níveis com couraça nos vales dos rios Maracujá e Mango e a formação das planícies de inundação. Essa seria uma resposta às novas condições do Holoceno, conforme observado em diversas áreas do globo (THOMAS, 2008). A organização dos níveis deposicionais N2 e N1 nos vales desses cursos d'água não é compatível com condicionantes tectônicos para o abandono dos níveis que preencheram seus fundos de vale (N2). Isso porque estes níveis ainda se encontram nessa posição, sem desnível para o canal atual, de modo que os depósitos mais novos se encontram embutidos (N1). Também não há indícios ou evidências de grandes rearranjos holocênicos na drenagem de suas bacias hidrográficas que justificassem uma alteração do regime hidrossedimentológico pela perda de áreas de drenagem.

No registro analisado por Parizzi *et al.* (1998), em Lagoa Santa, o clima atual teria se estabelecido a ~4,6 ka, apesar de serem constatadas pequenas oscilações na precipitação entre 3 ka AP e o presente. Estas oscilações também foram observadas por Salgado-Labouriau *et al.* (1998) para outras áreas do Brasil Central. Entretanto, nos depósitos analisados por Behling (1995; 2003) e Enters *et al.* (2010), o clima atual só se manifestaria a ~1 ka, com a estabilização da floresta semidecídua, idade equivalente à do N2 dos rios das Velhas e Carioca e N1 do Ribeirão Sardinha (Tabela 2).

Conclusão

Os registros deposicionais fluviais da bacia do alto Rio das Velhas são componentes essenciais para a compreensão da geomorfogênese neocenozoica no Quadrilátero Ferrífero. O conjunto de dados discutidos neste trabalho revela uma paisagem fluvial jovem, com níveis fluviais com 50 Ka a até 50 m acima da drenagem atual. Os sistemas fluviais analisados também se mostraram sensíveis às forças tectônicas e oscilações climáticas do Quaternário Superior. 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 é marcante inclusive no Holoceno, sendo observado encaixamento de cerca de 15 m do Rio das Velhas a partir de ~8 Ka e de 1-2 m do

Ribeirão Carioca a partir de ~1 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 que o atual;

As oscilações climáticas também explicariam, ao menos em parte, o embutimento das planícies de inundação dos rios Maracujá, Mango e Sardinha no nível anterior, uma vez que o abandono deste não estaria relacionado a uma nova fase de encaixamento da drenagem nestes vales;

As datações por LOE são, em geral, consistentes e constituem um primeiro passo para a compreensão dos eventos geomorfogenéticos responsáveis pela esculturação do relevo no Quadrilátero Ferrífero a partir de sua associação com a de registros deposicionais fluviais das bacias vizinhas.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29–58, 1998.

ARAUJO, A.G.M.; NEVES, W.A.; PILÓ, L.B.; ATUI, J.P.V. Holocene dryness and human occupation in Brazil during the “Archaic Gap”. **Quaternary Research**, v. 64, p. 298–307, 2005.

BACELLAR, L.A.P.; COELHO NETTO, A.L.; LACERDA, W.A. Controlling factors of gullying in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p. 1369–1385, 2005.

BARBOSA, G.V.; RODRIGUES, D.M.S. **Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte. IGC/UFGM. 1967. 130p.

BARROS, L.F.P.; MAGALHÃES JR., A.P. Quaternary alluvial sedimentation in the Conceição river valley, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 535–554, 2013.

BARROS, L.F.P.; LAVARINI, C.; LIMA, L.S.; MAGALHÃES JR., A.P. Síntese dos cenários paleobioclimáticos do Quaternário Tardio em Minas Gerais/Sudeste do Brasil. **Sociedade &**

natureza, v. 23, n. 3, p. 371–386, 2011.

BARROS L.F.P.; OLIVEIRA F.S.; MAGALHÃES JR., A.P. Implicações geomorfológicas de couraças em níveis fluviais pleistocênicos no Quadrilátero Ferrífero/MG. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 11, 2016, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: UGB. 2016a.

BARROS L.F.P.; GOMES COE H.H.; SEIXAS A.P.; MAGALHÃES JR. A.P., MACARIO K.C.D. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 71–88, 2016b.

BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: Vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, v. 14, p. 253–268, 1995.

BEHLING, H. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 12, p. 263–270, 2003.

BEHLING, H.; LICHTER, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 48, p. 348–358, 1997.

BRIDGLAND, D.; WESTAWAY, R. Climatically controlled river terrace staircases: a worldwide Quaternary phenomenon. **Geomorphology**, v. 98, p. 285–315, 2008.

