

Artigo de Pesquisa

Caracterização morfométrica, morfológica e sedimentar de leques aluviais dissecados: um novo olhar sobre os depósitos de encostas do Quadrilátero Ferrífero

Morphometric, morphological and sedimentary characterization of eroded alluvial fans: a new glance upon the slope deposits of the Quadrilátero Ferrífero

Fabrizio Antonio Lopes ¹, Paulo de Tarso Amorim Castro ² e Cláudio Eduardo Lana ³

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. fabrizioantoniolopes@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-9107>

² Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. ptacastro@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7667-0161>

³ Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Ouro Preto, Brasil. claudiolana@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9502-3499>

Recebido: 07/11/2020; Aceito: 13/05/2021; Publicado: 15/01/2022

Resumo: Este artigo apresenta dados morfológicos, morfométricos e sedimentares de leques aluviais inativos assentados sobre as médias e altas vertentes do Quadrilátero Ferrífero, provenientes das regiões altas adjacentes aos principais vales fluviais. No levantamento dos dados morfométricos e morfológicos, além de cartas topográficas e imagens do *Google Earth*, utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2, sensor MSI, nas bandas 2, 3, 4 e 8 de resolução espacial em 10m, obtidas através da programação *Javascript* na plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Em campo foi possível levantar perfis de fácies e interpretar os processos sedimentares bem como o contexto paleoambiental no qual os leques foram gerados. Tratam-se de depósitos com adiantados processos erosivos ocasionados pela ocupação humana e, principalmente, pela alta incisão dos cursos de drenagem ocorridas no Holoceno. O desmantelamento dos depósitos refletiu na assimetria dos leques, contrariando os tradicionais formatos semicônicos em regiões áridas e semiáridas do globo. Todos os leques aluviais estudados foram gerados por processos desconfiados de alta energia, principalmente fluxos de detritos pseudoplásticos. Ao cotejar as idades disponíveis para os leques investigados, obtidas por luminescência opticamente estimulada, com os dados paleoclimáticos disponíveis para região sudeste do Brasil foi possível concluir que as fácies datadas foram colmatadas em um paleoclima seco.

Palavras-chave: Fluxo de detritos, Paleoambiente, Sensoriamento remoto.

Abstract: This article presents morphological, morphometric and sedimentary data of inactive alluvial fans sitting on the medium and high slopes of the Quadrilátero Ferrífero, deriving from the high regions adjacent to the main fluvial valleys. In the survey of morphometric and morphological data, in addition to using topographic maps and images from Google Earth, images from the Sentinel-2 satellite, MSI sensor, in the bands 2, 3, 4 and 8 of 10m spatial resolution were used. These images were obtained based on Javascript programming in the Google Earth Engine (GEE) platform. During field work it was possible to raise facies profiles and interpret the sedimentary processes as well as the paleoenvironmental context in which the alluvial fans were generated. These are deposits with advanced erosion processes caused by human occupation and, mostly, by the high incision of drainage courses that occurred in the Holocene. The dismantling of the deposits reflected in the asymmetry

of the alluvial fans, countering, therefore, the traditional semi-conical shapes of this features in arid and semiarid regions of the globe. The alluvial fans studied were generated by high energy unconfined processes, mainly by flows of pseudoplastic debris. By comparing the available ages for the investigated fans, obtained through optically stimulated luminescence, to the paleoclimatic data available for the southeastern Brazilian region, it was possible to conclude that the dated facies were filled in a dry paleoclimate.

Keywords: Debris flow, Paleoenvironment, Remote sensing.

1. Introdução

Leques aluviais configuram-se como depósitos de material detrítico e mal selecionado acumulados em formato semicônico nos vales instalados na periferia de regiões mais elevadas. Os sedimentos intemperizados em suas bacias alimentadoras são transportados por um canal confinado que adquire mobilidade lateral, expandindo-se em todas direções, formando um arco de 180° (BULL, 1977; LECCE, 1990; BLAIR e MCPHERSON, 1994; HARVEY, 1996; HARVEY, 2012; BAHRAMI, 2013). Para Bahrami (2013), sua gênese e evolução são controladas pela interação de fatores tectônicos e climáticos, não se podendo deixar de lado as características litológicas e morfométricas da área fonte. McPherson et al. (1987; 1988) acreditam que o clima raramente interfere nas características de um leque, estando este condicionado principalmente a questões tectônicas, litológicas, geomorfológicas e morfométricas da bacia à qual pertence.

Segundo Owen et al. (2014), por se tratarem de feições altamente sensíveis a mudanças ambientais, os leques aluviais podem conter importantes registros da dinâmica tectônica, climática e hidrológica de uma região. Mesmo importantes, os referidos depósitos, principalmente aqueles constituídos por colúvios, são subestimados em estudos de ambientes de deposição devido a sua alta susceptibilidade a processos erosivos e falta de critérios para seu reconhecimento, já que depósitos coluviais não estão inseridos nos modelos de fácies tradicionais (NEMEC e KAZANCI, 1999; LOPES et al., 2020).

Para Blair e McPherson (1994), os leques aluviais não fazem parte da dinâmica do sistema fluvial entrelaçado. De acordo com os autores, apesar de muito difundida, essa concepção é adotada sem levar em conta as diferenças nos eventos de sedimentação e características hidráulicas dos dois ambientes, dando importância apenas aos aspectos morfológicos. Ainda em acordo com Blair e McPherson (1994), também é precipitada a ideia de que a evolução de uma bacia hidrográfica seja a mesma que a do leque aluvial, isso porque eles respondem de maneira diferente a períodos de instabilidade tectônica e climática. Assine (2003) alerta para o fato de que, em estudos tectônicos, a existência de leques aluviais não confirma movimentação sinsedimentar, já que os depósitos não são necessariamente associados a escarpas de falhas ativas. Apesar disso, segundo Anstey (1965) e Blair e McPherson (1994), quando não desenvolvidos em ambiente de tectônica ressurgente seu potencial de preservação é baixo, o que justifica a inexistência de trabalhos desta natureza.

A natural escassez de água nas regiões áridas e semiáridas do globo contribui para manutenção dessas feições no sopé das escarpas, acrescidas e/ou erodidas apenas por fortes e esporádicas chuvas. A preservação de suas características morfológicas, hidráulicas e sedimentares facilita a aquisição de dados que alimentaram diversos trabalhos ao redor do globo (por ex. HARVEY, 1996; NEMEC e KAZANCI, 1999; TURNER e MAKHLOUF, 2002; OGUCHI e OGUCHI, 2004; MAKHLOUF et al., 2010; BAHRAMI, 2013; OWEN et al., 2014; dentre outros). Já em regiões de clima úmido, a alta disponibilidade de água favorece os processos pedogenéticos e erosivos na superfície dos leques, descaracterizando-os. O dismantelamento dos depósitos somado à alta densidade da vegetação tornam-se obstáculos na realização de trabalhos de campo e levantamento de dados (KOCHEL e JOHNSON, 1984; KESEL, 1985; DARBY et al. 1990; EVANS, 1991; NEVES et al. 2005; SAITO e OGUCHI, 2005; LOPES et al. 2020; dentre outros).

Em diversas regiões do Brasil, trabalhos de cunho tectônico identificaram depósitos de leques aluviais no preenchimento de grabens cenozoicos, como no caso dos rios das Mortes (SAADI, 1991), Airuoca (SANTOS, 1999) e Sapucaí (FERREIRA, 2001), em Minas Gerais, e Rezende (GONTIJO, 1999), no Rio de Janeiro. Neves et al. (2005) descreveram leques cenozoicos pré-quaternários na base de escarpas de falhas da Serra do Japi, em São Paulo. No Espírito Santo, Lana et al. (2016) estudaram leques aluviais quilométricos dominados por fluxo de gravidade.

No Quadrilátero Ferrífero escassos são os trabalhos focados em leques aluviais. Apesar disso, sua geomorfologia em cristas altas, platôs elevados, cânions profundos e vales amplos é propícia ao desenvolvimento da referida feição (DORR, 1969). Ademais, segundo Varajão (1991), a evolução da paisagem regional foi condicionada por falhamentos distensionais e soerguimentos epirogenéticos que, para Medina (2005), foram mais intensos no Neógeno e Quaternário. Embora a grande amplitude altimétrica e a tectônica ressurgente possam ter contribuído para o desenvolvimento dos leques regionais, essas mesmas variáveis, somadas à atuação de climas úmidos, viabilizam o consumo dos depósitos gerados, tendo em vista a densidade da vegetação, a instalação de formas erosivas, os adiantados processos pedogenéticos e as altas taxas de incisão fluvial (LOPES et al. 2020; BARROS e MAGALHÃES JÚNIOR, 2020; PEIFER et al. 2021). As referidas características os diferenciam dos leques de outras porções do mundo.

Nesta região, algumas pesquisas se fundamentaram no entendimento da evolução de terraços e planícies fluviais, tendo perifericamente descrito leques aluviais descaracterizados por processos erosivos e pedogenéticos nas bacias do rio Piracicaba (ROSSI, 2008) e ribeirão Serra Azul (MARQUES, 1997; MOREIRA, 1997; BARROS, 2015). Há trabalhos que atribuíram o termo tálus ao referido depósito, como os de Barbosa (1980), ao mencionar sedimentos no sopé da Serra de Ouro Branco e, de Sobreira (2001), ao estudar depósitos de cobertura na bacia do ribeirão do Carmo. Estudos pormenorizados sobre o tema são relatados apenas nas regiões da Chapada da Canga (CASTRO, 2017) e nas bacias dos ribeirões Casa Branca e Piedade (LOPES, 2017; LOPES et al., 2020).

Este artigo tem por objetivo analisar as características morfométricas, morfológicas e sedimentares de antigos e dissecados leques aluviais colmatados ao longo das médias e altas vertentes do Quadrilátero Ferrífero. São discutidos também os processos sedimentares e o contexto paleoclimático que levaram a sua geração. Além de fornecer dados inéditos e estudos integrados a respeito dessas feições sedimentares e geomorfológicas, este trabalho apresenta como diferencial a investigação de leques aluviais de maneira segregada dos terraços fluviais e demais depósitos de encosta da região, podendo melhorar e ampliar o horizonte das interpretações.

2. Área de Estudo

O Quadrilátero Ferrífero está localizado na porção meridional do Cráton São Francisco. Segundo Almeida (1977), compreende uma área de 7.000km² onde afloram complexos granito-gnáissicos e migmatíticos rodeados por megaestruturas desenvolvidas sobre rochas supracrustais arqueanas e proterozoicas, das quais destacam-se as sinclinais Gandarela, Dom Bosco e Moeda, a Homoclinal do Curral, a anticlinal de Mariana e o maciço Caraça (Figura 1).

