

Artigo de Pesquisa

## Diferentes controles na evolução do relevo em faixas móveis neoproterozoicas: considerações sobre uma bacia hidrográfica neotectônica

*Different controls in the evolution of the relief in neoproterozoic fold belts: considerations about a neotectonic hydrographic basin*

Roberto Marques Neto <sup>1</sup>, Felipe Pacheco da Silva <sup>2</sup>, Juliana Alves Moreira <sup>3</sup>, Miguel Fernandes Felipe <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Geociências, Juiz de Fora, Brasil. E-mail.

roberto.marques@uffj.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6496-789X>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail.

feliipe.p@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-1740>

<sup>3</sup> Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil. E-mail. [julianaalvesmoreira22@gmail.com](mailto:julianaalvesmoreira22@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8041-4462>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Geociências, Juiz de Fora, Brasil. E-mail. [mffelippe@gmail.com](mailto:mffelippe@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0261-4298>

Recebido: 14/01/2021; Aceito: 29/03/2021; Publicado: 15/01/2022

**Resumo:** Reconhecidamente, os sistemas geomorfológicos se consubstanciam mediante uma sobreposição de estruturas passivas e elementos morfotectônicos que, conjuntamente, engendram fatos geomórficos submetidos a diferentes controles. Os concernentes à neotectônica intraplaca tem interpretado o papel dos esforços deformacionais recentes na evolução do relevo e da drenagem, conforme tem ocorrido em bordas cratônicas como os cinturões móveis reativados durante a separação da Placa Afrobrasileira e ao longo do Cenozoico. No sudeste brasileiro, o período neotectônico, estabelecido a partir da primeira fase deformacional das estruturas vinculadas ao rifte sudeste, tem forjado reorganizações nos sistemas geomorfológicos e engendrado o surgimento de redes de drenagem referenciadas nos níveis de base pregressamente estabelecidos, como o rio Paraíba do Sul e o próprio Oceano Atlântico. A bacia do rio Paraibuna partilha de um conjunto de bacias hidrográficas geradas nessas primeiras fases de reativação firmadas entre o Oligoceno e o Mioceno, apresentando heranças das estruturas preteritamente formadas e evidências de tectônica ativa, cuja conjugação foi estabelecida mediante uma compartimentação morfoestrutural e morfotectônica, que, comparadas, confirmaram a atuação esperada de diferentes controles e desvelaram especificidades acerca da tectônica ativa vigente na região. As evidências encontradas, além de sublinharem a evolução neotectônica da bacia, sugerem a necessidade de estudos mais verticalizados em blocos locais a partir das anomalias constatadas na área.

**Palavras-chave:** Neotectônica; compartimentação morfoestrutural; compartimentação morfotectônica; bacia do rio Paraibuna.

**Abstract:** Admittedly the geomorphological systems substantiate itself through a superposition of passive structures and morphotectonic elements that conjugated engendrate geomorphic facts submitted to different controls. The ones concerning to the intraplate neotectonic has being interpreting the recent deformational efforts role in the evolution of the relief and draining as it has being occurring in cratonic borders as the retrative mobile belts during the separation of the Afro Brazilian Plate and during de Cenozoic. In southeast Brazil the neotectonic period established from the first deformational fase of the structures linked to the southeastern rift has being forging reorganizations in the geomorphological systems and engendrating the emergence of draining nets referenced on the previously established base levels like Paraíba do Sul river and the Atlantic Ocean itself. The Paraíba river basin shares a group of hydrographic basins generated in those first fases of reactivation formed between the Oligocene and the Miocene presenting heritages of the previously formed structures and evidences of active tectonic whose conjugation was established through a morphostructural and morphotectonic compartmentalization which in comparison confirmed the expected acting of different controls and unveiled specificities about the active tectonic present in the region. The evidence found, in addition to underlining the neotectonic basin evolution, suggests the need for more vertical studies in local blocks based on the anomalies found in the area.

**Keywords:** Neotectonic; morphostructural compartmentalization; morphotectonic compartmentalization; Paraíba river basin.