CAMPOS, M.I.B. **Caracterização da deformação frágil e sua relação com os processos de voçorocamento na porção sudeste do Complexo Metamórfico Bação – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. 156 p.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 903–916, 2010.

CHEREM, L.F.S.; RAMOS, V.D.V.; LOPES, F.W.A.; MACEDO, D.R.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P., SALGADO, A.A.R. Níveis e Seqüências Depositionais Fluviais no Médio e Baixo Vale do Ribeirão do Caraça – borda oriental do Quadrilátero Ferrífero/MG. In: II Encontro Latino Americano de Geomorfologia, 2, VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, 2008, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: UFGM. 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS,

- CPRM. **Mapa geológico do Brasil ao milionésimo**. Rio de Janeiro. 41 CDs, 1 DVD, 2005.
- COSTA, A.T.; NALINI JR, H.A.; CASTRO, P.T.A.; TATUMI, S.H. 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**, v. 63, n. 4, p. 703–714, 2010.
- DORR, J.V.N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. United States Geological Survey. (Professional Paper 641A). 110 p., 1969.
- EASTERBROOK, D.J. **Surface Processes and Landforms**. 2ª Edição. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1999. 546 p.
- ENTERS, D.; BEHLING, H.; MAYR, C.; DUPONT, L.; ZOLITSCHKA, B. Holocene environmental dynamics of south-eastern Brazil recorded in laminated sediments of Lago Aleixo. **Journal of Paleolimnology**, v. 44, p. 265–277, 2010.
- FIGUEIREDO, M.A.; VARAJÃO, A.F.D.C.; FABRIS, J.D.; LOUTFI, I.S.; CARVALHO, A.P. Alteração Superficial e Pedogeomorfologia no Sul do Complexo Bação – Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 713–729, 2004.
- GOMES, M.O.S.; RODRIGUES, M.F.; DELICIO, M.P. Evolução paleoclimática e paleoecológica da bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto (MG), com base na microflora. In: XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia, 21., 2009, Belém. **Anais...** Belém, 2009, p. 37.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: I Workshop Sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, 1., 1990. Belo Horizonte. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Minas Gerais**, Belo Horizonte: SBG-MG, 1990, p. 1-31
- JACOBSON, R.; O'CONNOR, J.E.; OGUCHI, T. Surficial geologic tools in fluvial geomorphology. In: KONDOLF, G.M.; PIEGAY, H. (Eds.). **Tools in fluvial geomorphology**. Chichester: Wiley, 2003, p. 25–57.
- LANA, C.E.; CASTRO, P.T.A. Variabilidade morfológica em níveis de base do rio Maracujá (Quadrilátero Ferrífero MG): influências litológicas, estruturais e de reativações cenozóicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 21–30, 2010.
- LEDRU, M.-P. Modification de la végétation du Brésil central entre la dernière époque glaciaire et l'interglaciaire actuel. **Comptes Rendus de l'Academie des Sciences**, v. 314(2), p. 117–123, 1992.
- LEDRU, M.-P.; SOARES BRAGA, P.I.; SOUBIÈ, S.F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. **Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 123, p. 239–257, 1996.
- LEDRU, M.-P.; BERTAUX, J.; SIFEDDINE, A.; SUGUIO, K. Absence of last glacial maximum records in lowland tropical forest. **Quaternary Research**, v. 49, p. 233–237, 1998.
- LEDRU, M.-P.; ROUSSEAU, D.-D.; CRUZ JÚNIOR, F.W.; RICCOMINI, C.; KARMANN, I.; MARTIN, L. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. **Quaternary Research**, v. 64, p. 444–450, 2005.
- LIPSKI, M. **Tectonismo cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002. 171 p.
- MAGALHÃES JR, A.P.; SAADI, A. 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**, v. 2, n. 1, p. 42–54, 1994.
- MAGALHÃES JR., A.P.; CHEREM, L.F.S.; BARROS, L.F.P.; SANTOS, G.B. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: Late Cenozoic tectonic and climatic implications. **Geomorphology**, v. 132, p. 187–194, 2011.
- MAGALHÃES JR., A.P.; BARROS, L.F.P.; RAPOSO, A.A.; CHEREM, L.F.S. Dinâmica fluvial quaternária do Rio Maracujá, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 3–14, 2012.
- MAGALHÃES JR., A.P.; BARROS, L.F.P.; CHEREM, L.F.S.; PINTO, R. Eventos neocenoicos de reorganização de rede de drenagem: um paleovale do Rio das Velhas (MG) em seu médio curso? *Em preparação*.
- MARQUES, M.R. **Morfodinâmica fluvial cenozóica no vale do Rio Paraopeba entre o Fecho do Funil e Juatuba, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997. 83 p.
- MEDINA, A.I.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. Geomorfologia. In: **PROJETO APA SUL RMBH - Estudos do Meio Físico**. Belo Horizonte: CPRM/SEMAD/CEMIG, v. 6, 2005.