A alta amplitude topográfica é uma das mais destacáveis características do relevo dessa região. As áreas mais elevadas, acima de 1040 m, correspondem a cristas de megaestruturas, sustentadas por Itabiritos e Quartzitos recobertos por vegetação rupestre, estão acima dos 1200 m (Figura 1). Contraopondo-se às referidas megaestruturas estão os complexos granito-gnáissicos e migmatíticos, limitados a 1040 m de altura. Apresentam-se como colinas de topos arredondados, vertentes convexas e canais fluviais encaixados (Figura 1). Além das matas de galeria nos arredores dos canais fluviais, essa área abriga uma vegetação densa, do tipo estacional semidecidual, típica de transição entre cerrado e mata atlântica (MACHADO, 2018).

A rede hidrográfica do Quadrilátero Ferrífero divide-se em três grandes e importantes bacias. Nas áreas Oeste e central dominam, respectivamente, os cursos fluviais das bacias dos rios Paraopeba e Velhas (Figura 1). Suas calhas principais, de sentido Sul-Norte, atravessam as gargantas epigênicas denominadas Fechos do Funil e Sabará e deságuam no rio São Francisco, no Norte de Minas Gerais. Em sua porção Leste têm-se os segmentos fluviais do alto curso do rio Doce, representados na figura 1 pelos rios Conceição, Piracicaba, Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul.

O clima do Quadrilátero Ferrífero é do tipo tropical úmido, com precipitação média anual de 1325 mm, sendo mais seco no mês de agosto e mais úmido em dezembro. A temperatura média é de 21,3° C ao ano, com mínima de 18° C em junho e máxima de 27,3° C em janeiro (REBOITA et al. 2015). Registros florísticos encontrados em camadas sedimentares de lagos da região sudeste brasileira proporcionaram discussões mais completas a respeito do paleoclima regional. A maioria desses registros convergiram para expressivas flutuações climáticas nos últimos 50 ka (BEHLING, 1995; LEDRU et al. 1996; BEHLING e LICHTÉ, 1997; PARIZZI et al., 1998; BEHLING, 2003; RODRIGUES-FILHO et al., 2002; LEDRU et al. 2009; ENTERS et al. 2010; SEIXAS et al. 2015).

São nos vales fluviais aplainados e periféricos às áreas altas que foram identificados os cinco depósitos de leques aluviais estudados (Figura 1):

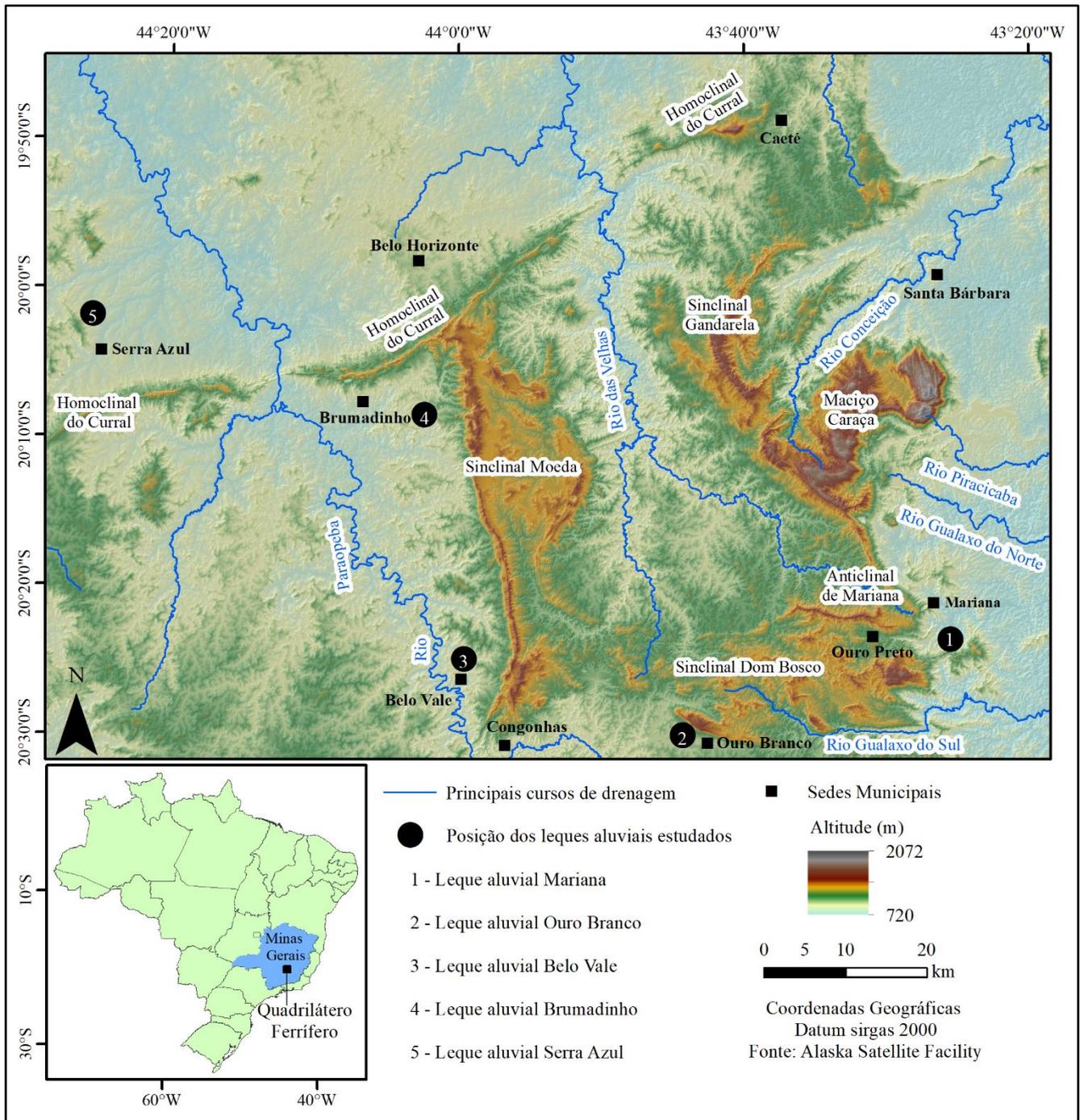


Figura 1. Modelo digital de elevação (SRTM) do Quadrilátero Ferrífero com a posição das grandes bacias hidrográficas e dos leques aluviais estudados.

1. Leque Mariana: Assenta-se na base de um dos contrafortes do pico do (ou serra do) Itacolomi, mais precisamente sob os bairros Cabanas, Santa Rita de Cássia e Nazaré. Trata-se de um leque inativo quase que completamente antropizado, com fragmentos mais bem preservados na região do bairro Santa Rita de Cássia, em sua vertente Oeste. Seus sedimentos são truncados pelas planícies do córrego do Seminário e do rio do Carmo, afluentes do rio Doce. Para Sobreira (2001) toda essa região compreende um grande depósito de tálus com formato de leque e que pode alcançar os 10m de espessura.

2. Leque Ouro Branco: Está assentado em área de vegetação densa no sopé da serra de Ouro Branco, sobre os Xistos e Filitos do Grupo Nova Lima (Figura 1). Nas imediações desse leque é destacável o grande volume de sedimentos colmatados no sopé da serra de homônima, formando um grande complexo aluvio-coluvionar de cerca

de 15 km². Esse complexo é formado pela coalescência do leque aluvial Ouro Branco com outros sedimentos, cujas porções mais distais, estão, possivelmente, submersas na barragem Soledade ou sob a cidade de Ouro Branco. Para Barbosa (1980), sua deposição foi ocasionada pela reativação tectônica da serra de Ouro Branco.

3. Leque Belo Vale: Encontra-se na base da serra da Moeda, sobre os granitos gnáissico-migmatíticos do Complexo Bonfim (Figura 1). Trata-se de um leque inativo, cercado por vegetação densa e bastante dissecado pelo ribeirão Boa Esperança e demais cursos fluviais de ordem hierárquica inferior, todos afluentes da margem direita do Rio Paraopeba.

4. Leque Brumadinho: Também está assentado na base da Serra da Moeda, margem direita do Rio Paraopeba, sobre os granitos gnáissico-migmatíticos do Complexo Bonfim (figura 1). Truncado pelo ribeirão Piedade, seus fragmentos proximais foram identificados na região do distrito de Piedade de Paraopeba enquanto que os mais distais nas proximidades do distrito de Aranha. Lopes et al. (2020) estudaram o leque Brumadinho por meio de levantamentos faciológicos somados à análise de dados de paleocorrente, proveniência sedimentar (U/Pb) e datações por luminescência opticamente estimulada (12 ka e 15,5 ka). Os mesmos autores interpretaram que a preservação desses depósitos alçados em meio à paisagem só se tornou possível graças à presença de zonas de falha nas imediações. Elas teriam potencializado o caráter erosivo das drenagens com consequente aceleração do aprofundamento dos vales.

5. Leque Serra Azul: Assenta-se sobre o embasamento granito-gnáissico migmatítico do Complexo Belo Horizonte, é cortado pela estrada que liga Serra Azul a Mateus Leme (Figura 1). É um leque inativo e dissecado pelo córrego Bom Jardim, afluente da margem esquerda do ribeirão Serra Azul que por sua vez, deságua no Rio Paraopeba. Moreira (1997) e Barros (2015) estudaram 6 níveis fluviais na bacia do ribeirão Serra Azul, sendo o nível 4 pertencente ao leque Serra Azul, datando-o em 41 ka.

3. Materiais e Métodos

A primeira etapa metodológica consistiu no levantamento de imagens de sensoriamento remoto na plataforma *Google Earth Engine* (GORELICK et al., 2017). Nessa mesma plataforma utilizou-se as ferramentas do *GEE Code Editor*, através da programação *Javascript* (disponível no link: <https://cutt.ly/wxmFCLK>), para obtenção de imagens do satélite Sentinel-2, sensor MSI (*multispectral instrument*), com 10 metros de resolução espacial, nas bandas 2, 3, 4 e 8. As referidas imagens já foram disponibilizadas com correção atmosférica e ortoretificadas.

As bandas 3 (realce urbano), 4 (realce do solo e água) e 8 (realce do infravermelho próximo) foram levadas ao ambiente de sistema de informações geográficas para estabelecimento da composição RGB falsa cor que melhor destaca os leques aluviais entre os demais elementos da paisagem. A partir da melhor composição RGB foi possível mensurar, pela fotointerpretação dos leques, os valores de área, comprimento, largura e formato em planta dos leques aluviais.