## 1. Introdução

A Plataforma Brasileira é a porção cratonizada da Placa Sul-Americana, composta por núcleos crustais que se arremataram ao final do Pré-Cambriano (Ciclo Brasileiro), projetando-se significativamente ao longo do cinturão intertropical como ocorre em contextos geodinâmicos semelhantes. Exemplos congêneres podem ser vistos no cráton Dharwar na Índia, formado em sucessivos eventos tectonometamórficos ao longo do Arqueano (JAYANANDA et al. 2006), no cráton do Kalahari na África subsaariana, forjado através de eventos acrescionários arqueanos entre 3,2 e 2,7 Ga (ZEH et al. 2009), e no cráton do Congo, evoluído em ciclos orogênicos arqueanos (Orogenia Liberiana) e Paleoproterozoicos (ciclo Eburneano) (TADJON et al. 2009), do qual o nosso cráton do São Francisco é uma apófise gerada pela fissão crustal. Essa relação pretérita dos núcleos cratônicos Congo \ São Francisco mostra que o escudo brasileiro também é estruturado segundo esse arcabouço pré-cambriano, exumado em extensas janelas estruturais ou recoberto por coberturas fanerozoicas em grandes bacias de sinéclise, além das faixas móveis que distintamente engendram topografias elevadas em superfícies estruturais brasileiras.

Embora não haja um pleno consenso científico na definição da temporalidade neotectônica afetando essas estruturas antigas, o início do Neógeno tem sido aludido como um importante marco temporal. Nesse sentido, Hasui (1990) defende que o início dos esforços deformacionais neotectônicos seja firmado no Mioceno Médio, podendo retroceder ao Oligoceno (SAAD et al. 2005), com o final dos eventos distensivos relacionados ao rifte continental do sudeste brasileiro (sensu RICCOMINI, 1989). Saadi et al. (1993, 2005) relaciona o início do período neotectônico ao evento andino denominado Incaic II, entre o Eoceno e o Oligoceno e à instalação do “sistema de riftes da Serra do Mar”, das bacias do Quadrilátero Ferrífero, bem como ao início da sedimentação do Grupo Barreiras. Doravante, um pulso instaurado no Plioceno estabeleceria correlação com a instalação do “rifte de São João Del Rey” no sudeste brasileiro, estudado por Saadi (1990) em maiores detalhes. Por fim, o autor reconhece um terceiro campo de tensões operante no Pleistoceno inferior e médio responsável por soerguimento plataformar generalizado, inversão de bacias e deformação de depósitos quaternários. Riccomini et al. (2004), endossados por Silva e Mello (2011), reconhecem ainda uma fase deformacional no final do Pleistoceno e início do Holoceno, além de outras duas holocênicas.

A investigação da tectônica cenozoica no sudeste brasileiro tem como importante sustentáculo o trabalho de Riccomini (1989), que firma por meio de estudos sistemáticos uma temporalidade para os esforços deformacionais vinculados ao rifteamento da plataforma e efeitos geodinâmicos associados (vulcanismo basáltico-toleítico, intrusões de stocks alcalinos, tafrogenia na margem continental com formação de sistemas horst/gráben, formação de bacias rifte). Sucedem tais esforços distensivos novos pulsos de soerguimento explorando falhas pré-cambrianas e forçando novas nucleações (SAADI, 1991; HIRUMA e RICCOMINI, 1999; SILVA e MELLO, 2011). Dessa forma, é presumível que estruturas presentes em importantes zonas de cisalhamento regional tenham se movimentado de forma contínua durante praticamente todo o Cenozoico (SANTOS, 1999; MORALES, 2005; HARTWIG e RICCOMINI, 2010), definindo-se assim os campos de tensão concernentes ao período neotectônico.

Uma hipótese aventada no presente artigo é de que as relações entre a evolução da rede hidrográfica e a morfogênese dos interfúvios ao longo das faixas móveis dos orógenos proterozoicos do sudeste brasileiro (Faixa Mantiqueira) e os esforços neotectônicos são das mais estreitas, incluindo aqueles provenientes de uma tectônica ativa. Nesse contexto, a bacia do Rio Paraibuna (Figura 1), localizada na porção sudeste do estado de Minas Gerais (mesorregião da Zona da Mata mineira), foi escolhida como área de estudo a complementar um rol mais abrangente de investigações que vem sendo levadas a efeito no Brasil Sudeste, enfaticamente nas áreas influenciadas pelo “sistema rifte continental”, a exemplo das referências anteriormente citadas. Estabelecidas essas premissas, a presente comunicação visa discutir relações entre a evolução do relevo e da drenagem na bacia hidrográfica em questão a partir de seu quadro estrutural preexistente e dos processos morfotectônicos vigentes, procurando articular, na medida do necessário, o contexto local ao arranjo geomorfológico e estrutural regional.