- MONTEIRO, H.S.; VASCONCELOS, P.M.; FARLEY, K.A.; SPIER, C.A.; MELLO, C.L. (U–Th)/He geochronology of goethite and the origin and evolution of cangas. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 131, p. 267–289, 2014.
- MOREIRA, P.F. **Depósitos cenozóicos e evolução morfodinâmica na bacia do Ribeirão Serra Azul (médio Rio Paraopeba), Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1997. 104 p.
- MURRAY, A.S.; WINTLE, A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, n. 1, p. 57–73, 2000.
- OLIVEIRA, P.E. **A palynological Record of late Quaternary vegetational and climatic change in southeastern Brazil**. PhD Thesis. Columbus, The Ohio State University – USA. 1992. 238 p.
- PARIZZI, M.G.; SALGADO–LABOURIAU, M.L.; KHOLER, H.C. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. **The Holocene**, v. 8, p. 311–321, 1998.
- PAZZAGLIA, F.J. Fluvial Terraces. In: WOHL, E. (Ed.). **Treatise on Fluvial Geomorphology**. New York: Elsevier, 2013. p. 379–412.
- PINTO, R.C. **Eventos deposicionais cenozóicos no médio vale do rio das Velhas: paleoníveis deposicionais e dinâmica atual**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. 216 p.
- RAPOSO, A.A.; OLIVEIRA, L.F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P.; CHEREM, L.F.S. Níveis e sequências deposicionais do vale do ribeirão do Mango, Quadrilátero Ferrífero/MG. In: II Encontro Latino Americano de Geomorfologia, 2, VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, 2008, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: UFMG. 2008.
- ROSSI, P.G.G. **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, Belo Horizonte. 2008. 69 p.
- SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intra-placa, descontinuidades crustais e morfogênese**. Tese (Concurso de Professor Titular do IGC/UFMG). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte, 1991.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. **Geonomos**, v. 1, n. 1, p. 1–15, 1993.
- SALGADO, A.A.R.; CARMO, F.F. ‘Quadrilátero Ferrífero’: A Beautiful and Neglected Landscape Between the Gold and Iron Ore Reservoirs. In: Vieira B.C.; Salgado A.A.R.; Santos L. (Orgs.). **Landscapes and Landforms of Brazil**. 1ª ed. Amsterdam: Springer Netherlands, 2015. p. 319–330.
- SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN F.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A.F.D. C.; NALINI JR.; H.A. 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**, v. 32, p. 905–911, 2007.
- SALGADO, A.A.R.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F.; VARAJÃO, A.F.D.; NALINI JUNIOR, H.A. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 52, p. 317–323, 2008.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L.; BARBIERI, M.; FERRAZ-VICENTINI, K.R.; PARIZZI, M.G. A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, p. 115–129, 1998.
- SANT’ANNA, L.G.; SCHORSCHER, H.D, RICCOMINI, C. Cenozoic Tectonics of the Fonseca Basin Region, Eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 10, n. 3–4, p. 275–284, 1997.
- SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA – SEA. **Atlas de zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais**. 1980. Disponível em: <<http://www.ide.ufv.br/geominas/>>. Acesso em: 03 jul 2015.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação e sua interpretação e importância**. Curitiba: UFPR, 1979. 183 p.
- SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. Nova Iorque: John Wiley & Sons 1991. 537 p.
- THOMAS, M.F. Understanding the impacts of Late Quaternary change in tropical and sub-tropical regions. **Geomorphology**, v. 101, p. 146–158, 2008.
- UHLEIN, A.; NOCE, C.A. Quadrilátero Ferrífero. In: CARNEIRO, C.D.RR, HASUI, Y.; BARTORELLI, A. (Orgs.). **Geologia do Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Beca, v. 1, 2012. p. 228–235.
- VALADÃO R.C.; SILVEIRA J.S. Estratigrafia Quaternária e evolução do Relevo no Complexo do Baçõ, Dados Preliminares. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 45, p. 85–87, 1992.

VARAJÃO, C.A. A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, p. 131–145, 1991.

VARAJÃO, C.A.C.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.F.D.C.;

BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JR., H.A. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1409-1425, 2009.