No *software Google Earth* foram confeccionados os perfis longitudinais e transversais. Os mapas topográficos, em escala 1: 50.000 (IBGE, 1986), serviram de base para delimitação e cálculo da área das bacias que alimentaram os leques. Os mapas geológicos nas escalas 1:25:000 (DORR, 1969) e 1:50.000 (LOBATO et al., 2005) foram utilizados no reconhecimento da área de abrangência de cada litotipo aflorante na bacia alimentadora. A declividade média foi obtida a partir do quociente entre a amplitude altimétrica e o comprimento dos depósitos encontrados.

Para interpretação do contexto paleoambiental, em trincheiras e cortes de estrada, os depósitos de leques aluviais foram alvo do levantamento detalhado de perfis estratigráficos, tomando por base os critérios estabelecidos por Compton (1965). Além da lupa de mão com aumento de 10x e cartela granulométrica, foram utilizadas trena e vara de Jacob, para eventuais empilhamentos em perfis lateralmente descontínuos, além de bússola do tipo Brunton, para tomada de paleocorrentes e determinações de espessuras por trigonometria. Os códigos atribuídos às fácies descritas e interpretadas são os mesmos que os propostos por Miall (1978), em alguns casos foram necessárias adaptações. As análises da dimensão dos grãos foram adequadas de acordo com a escala de Wentworth (1922).

4. Resultados e discussões

4.1. Aspectos morfológicos e morfométricos

Na figura 2 encontra-se a morfologia dos leques aluviais estudados vista no plano bem como seus dados morfométricos de declividade, área, comprimento, largura máxima e perfis longitudinal e transversal. Os cinco

leques aluviais estudados possuem características morfométricas diversas, consenso é que essas características foram comprometidas por processos naturais e antrópicos. Quase toda área de colmatção do leque Mariana se transformou em loteamentos de ocupação irregular, conforme descrito em Sobreira (2001) e visualizado na figura 3. Parte dos sedimentos distais do leque Ouro Branco foram removidos na construção da rodovia MG 446 ou estão sob as águas da barragem Soledade (Figura 4). No leque Brumadinho, de acordo com Lopes et al. (2020), a rede fluvial entalhou planos de falhas e fraturas deixando fragmentos adjacentes preservados. Os referidos fragmentos, atualmente, têm sido desmantelados pela abertura de estradas e assentamento de fazendas. Da mesma forma, o retrabalhamento fluvial e abertura de loteamentos são os principais fatores que descaracterizaram os leques Belo Vale e Serra Azul.

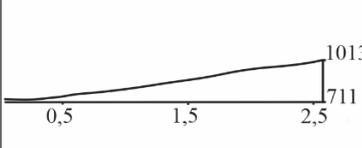
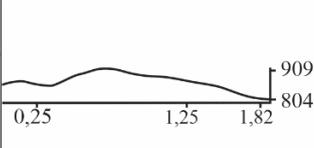
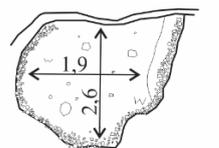
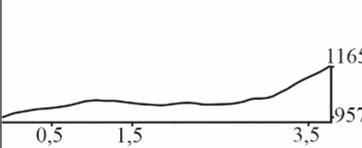
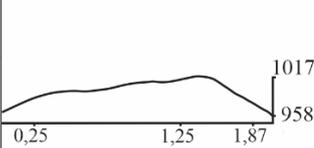
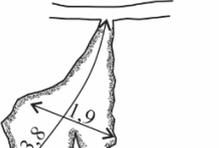
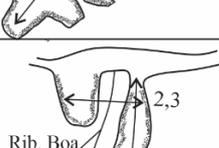
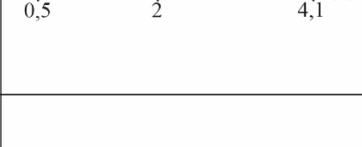
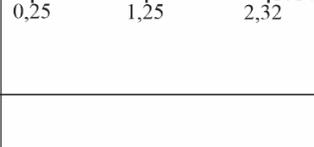
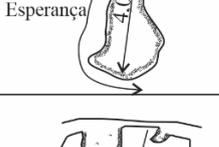
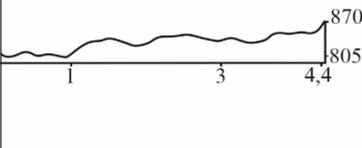
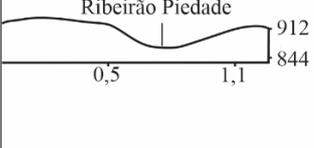
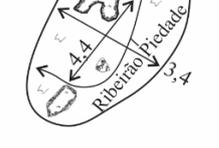
Leque aluvial	Declividade min/máx/méd.	Área aprox. (km ²)	Perfil Longitudinal $\frac{m}{km}$	Perfil transversal $\frac{m}{km}$	Morfologia vista no plano (medidas em km)
Mariana	4°/21°/6,4°	2km ²			
Ouro Branco	5°/15°/5°	2,8km ²			
Belo Vale	9°/17°/5°	5,9km ²			
Brumadinho	7°/13°/0,8°	25,6km ²			
Serra Azul	9°/20°/4,3°	2,0km ²			

Figura 2. Morfologia e morfometria dos leques aluviais estudados.

Vistos no plano, os cinco leques aluviais estudados têm formatos diversos e assimétricos, sendo o leque Mariana mais arredondado e os demais alongados (Figura 2). Ao estudar rampas de leques aluviais na Jordânia, Turner e Makhlof (2002) tacharam ao formato circular de algumas delas como produto da irradiação de sedimentos por fontes (canais) secundárias. Acredita-se na mesma interpretação para o formato arredondado do leque Mariana, cujos sedimentos podem ter sido transportados não apenas através de um canal alimentador, mas por vários provenientes do contraforte da Serra do Itacolomi que se alonga na direção NE-SW (Figura 3).

Outras duas características morfométricas importantes do leque Mariana referem-se à maior declividade média (6,4°) e à segunda maior largura (1,9 km), se comparadas com outros leques analisados nesse estudo (Figura 2). Essas dimensões destacadas podem ser explicadas pela composição pelítica das rochas de sua área fonte, majoritariamente de xistos e filitos dos Grupos Nova Lima e Sabará. Essa constatação corrobora a ideia de Suguio

(2003) de que em regiões de litotipos de natureza pelítica os leques tendem a ser mais largos e declivosos que os de natureza psamítica.

Os perfis longitudinais são côncavos e os transversais convexos (Figura 2). Exceções são encontradas nos leques Belo Vale e Brumadinho, onde os perfis transversais foram comprometidos pela alta incisão fluvial dos ribeirões Boa Esperança e Piedade, respectivamente. Neste último, Lopes et al. (2020) calcularam uma incisão de $0,33 \text{ mm.a}^{-1}$ nas regiões mais proximais e $1,33 \text{ mm.a}^{-1}$ nas mais distais. Para os mesmos autores, essa alta incisão foi possível graças a zonas de falhas e fraturas que facilitaram o encaixamento das drenagens, preservando os sedimentos que estiveram adjacentes a essas estruturas. Conforme os perfis longitudinais, o leque Belo Vale é de maior amplitude altimétrica, com uma diferença de 382 m de altitude entre os sedimentos mais proximais e mais distais enquanto o de menor amplitude é o leque Brumadinho, com diferença de 65 m (Figura 2).

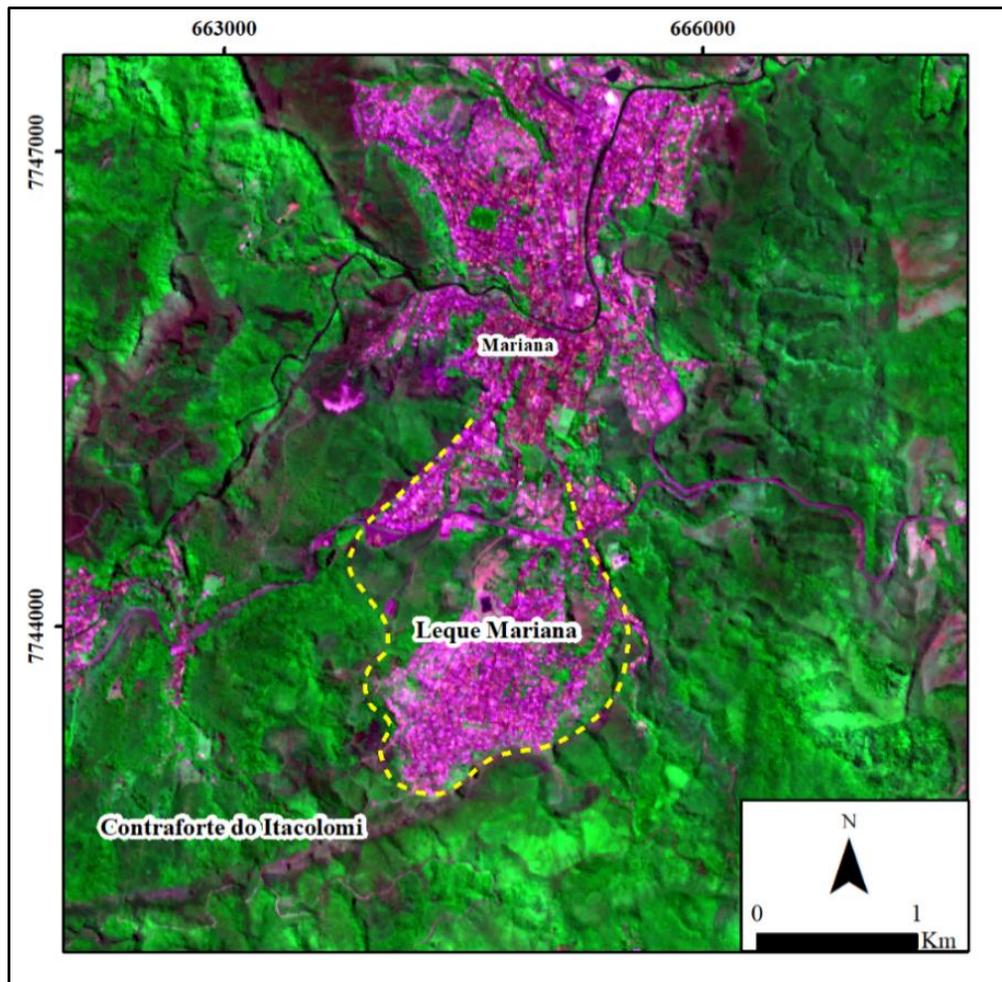


Figura 3. Imagem na falsa cor do satélite Sentinel-2, sensor MSI, do leque Mariana e adjacências na composição de bandas RGB 4, 3 e 8.

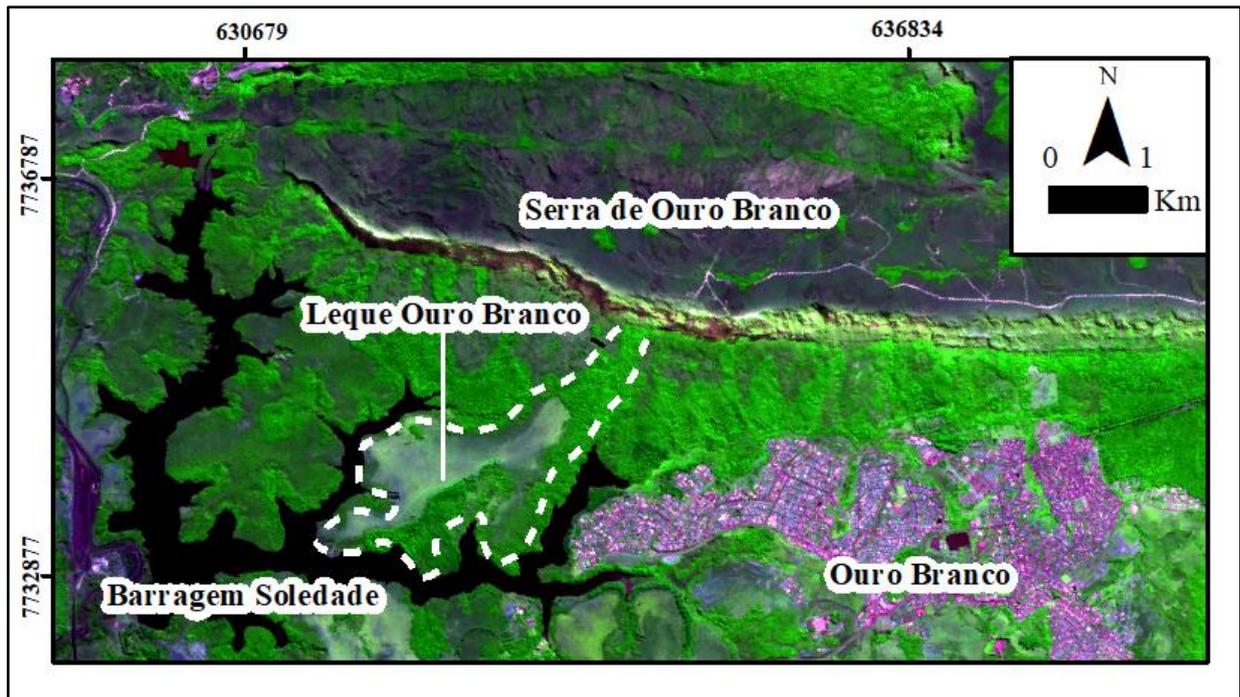


Figura 4. Imagem na falsa cor do satélite Sentinel-2, sensor MSI, do leque Ouro Branco e adjacências na composição de bandas RGB 8, 3 e 4.

A baixa amplitude altimétrica do leque Brumadinho acabou refletindo em sua declividade média, mensurada em $0,8^\circ$, a menor entre todos os depósitos estudados. Para Blair e McPherson (1994), os declives médios em superfícies de leques aluviais seriam sempre superiores a $1,5^\circ$ enquanto nos demais sistemas fluviais a mesma grandeza estaria abaixo de $0,5^\circ$. O intervalo entre os dois valores corresponderia a um *gap* natural, onde não ocorreria sedimentação. Apesar dessa proposta, Saito e Oguchi (2005) estudaram 690 leques aluviais das Filipinas, Japão e Taiwan, onde a maioria apresentou declives médios entre $0,2^\circ$ e $0,8^\circ$. Ao confrontar seus dados com os de Saito et al. (2003), obtidos para os leques aluviais do Vale da Morte, nos Estados Unidos, Saito e Oguchi (2005) chegaram à conclusão de que os padrões estabelecidos por Blair e McPherson (1994) não são válidos para leques de clima úmido.

Conforme os dados compilados na tabela 1, poucos são os leques aluviais de clima úmido e tropical úmido que se adequam aos parâmetros de declividade de Blair e McPherson (1994). Nesse sentido, a conclusão de Saito e Oguchi (2005) não se restringe apenas aos leques úmidos do Japão, Filipinas e Taiwan, podendo ser estendida para leques aluviais de clima úmido e tropical úmido de diversas regiões do globo. Evans (1991) sugeriu que a declividade média de leques aluviais de clima tropical úmido variam entre $0,057^\circ$ e $0,57^\circ$. Embora concordantes com os estudos de Tomita (1951) e Toya et al. (1971), e parcialmente concordantes com os de Iseki (1981) e de Saito e Oguchi (2005), tratam-se de valores que mais representam a exceção que a regra (Tabela 1).

No que tange a área e comprimento dos leques estudados, é possível afirmar que estes possuem dimensões parecidas com os categorizados por Saito e Oguchi (2005) como declivosos ($>1,5^\circ$), exemplificados pelos leques do rio Ashima e San Vicente. O leque do rio Ashima, no Japão, teve sua declividade média estimada em $3,4^\circ$, o comprimento em 4,1 km e a área em $5,5 \text{ km}^2$ (OGUCHI, 1997). O leque San Vicente, nas Filipinas, possui declividade de $2,4^\circ$, comprimento de 2,2 km e área de $3,9 \text{ km}^2$ (NAKATA et al. 1996). Apenas a área do leque Brumadinho apresenta-se anormalmente divergente dos exemplos anteriores, calculada em $25,6 \text{ km}^2$. Em conformidade com Saito e Oguchi (2005), sua declividade está na categoria mediana ($>0,5^\circ$ e $<1,5^\circ$). Os menores leques são o Mariana e o Serra Azul, com tamanho da área similares (2 km^2) e comprimentos parecidos (2,6 km e 2,4 km, respectivamente).

Tabela 1. Declividade média de leques aluviais de clima úmido e tropical úmido ao redor do globo.

Leques aluviais	País	Clima	Declividade	Autoria
29 leques	Taiwan	Tropical úmido	< 0,5°	Tomita (1951)
6 leques	Papua Nova Guiné	Tropical úmido	5° a 15°	Ruxton (1970)
153 leques	Japão	úmido	<0,57°	Toya et al. (1971)
Rio Ashima	Japão	úmido	3,4°	Oguchi (1977)
Rio Korube	Japão	úmido	0,5° a 1,5°	Oguchi (1979)
Rio Kiso	Japão	úmido	0,028° a 0,06°	Iseki (1981)
Choshui	Japão	úmido	0,18°	Chang (1985)
Toro Amarillo	Costa Rica	Tropical úmido	10,5° a 22°	Kesel e Lowe (1987)
Rio Amarelo	China	úmido	0,0134°	Davis (1988)
San Vicente	Filipinas	Tropical úmido	2,4°	Nakata et al. (1996)
Rio Shoufeng	Taiwan	Tropical úmido	0,96°	Chang (1997)
490 leques	Japão	úmido	0,11° a 4°	
71 leques	Taiwan	Tropical úmido	0,11° a 3,4°	Saito e Oguchi (2005)
129 leques	Filipinas	Tropical úmido	0,15° a 6,3°	
Mariana	Brasil	Tropical úmido	6,4°	
Ouro Branco	Brasil	Tropical úmido	5°	
Belo Vale	Brasil	Tropical úmido	5°	Este trabalho
Brumadinho	Brasil	Tropical úmido	0,8°	
Serra Azul	Brasil	Tropical úmido	4,4°	

4.2. Área-fonte dos sedimentos

Conforme a figura 1, todos os leques aluviais estudados tiveram sua proveniência a partir de serras desenvolvidas sobre rochas supracrustais arqueanas e proterozoicas no contexto das megaestruturas descritas em Alkmim e Marshak (1998), mais precisamente das Sinclinais Dom Bosco (leques Mariana e Ouro Branco) e Moeda (leques Belo Vale e Brumadinho) e do Sinclinório Mateus Leme (leque Serra Azul). Estruturas essas que se apresentam na paisagem como escarpas de alta amplitude altimétrica e vasta complexidade litoestrutural, onde diversos autores estudaram e identificaram registros de movimentações tectônicas ao longo do Cenozoico (por ex. SAADI, 1991; VARAJÃO, 1991; MARQUES, 1997; MOREIRA, 1997; SANT'ANNA et al., 1997; BACELLAR, 2000; LIPSKI, 2002; MEDINA, 2005; RAPOSO et al. 2008; VARAJÃO et al. 2009; LANA, 2010; LANA e CASTRO, 2010; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2011; BARROS 2012; BARROS, 2015, BARROS e MAGALHAES JÚNIOR, 2018a,b).

Além dos trabalhos de cunho tectônico, Salgado et al. (2006), Salgado et al. (2007) e Salgado et al. (2008) investigaram a denudação geoquímica em diversas rochas do Quadrilátero Ferrífero, incluindo as supracrustais que alimentaram os leques aluviais estudados. Seus resultados demonstraram que a denudação é média nos granitos, gnaisses, xistos e filitos e baixa em quartzitos e itabiritos. Os autores ainda calcularam taxas de erosão por ¹⁰Be e obtiveram valores altos nos granitos e gnaisses, médios nos xistos e filitos e baixos em quartzitos e itabiritos, comprovando a erosão diferencial. Para Varajão et al. (2009) as taxas médias de erosão em 7 m.Ma⁻¹ são condizentes com os dados da área leste do lineamento transbrasiliano (tectonicamente mais instável), demonstrando que a dinâmica das vertentes regionais foi controlada tanto pela erosão diferencial quanto pela neotectônica.

De maneira convergente aos trabalhos anteriormente citados, recentemente, Peifer et al. (2021) calcularam e correlacionaram as taxas de denudação às diferentes resistências das rochas. Para os autores, as bacias hidrográficas sustentadas por quartzitos apresentaram as taxas de denudação mais lentas da região se comparadas às calculadas para as bacias compostas por xistos, granitos, gnaisses e filitos. Destas últimas, as bacias com granitos, gnaisses e filitos apresentaram as taxas mais elevadas enquanto que as bacias com rochas mistas tiveram suas taxas de denudação condicionada à resistência das litologias preponderantes em cada uma delas.

Na tabela 2 encontram-se os valores de área, altitude máxima, amplitude altimétrica com relação ao vale fluvial e litotipos aflorantes nas áreas-fonte dos leques estudados.

Tabela 2. Área, altitude máxima, amplitude altimétrica e litotipos aflorantes nas áreas-fonte dos leques aluviais estudados.

Leques aluviais	Tamanho da área fonte	Altitude	Amplitude altimétrica	Litologia
Mariana	0,9 km ²	1120 m	330 m	Xistos, filitos e quartzitos
Ouro Branco	0,24 km ²	1568 m	500 m	Quartzitos e filitos
Belo Vale	1 km ²	1576 m	500 m	Quartzitos, filitos e itabiritos
Brumadinho	10 km ²	1478 m	532 m	Metaultrabásicas, quartzitos, xistos, filitos e itabiritos
Serra Azul	0,9 km ²	1104 m	325 m	Clorita xistos e sericita-clorita xistos

Destaca-se a expressiva dimensão da área fonte do leque Brumadinho em comparação com os demais, com aproximadamente 10 km². Essa expressiva dimensão converge para uma relação proporcional entre o tamanho da área-fonte e do referido leque, sendo o maior entre todos estudados, com 25,6 km². O mesmo acontece no leque Belo Vale, que possui a segunda maior extensão (5,9 km²) e segunda maior área fonte, com aproximadamente 1 km². Essa relação fica mais evidente analisando o gráfico dispersivo da figura 5, onde é possível notar que o aumento dos valores do eixo x (dimensão dos leques) implica no aumento dos valores do eixo y (dimensão das áreas-fonte). Através do estudo da proveniência sedimentar pelo método U-Pb, Lopes (2017) e Lopes et al. (2020) concluíram que os Quartzitos da Formação Moeda e os Itabiritos da Formação Cauê constituíram os principais litotipos fornecedores dos sedimentos que alimentaram o leque Brumadinho.

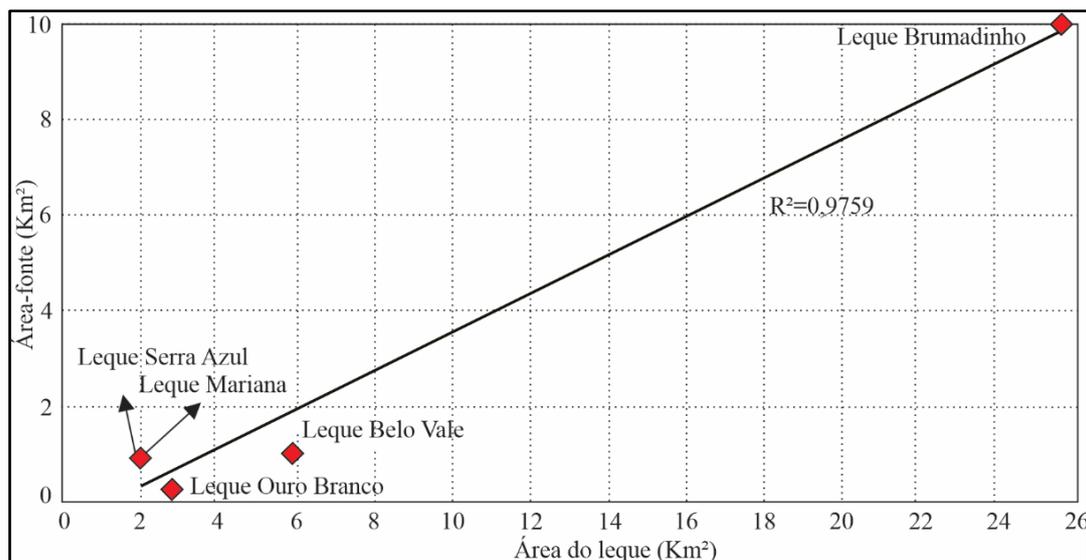


Figura 5. Gráfico de dispersão demonstrando a relação entre as dimensões dos leques aluviais (eixo x) e suas respectivas áreas-fonte (eixo y). As dimensões representadas dos leques Serra Azul e Mariana são iguais.

4.3. Aspectos sedimentares e respectivos processos deposicionais

Na figura 6 encontram-se os perfis de fácies levantados nos cinco leques aluviais estudados, descritas a seguir:

- 1. Leque Mariana:** O perfil de fácies desse leque foi analisado em corte de estrada do bairro Cabanas, onde havia maior preservação de seus sedimentos frente aos processos antrópicos e naturais, região média do leque, nas coordenadas 20°23'26,86"S e 43°25'13,87"O. Atribuiu-se o código de fácies Gmm para todo esse depósito, sendo maciço e constituído por material heterogêneo, com grânulos, seixos, calhaus e matacões preponderantemente de quartzitos sustentados por matriz lamosa de tonalidade avermelhada (figura 6a). Nas áreas proximais o material anguloso a subanguloso de granulometria superior pode alcançar os 5m enquanto que nas distais os calhaus, arredondados e bem arredondados, têm comprimento limitado a 1,5m.
- 2. Leque Ouro Branco:** Perfil observado em uma trincheira aberta por um canal fluvial efêmero na região proximal do leque, em acordo com as coordenadas 20°29'38,61"S e 43°43'36,22"O. O referido perfil possui 2,3m de espessura e tonalidade que varia de amarelo a amarelo claro (figura 6b). Da base para o topo, sua sucessão faciológica é constituída pelas fácies Gcm, Gmm e Sm. Do limite inferior do canal até cerca de 0,3 m tem-se a fácies Gcm, composta principalmente por seixos de quartzos e quartzitos bem arredondados. Entre 0,3 m e 0,9 m, em contato irregular com a fácies sotoposta, encontram-se os sedimentos da fácies Gmm, alicerçada por seixos subangulosos a arredondados de quartzitos e quartzos sustentados por matriz arenosa. Nessa mesma fácies, entre 0,8 e 0,9 m, foi verificada gradação normal, onde a composição granulométrica modal da matriz passa de areia grossa para areia média. No restante do perfil, em contato irregular, tem-se a fácies maciça Sm cujos grãos de quartzo e quartzito possuem, majoritariamente, sua granulometria definida como areia média. Há presença de raízes pequenas dispersas entre os sedimentos. Espalhados em toda região, foram verificados calhaus e matacões aleatórios, com comprimento máximo aproximado em 2,5 m, associado à fácies Cm.
- 3. Leque Belo Vale:** Esse leque teve seu perfil de fácies examinado em corte de estrada da região distal, nas coordenadas 20°25'14,65"S e 43°57'0,27"O. Compõe-se das fácies Gcm e Gm (figura 6c). Com cerca de 0,8 m, a fácies Gcm é alicerçada por calhaus subangulosos a subarredondados de quartzitos, quartzo e itabiritos. Está colmatada sobre as colinas do embasamento, em contato irregular com as mesmas. No restante do perfil, em contato irregular, tem-se a fácies Gm, com composição granulométrica modal de seixos pequenos, contendo muitas raízes.
- 4. Leque Brumadinho:** Seu perfil foi levantado na região distal, em corte de estrada que liga o distrito de Piedade de Paraopeba a Brumadinho, nas coordenadas 20°11'11,20"S e 44° 3'11,62"O. Possui 2,3 m de espessura sendo composto, da base para o topo, pelas fácies Gmm, Gcm e C (figura 6d). A fácies Gmm, adaptada à morfologia do embasamento, em contato irregular, possui 1,3 m sendo constituída por grânulos, seixos e calhaus angulosos a arredondados sustentados por matriz areno-argilosa com raízes dispersas. A mineralogia e petrografia do material de dimensões maiores ou iguais aos seixos correspondem a granitóides, quartzos, quartzitos, itabiritos e minerais ferrosos. Sobreposta a Gmm encontra-se a fácies maciça e de tonalidade avermelhada Gcm, adaptada à morfologia do embasamento, em contato irregular, é alicerçada por seixos angulosos a subarredondados de quartzos, quartzitos e itabiritos. A fácies C, verificada no perfil a partir dos 1,8m, em contato irregular com a sotoposta, é maciça, areno-argilosa com grânulos angulosos a subangulosos distribuídos caoticamente e com eixo maior verticalizados e subverticalizados.
- 5. Leque Serra Azul:** O perfil de fácies desse leque foi analisado na região distal, em corte de estrada que liga Mateus Leme a Serra Azul, nas coordenadas 20° 3'12,10"S e 44°25'7,39"O. Este perfil tem tonalidade marrom, possui 1,40 m de espessura e, da base para o topo, divide-se nas fácies Gcm, Gt e C (figura 6e). A fácies Gcm tem 0,60 m de espessura, está em contato irregular com o embasamento, sendo constituída majoritariamente por seixos arredondados e bem arredondados de quartzos. Sobreposta a fácies Gcm, em contato irregular, encontra-se a fácies Gt, alicerçada por seixos subangulosos de quartzos e quartzitos que se estende até aproximadamente 0,9 m. Os referidos seixos organizam-se em estratos cruzados acanalados. No restante do perfil encontra-se a fácies C, cujas características correspondem a fácies homônima do perfil de fácies do leque Brumadinho.

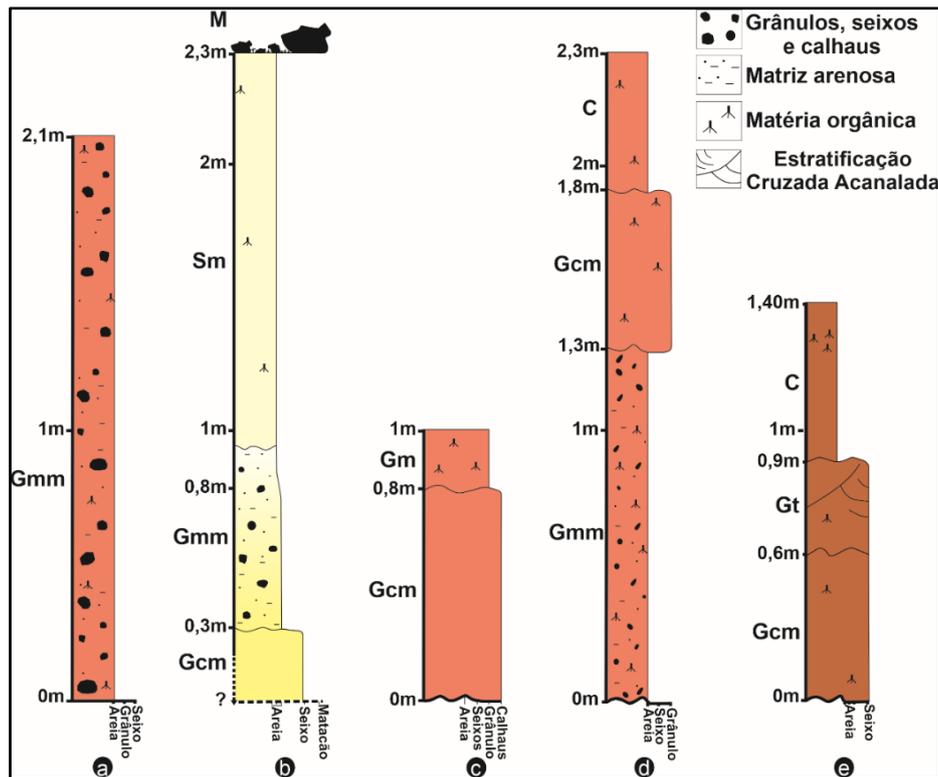


Figura 6. Perfis de fácies levantados nos cinco leques estudados. a) leque aluvial Mariana; b) leque aluvial Ouro Branco; c) leque aluvial Belo Vale; d) leque aluvial Brumadinho; e) leque aluvial Serra Azul.

A tabela 3 contém a sucessão das fácies, granulometria, estruturas sedimentares e interpretações dos processos sedimentares que ocasionaram na colmatação dos depósitos estudados. Tais características revelam que os referidos depósitos foram gerados em um contexto de alta amplitude energética cujos picos inferiores levaram a sedimentação de fragmentos de dimensão e composição diversas. Essa sedimentação se deu nas altas, médias e baixas vertentes, de maneira perpendicular e oblíqua aos seus respectivos paleo-vales.

Com base na tabela é possível entender que os leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero foram construídos principalmente por fluxos de detritos pseudoplásticos (Gcm) e plásticos (Gmm). Do total das fácies interpretadas, 77% são cascalhosas (Gmm, Gcm, Gm, Gt e Gm) e 23% são arenosas (Sm e C). De maneira similar, no leque Toro Amarillo, na Costa Rica, Kesel e Lowe (1987) também verificaram preponderância das fácies cascalhosas (95%) sobre as arenosas (5%).

Do total de 95% de fácies cascalhosas, Kesel e Lowe (1987) contabilizaram 90% de fluxos de detritos pseudoplásticos (Gcm) e, apenas 5% de fluxos de detritos plásticos (Gmm). Neste trabalho, os pseudoplásticos representam 38% das fácies e os plásticos 15%. De acordo com Nemeč e Kazanci (1999), os fluxos pseudoplásticos são tipicamente gravitacionais, o que permite inferir a presença de um relevo escarpado nas adjacências. O domínio da fácies Gcm no leque Toro Amarillo pode ser explicado pela alta declividade (entre 15,5° e 22°) associada a intensa atividade tectônica sísmica, destacando, em termos de volume, os fluxos gravitacionais pseudoplásticos sobre os demais.

Conforme a tabela 3, o leque aluvial Mariana é composto exclusivamente pela fácies Gmm, interpretada como fluxo de detritos plásticos gerados por movimentos de massa coesivos. Seus calhaus sustentados pela matriz areno-argilosa e colmatados nas porções distais contêm maior grau de arredondamento que os estudados próximos à área fonte. A diminuição das arestas dos seixos de montante para jusante também foi verificada na fácies Gcm do leque Belo Vale. Em ambos os casos, esse padrão se deve à maior distância de transporte e, portanto, ao maior retrabalhamento do material pela força de abrasão (ROSSETTI et al. 1989).

Outro aspecto textural destacável no leque Mariana é a diminuição granulométrica, de montante para jusante. Esse aspecto acaba refletindo na correlação positiva entre o tamanho dos sedimentos e a inclinação da vertente (BLAIR e MCPHERSON, 1994). Nas áreas proximais e mais declivosas são encontrados matacões sustentados pela matriz areno-argilosa que, segundo Sobreira (2001), podem ultrapassar os 10m em uma de suas dimensões. Nas

distais e menos declivosas foram verificados calhaus limitados a 0,065m. De acordo com Blair e McPherson (1984), a deposição de clastos maiores e próximos à área fonte é uma característica intrínseca a leques aluviais quando há desconfinamento do fluxo e queda da capacidade e competência do mesmo.

Diferente deste trabalho, Sobreira (2001) atribuiu ao leque Mariana o termo tálus. Essa discordância conceitual, possivelmente pelo distinto enfoque de investigação, não é incomum na literatura regional. Para Barbosa (1980), os sedimentos colmatados no sopé da Serra de Ouro Branco configuram um extenso depósito de tálus. Conforme a tabela 3, ao contrário de Barbosa (1980), este estudo identificou no mínimo quatro fácies distintas nessa região (Gcm, Gmm, Sm e Cm), sendo duas delas geradas por fluxos de detritos (Gcm, Gmm), outra por fluxos hiperconcentrados (Sm) e, por fim, uma interpretada como queda de rochas (Cm), informalmente designada como depósito de tálus pelos geomorfólogos, segundo Selby (1994).

Para Saito e Oguchi (2005), como as fácies de fluxos hiperconcentrados (Sm) contêm características que as tornam intermediárias entre processos fluviais e catastróficos (fluxos de detritos) elas poderiam estar associadas a leques com inclinação entre 0,5° e 1,5°, intervalo em que, de acordo com Blair e McPherson (1994), não há sedimentação de cursos fluviais tampouco de leques aluviais. Caso essa constatação fosse válida para região do Quadrilátero Ferrífero, conforme a tabela 3, a referida fácies seria identificada no leque aluvial Brumadinho, não no Ouro Branco.

Tabela 3. Fácies descritas e seus respectivos processos sedimentares.

Leque	Perfil	Sucessão das Fácies	Granulometria (Wentworth, 1922)	Estruturas	Processos sedimentares
Mariana	1	Gmm	Grânulos a matações em matriz lamosa	-	Fluxo de detritos plásticos
		Cm	Calhaus e matações	-	Queda de rochas
		Sm	Areia	-	Fluxo hiperconcentrado
Ouro Branco	2	Gmm	Grânulos e seixos em matriz arenosa	-	Fluxo de detritos plásticos
		Gcm	Grânulos e seixos	-	Fluxo de detritos pseudoplásticos
		Gm	Seixos	-	Fluxo de detritos pseudoplásticos
Belo Vale	3	Gcm	Calhaus	-	Fluxo de detritos pseudoplásticos
		C	Areia-argila	-	Coluvionamento
		Gcm	Seixos	-	Fluxo de detritos pseudoplásticos
Brumadinho	4	Gmm	Grânulos a calhaus em matriz areno-argilosa	-	Fluxo de detritos plásticos
		C	Areno-argilosa	-	Coluvionamento
		Gt	Seixos	Cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Serra Azul	5	Gcm	Seixos	-	Fluxo de detritos pseudoplásticos

Ao estudar o leque aluvial Brumadinho, Lopes et al. (2020) interpretaram a fácies Gcm como depósito de peneira (*Sieve deposits*) e a C como depósito coluvionar, atribuindo a elas, respectivamente, os códigos Gh e col. A fácies coluvionar, também designada nesse trabalho como fácies C, possui minerais ferrosos em sua composição sugerindo proveniência a partir da Serra da Moeda. Acredita-se que ela seja composta por sedimentos que foram

depositados a montante e, posteriormente, ao serem saturados foram transportados até a posição atual. Essa interpretação se estende aos depósitos coluvionares identificados no leque Serra Azul.

Entre as fácies menos comuns está a Gt, neste trabalho descrita apenas no leque aluvial Serra Azul e interpretada como preenchimento de pequeno e raso canal. Para Medeiros et al. (1971), essa feição é gerada quando o curso d'água ou torrentes cortam a superfície dos leques formando estratificações cruzadas. De acordo com Nemeč e Kazancı (1999), esses pequenos paleocanais indicam fases de alto escoamento superficial com erosão das vertentes no qual os detritos são depositados em pequenas ravinas.

Além dos depósitos estudados conterem as características sedimentares descritas por Blair e McPherson (1994) como de leques aluviais, os mesmos são consonantes com o modelo de fácies vertical Trollheim, de Miall (1978), desenvolvido para leques aluviais proximais, constituídos principalmente por fluxos de detritos e canais rasos. São consonantes, também, com as fácies contidas no modelo de Rust e Koster (1984) para leques aluviais.

4.4. Implicações tectônicas e paleoclimáticas

McPherson et al. (1987;1988) acreditam que o clima tem papel secundário na formação de leques aluviais, sendo a rocha, o relevo, o tamanho da bacia e a tectônica influências mais fortes. De acordo com Nemeč e Kazancı (1999), embora as movimentações tectônicas atuem no desequilíbrio morfodinâmico das vertentes, são as características litológicas somadas a declividade e presença de água que irão condicionar os tipos e variedades dos depósitos coluvionares.

De maneira mais holística, Kesel e Lowe (1987) inferem que leques aluviais de clima tropical úmido são influenciados tanto pela tectônica quanto pelos eventos climáticos, sucedidos de fases estáveis onde os depósitos são dissecados. Não há atuais evidências de sedimentação nos leques em estudo, estando os mesmos sob atuação do intemperismo, da erosão e do retrabalhamento sedimentar. Ressalta-se que, embora Kesel e Lowe (1987) tenham inferido estabilidade tectônica nesse período, dados sísmicos compilados por Lana (2010) sugerem, pelo menos, sete epicentros na região estudada.

Os acelerados processos intempéricos e erosivos do clima tropical úmido somaram-se ao uso e ocupação das áreas onde estão colmatados os leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero. Esses mesmos fatores levaram Anstey (1965) a adjetivar os leques de regiões úmidas como "depósitos de vida curta". Dessa forma, conforme Saito e Oguchi (2005), tornam-se desconhecidos e, quando inseridos na geomorfogênese de suas respectivas regiões, são descritos como meras pilhas estéreis de cascalhos erodidos e vegetados. Este estudo demonstra que apesar de dissecados, os leques do Quadrilátero Ferrífero apresentam rampas e patamares preservados que podem fornecer importantes informações paleoambientais.

Para Kochel e Johnson (1984) e Blair (1999), os leques aluviais de clima úmido são originados por chuvas catastróficas cujas enchentes mobilizam sedimentos que estiveram concentrados na área fonte em períodos mais secos, que podem durar de 3 a 6 mil anos. Similarmente, Kesel e Lowe (1987) acreditam que leques aluviais gerados em climas áridos são 85% compostos por fácies colmatadas por fluxos de detritos, cujos sedimentos diminuem gradativamente no sentido distal. O valor percentual mensurado para composição de leques em clima seco é análogo ao obtido nos leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero onde as fácies geradas por fluxo desconfinado e de alta energia representam 84% do total. Outra semelhança foi a diminuição, de montante para jusante, dos cascalhos do depósito de fluxo de detritos que compõem o leque Mariana.

A tabela 4 contém idades de deposição de fácies de alguns leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero, obtidos por meio da luminescência opticamente estimulada e apresentadas nos trabalhos de Barros (2015) e Lopes et al. (2020). A partir da análise comparativa entre essas idades e os dados paleoclimáticos da região sudeste do Brasil (BEHLING, 1995; BEHLING e LICHTER, 1997; PARIZZI et al., 1998; RODRIGUES-FILHO et al., 2002; BEHLING, 2003; ENTERS et al., 2010 e SEIXAS et al., 2015), é possível confirmar os indícios sedimentares de que os leques estudados são constituídos por fácies geradas em clima seco.

Ao analisar a história ambiental de Lagoa Santa, Parizzi et al. (1998) verificou disseminação de grãos de pólen associados a partículas de carvão, inferindo um clima seco com queimadas naturais entre 13,7 e 6,8 ka. Esses dados são congruentes com os de Behling (1995), Rodrigues-Filho et al. (2002), Behling (2003) e Enters et al. (2010) que propuseram para região sudeste brasileira um clima mais seco que o atual, no período entre 10 e 6,5 ka. Conforme as idades contidas na tabela 4, as fácies Gt dos leques Brumadinho e do ribeirão Casa Branca foram depositadas em ambiente de clima seco. Para Seixas et al. (2015), não houve mudanças climáticas abruptas nos últimos 12 ka e,

com base em fitólitos de terraços fluviais do rio Conceição e do ribeirão Mango, pequenas variações na densidade da vegetação indicaram épocas mais úmidas entre 12,7 e 17,7 ka e mais secas, em aproximadamente 9,8 ka

A ocorrência subordinada de pólenes associados a matas de galeria com relação à de gramíneas levou Behling e Lichte (1997) a inferir um clima seco e frio entre 58,8 e 40,9 ka, na região de Catas Altas, no Quadrilátero Ferrífero. Seus dados corroboraram os de Ledru et al. (1996) que inferiram um quadro climático mais seco que o atual na região sudeste brasileira entre 40 e 50 ka. O referido recorte temporal abrange a idade de deposição do nível fluvial 4, designado por Moreira (1997) e Barros (2015) como de leques aluviais com gênese associada ao soerguimento da Serra da Saudade.

Tabela 4. Idades de fácies de leques aluviais do Quadrilátero Ferrífero compiladas de Barros (2015) e Lopes *et al.* (2020).

Leque aluvial	Código de fácies atribuídas nesse estudo	Código de fácies atribuídas pelos autores	Idade (Ka)	Autores
Ribeirão Casa Branca	-	Gt	9,5	Lopes et al. (2020)
Brumadinho	Gcm	Gh	12,1	
Brumadinho	Gt	Gt	15,5	Barros (2015)
Serra Azul	-	Nível fluvial 4	41	

5. Conclusões

Embora o Quadrilátero Ferrífero tenha uma configuração geológica e geomorfológica propícia ao desenvolvimento de leques aluviais e este estudo tenha comprovado a existência dos mesmos, poucos trabalhos buscaram de fato contextualizá-los no processo evolutivo da paisagem. Além disso, estudando suas características morfológicas, morfométricas e sedimentológicas foi possível estabelecer semelhanças e diferenças com diversos outros leques de clima úmido e tropical úmido constantes na literatura. Tais semelhanças foram evidenciadas principalmente através dos estudos morfológicos, onde o forte desmantelamento dos depósitos tornou-os diferentes dos tradicionais leques de formato semicônico encontrados, principalmente, em regiões áridas e semiáridas do globo. Esse desmantelamento foi possível graças à atuação do clima tropical úmido somada às movimentações tectônicas cenozoicas que condicionaram um forte encaixamento das drenagens.

As características faciológicas dos leques são típicas de fluxos de detritos desconfinados. Essas fácies são geradas por chuvas torrenciais após longos períodos de seca, quando os sedimentos intemperizados se acumularam na área fonte. Essas interpretações faciológicas foram fortalecidas quando as idades de luminescência opticamente estimulada e os dados paleoclimáticos de trabalhos prévios para a região que indicam um clima seco no período de deposição de algumas das fácies dos leques Brumadinho e Serra Azul. Em outras palavras, embora as evidências de desmantelamento dos leques estejam preponderantemente ligadas a um clima úmido, as interpretações faciológicas, geocronológicas e paleoclimáticas atribuíram sua gênese a períodos secos.

Contribuições dos Autores: Fabrício Antonio Lopes contribuiu com todas as etapas de desenvolvimento desse trabalho, uma vez que ele representa parte dos dados obtidos em seu doutorado. Paulo de Tarso Amorim Castro e Claudio Eduardo Lana atuaram na supervisão da pesquisa, escrita e revisão do artigo. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), por meio da bolsa de doutorado (processo 169267/2017-2) e taxa de bancada.

Agradecimentos: Fabrício Antonio Lopes agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado e taxa de bancada no período de realização do presente estudo. Paulo de Tarso Amorim Castro agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem à pesquisadora Ilziane Carmem Martins (UFVJM) pela ajuda na aquisição de imagens no *Google Earth Engine* e ao professor Alex de Carvalho (IFMG) pelo suporte metodológico e de campo.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Não houve qualquer influência pessoal na representação e interpretação dos dados. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, p. 29-58, 1998.
2. ALMEIDA, F. F. M. O Cráton de São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
3. ANSTEY, R. L. **Physical characteristics of alluvial fans**. Massachusetts: United States Army Natick Laboratory, 1965. 109p. Technical Report ES-20.
4. ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do pantanal mato-grossense, centro oeste do Brasil**. Tese (livre docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
5. BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes Geológicas, Geomorfológicas e Geotécnicas dos Mecanismos de Voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. Tese (doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
6. BAHRAMI, S. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran. **Geomorphology**, v.180-181, p. 217-230, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.10.012.
7. BARBOSA, G. V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, n.1, p. 89-101, 1980.
8. BARROS, L. F. P. **Eventos Sedimentares do Quaternário e Evolução Morfodinâmica do Rio Conceição – Quadrilátero Ferrífero/MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012.
9. BARROS, L. F. P. **Implicações Geomorfológicas e Paleoambientais de Registros Sedimentares Fluviais do Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015.
10. BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JR., A. P. Late quaternary landscape evolution in the Atlantic Plateau (Brazilian highlands): Tectonic and climatic implications of fluvial archives. **Earth-Science Reviews**, v. 207, p. 103228, 2020. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103228
11. BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Reconstituição de eventos geomorfológicos no Quadrilátero Ferrífero/MG a partir de registros deposicionais fluviais: a bacia do rio Paraopeba. **Quaternary and Environmental Geoscience**, v. 9, p. 36-48, 2018a. DOI: 10.5380/abequa.v9i2.51235
12. BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Morfogênese no Quadrilátero Ferrífero/MG no Quaternário Superior: processos fluviais e condicionantes paleoambientais na bacia do rio das velhas. **Revista brasileira de Geomorfologia**, v. 19, p. 547-565, 2018b. DOI: 10.20502/rbg.v19i3.1305
13. 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. DOI: 10.1007/BF00682427
14. BEHLING, H.; LICHTÉ, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. **Quaternary Research**, v. 48, n. 3, p. 348–358, 1997. DOI: 10.1006/qres.1997.1932
15. BEHLING, H. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. **Vegetation History Archaeobotany**, v. 12, n. 4, p. 263-270, 2003. DOI: 10.1007/s00334-003-0020-9
16. BLAIR, T. C. Sedimentology of the debris-flow-dominated Warm Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, California. **Sedimentology**, v. 46, n. 5, p. 941-965, 1999. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1999.00260.x
17. BLAIR, T. C.; MCPHERSON, J. G. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. **Journal of Sedimentary Research**, v. 64, n.3, p. 450-489, 1994.
18. BULL, W. B. The alluvial-fan environment. **Progress in Physical Geography**. v. 1, p. 222-270, 1977. DOI: 10.1177/030913337700100202
19. CASTRO, P. T. A. Geologia da Chapada de Canga. In: CARMO F.F.; KAMINO L. H. Y. (Org.). **Chapada de Canga: patrimônio natural e cultural de relevante interesse para a conservação**. 1º Ed. Belo Horizonte: 3i editora, 2017. p. 25-48.
20. CHANG, J. C.; SHIH, T. T.; YANG, S. C.; LIN, Y. F.; CHEN, H. L. A geomorphological study of alluvial fan in Huatung Longitudinal Valley. **Geographical Research**, v. 21, p. 43-74, 1994.
21. CHANG, J. C. 1985. Topographical analysis and landform changes of Choshui Plain. **Geographical Research**, v. 11, p. 199-228.
22. COMPTON, R. R. **Geology in the Field**. 1º Ed. Wiley, EUA. 1985. 398p.
23. DARBY, D. A.; WHITTECAR, R. G.; BARRINGER, R. A.; GARRETT J. Alluvial lithofacies recognition in a humid-tropical setting. **Sedimentary Geology**, v. 67, p. 161-174, 1990.
24. DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Professional Paper**, USGS/DNPM, 110p, 1969.

25. 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. DOI: 10.1007/s10933-009-9402-z
26. EVANS, J. E. Facies Relationships, Alluvial architecture, and paleohydrology of a Paleogene humid-tropical alluvial fan system: Chumstick Formation, Washington State, USA. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, n. 5, p. 732-755, 1991.
27. FERREIRA, M. F. M. **Geomorfologia e análise morfotectônica do alto vale do Sapucaí- Pouso Alegre (MG)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.
28. GONTIJO, A. H. F. **Morfotectônica do médio vale Rio Paraíba do Sul: região da Serra da Bocaina, estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1999.
29. GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILLYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
30. HARVEY, A.M. The coupling status of alluvial fans and debris cones: a review and synthesis. **Earth surface processes and landforms**, v. 37, p. 64-76, 2012. DOI: 10.1002/esp.2213
31. HARVEY, A. M. The role of alluvial fans in the mountain fluvial systems of southeast Spain: implications of climatic change. **Earth surface processes and landforms**, v. 21, p. 543-553, 1996. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9837(199606)21:6<543:AID-ESP641>3.0.CO;2-F
32. ISEKI, H. Super-imposed alluvial fan in the Nobi Plain. In: SAWADA, K. (Ed.). **Relationships Between Nature and Human Activity**. Tokyo: Kokon Shoin, 1981. p. 11-19.
33. KESEL, R. H. Alluvial fan systems in a wet-tropical environment, Costa Rica. **National Geographic Research**, v. 1, p. 450-469, 1985.
34. KESEL, R.H.; LOWE, D. R. Geomorphology and Sedimentology of the Toro Amarillo Alluvial Fan in a Humid Tropical Environment, Costa Rica. **Geografiska Annaler**, v. 69, p. 85-99, 1987. DOI: 10.1080/04353676.1987.11880199
35. KOCHER, R. C.; JONSON, R. A. Geomorphology and sedimentology of humid-temperate alluvial fans, central Virginia. In: KOSTER, E.H.; STEEL, R.J. (Ed.). **Sedimentology of Gravels and Conglomerates**. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 1984. p. 109-122.
36. LANA, C. E. **A Influência de Níveis de Base nas Características Morfossedimentares das Bacias dos Rios das Velhas e Jequitaiá, MG**. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
37. LANA, C. E.; MACEDO, R. S.; GOMES, I. R.; OLIVEIRA, F. B. Caracterização Morfossedimentar dos efeitos do evento de fluxo de sedimentos de 2009 na vila de São Vicente, Cachoeira de Itapemirim – ES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 417-430, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i3.747
38. 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 cenozoicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, p. 21-30, 2010. DOI: 10.20502/rbg.v11i1.138
39. LECCE, S. A. The Alluvial Fan Problem. In: RACHOCKI A. H.; Church M. (ed.). **Alluvial Fans: A field approach**. John Wiley e Sons, 1990, p. 2-24.
40. 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. DOI: 10.1016/0031-0182(96)00105-8
41. LIMA, M. R.; MELO, M. S. Palinologia de depósitos rudáceos da região de Itatiaia, bacia de Resende, RJ. **Geonomos**, v. 2, n. 1, p. 12-21, 1994.
42. LIPSKI, M. **Tectonismo Cenozoico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2002.
43. LOBATO, L.M.; BALTAZAR, O.F.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; TIMBÓ, M.A.; BERNI, G.V; MENDONÇA, B.R.V. DE; FERREIRA, D.V. **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1:50.000.
44. LOPES, F. A. **Contribuições sobre a dispersão de minerais ferrosos e evolução morfossedimentar da porção Nordeste do médio curso do rio Paraopeba, borda Oeste do Quadrilátero Ferrífero, MG**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
45. LOPES, F. A.; LANA, C. E.; CASTRO, P. T. A.; LANA, C. C. Paleomorphology of the northwestern of the Quadrilátero Ferrífero (Central Brazil): Stratigraphic and geochronological evidence of a pleistocene alluvial fan system. **Quaternary International**, v. 542, p. 30-40, 2020. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.02.025

46. MACHADO, H. A. **Couças ferruginosas e solos associados em diferentes ambientes do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
47. MAGALHÃES JUNIOR, 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, n. 3, p. 187-194, 2011. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.05.008
48. MAKHLOUF, I. M.; BELAL, S.; AMIREH, B. S.; ABED, A. M. Sedimentology and Morphology of Quaternary Alluvial Fans in Wadi Araba, Southwest Jordan. **Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 79-98, 2010.
49. MARQUES, M. R. **Morfodinâmica fluvial cenozoica no vale do Rio Paraopeba entre o Fecho do Funil e Juatuba, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.
50. MCPHERSON, J. G.; SHANMUGAM, G.; MOIOLA, R. J. Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas. **Geological Society of America Bulletin**, v. 99, p. 331-340, 1987. DOI: 10.1130/00167606(1987)99<331:FABDVO>2.0.CO;2
51. MCPHERSON, J. G.; SHANMUGAM, G.; MOIOLA, R. J. Fan deltas and braid deltas: conceptual problems. In: NEMEC W.; STEEL R. J. (Eds.). **Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings**. Glasgow: Blackie, 1988, p. 14-22.
52. 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.
53. MIALL, A. D. Facies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In: A.D. MIALL (ed.). **Fluvial sedimentology**. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, 1978. p. 597-604.
54. MOREIRA, P. F. **Depósitos cenozoicos 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.
55. NAKATA, T.; TSUTSUMI, H.; PUNONGBAYAN, R.S.; RIMANDO, R.E.; DALIGDIG, J.A.; DAAG, A. S.; BESANA, G. M. Surface Fault Ruptures of the 1990 Luzon Earthquake, Philippines. **Special Publication Horishima University** 25, v. 86, 1996.
56. NEMEC, W.; KAZANCI, N. Quaternary colluvium in west-central Anatolia: sedimentary facies and palaeoclimatic significance. **Sedimentology**, v. 46, p. 139-170, 1999. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1999.00210.x
57. NEVES, M. A.; MORALES, N.; SAAD, A. R. Facies analysis of tertiary alluvial fan deposits in the Jundiá region, São Paulo, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 19, p. 513-524, 2005. DOI: 10.1016/j.jsames.2005.06.008
58. OGUCHI, T.; OGUCHI, C. T. Late Quaternary rapid talus dissection and debris flow deposition on an alluvial fan in Syria. **Catena**, v. 55, p. 125-140, 2004. DOI: 10.1016/S0341-8162(03)00112-7
59. OGUCHI, T. Late quaternary sediment budget in alluvial-fan-source-basin systems in Japan. **Journal of Quaternary Science**, v. 12, p. 381-390, 1997. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1417(199709/10)12:5<381::AID-JQS321>3.0.CO;2-%23
60. OUCHI, S. A study of minor reliefs and grain size distributions on alluvial fans in central Japan. **Geographical Review of Japan**, v. 52, p. 190-198, 1979.
61. OWEN, L. A.; CLEMMENS S. J.; FINKEL, R.C.; GRAY, H. Late Quaternary alluvial fans at the eastern end of the San Bernardino Mountains, Southern California. **Quaternary Science Reviews**, v. 87, p. 114-134, 2014. DOI: 10.1016/j.quascirev.2014.01.003
62. PEIFER, D.; PERSANO, C.; HURST, M.; BISHOP, P.; FABEL, D. Growing topography due to contrasting rock types in a tectonically dead landscape. **Earth Surface Dynamics**, v. 9, p. 167-181, 2021. DOI: 10.5194/esurf-9-167-2021
63. 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. DOI: 10.1191/095968398670195708
64. 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 e VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG. 2008.
65. REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 206-226, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493
66. RODRIGUES-FILHO, S.; BEHLING, H.; IRION, G.; MÜLLER G. Evidence for lake formation as a response to an inferred Holocene climatic transition in Brazil. **Quaternary Research**, v. 57, n.1, p.131-137, 2002. DOI: 10.1006/qres.2001.2281
67. ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região da Bragantina, Nordeste do Pará. **Bol. Mus. Paraense Emilio Goeldi**, v. 1, n. 1, p. 24-74, 1989.
68. 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, Belo Horizonte, 2008.

69. RUST, B. R.; KOSTER, E. H. Coarse alluvial deposits. In: WALKER, R. G. (ed.). **Facies Models**. Canada: Geoscience Canada Reprint Series, 1984, p. 53–69.
70. RUXTON, B. P. Labile Quartz poor sediments from young mountain ranges in Northeast Papua. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 4, p. 1262-1270, 1970.
71. SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. Tese (Concurso de Professor Titular) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.
72. SAITO, K.; YAMADA, M.; HASHIMOTO, A.; OGUCHI, T. Slope of alluvial fans in Death Valley, California. **Occasional Paper of Department of Geography**, v. 23, p. 29-40, 2003.
73. SAITO, K.; OGUCHI, T. Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines. **Geomorphology**, v. 70, p. 147–162, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.04.006
74. SALGADO, A.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JR, H.; VARAJÃO, A.; VARAJÃO, C. Denudation rates of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil): Preliminary results from measurements of solute fluxes in rivers and in situ-produced cosmogenic ¹⁰Be. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 313-317, 2006. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.08.064
75. SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A.; NALINI JR, H. Study of the erosion rates in the upper Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG, Brazil) by the in situ produced cosmogenic¹⁰Be method. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 905-911, 2007. DOI: 10.1002/esp.1448
76. SALGADO, A. A. R.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JR, H. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 52, p. 317-323, 2008.
77. SANCHEZ-NÚÑEZ, J. M.; MACÍAS, J. L.; SAUCEDO, R.; ZAMORANO, J.J.; NOVELO, D.; MENDOZA, M. E.; TORRES-HERNÁNDEZ, J. R. Geomorphology, internal structure and evolution of alluvial fans at Motozintla, Chiapas, Mexico. **Geomorphology**, v. 230, p. 1-12, 2014. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.10.003
78. 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 Sciences*, v. 10, n. 3, p. 275-284, 1997. DOI: 10.1016/S0895-9811(97)00016-3
79. SANTOS, M. **Serra da Mantiqueira e Planalto do Alto Rio Grande: a Bacia Terciária de Aiuruoca e evolução Morfotectônica**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1999.
80. SEIXAS, A. P.; COE, H. H. G.; GOMES, J. G.; BARROS, L. F. P. Reconstituição Paleobiogeoclimática Através de Fitólitos e Isótopos de Carbono no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Equador**, v. 4, n. 3, p. 1439-1447, 2015.
81. SELBY, M. J. Hillslope sediment transport and deposition. In: PYE K (Ed). **Sediment Transport and Deposition**. Oxford: Scientific Publications, 1994, p. 61-87.
82. SOBREIRA, F. G. Susceptibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG. **Geo.br**, v.1, p. 43-60, 2001.
83. SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003. 400p.
84. TOMITA, Y. On the geomorphological classification of fans in Taiwan (Formosa). **Journal of Geography**, v. 60, p. 2-9, 1951.
85. TOYA, H.; MACHIDA, H.; NAITO, H.; HORI, N. Distribution of alluvial fans in Japan. In: YAZAWA, D., TOYA, H., KAIZUKA, S. (eds.). **Alluvial Fans**. Tokyo: Kokon Shoin, 1971, p. 97– 120.
86. TURNER, B. R.; MAKHLOUF, I. Recent colluvial sedimentation in Jordan: fans involving int sand ramps. **Sedimentology**, v. 49, p. 1283-1298, 2002.
87. VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 138-145, 1991.
88. 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 por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1409-1425, 2009. DOI: 10.1590/S010006832009000500032
89. WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377–392, 1922.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.