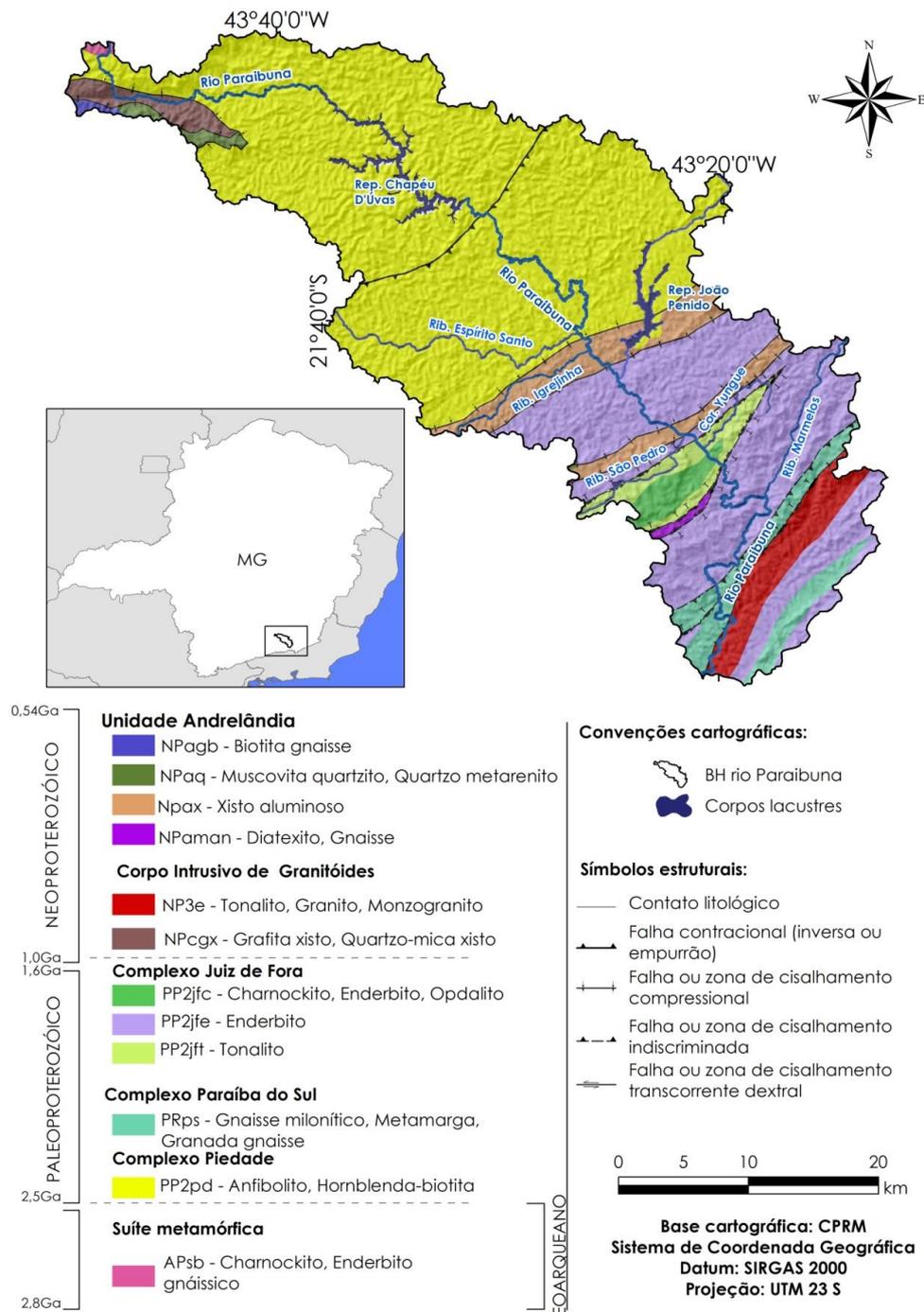


Figura 1. Localização e base geológica da bacia hidrográfica do rio Paraibuna (MG). Fonte: CPRM, 2014.

## 2. Materiais e Métodos

A primeira etapa metodológica consistiu na organização de um banco de dados em escala de 1/50.000 a partir da articulação em meio digital das folhas topográficas que abrangem o corte territorial da bacia, em conjunto com as informações em formato vetorial correspondentes à drenagem e às curvas de nível com equidistância de 20 metros. Em seguida, se obteve no âmbito do *United States Geological Survey* (USGS) a imagem Landsat 7 (bandas 5, 4, 3) com resolução de 15 metros e dados de radar correspondentes ao projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), da qual foram extraídas as informações clinográficas e hipsométricas. Os dados litológicos foram obtidos junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em escala de 1/100.000. Para a organização e processamento dos dados, bem como para a geração dos mapas de base, foi lançado mão do software ArcGIS. Cumpre salientar que o rio Paraíba foi considerado a partir da desembocadura no rio do Peixe (Figura 2), do qual é afluente da margem esquerda à montante da afluência deste no rio Preto, por sua vez o afluente direto do rio Paraíba do Sul. Embora alguns esquemas de regionalização hidrográfica apontem o rio Paraíba como tronco coletor principal, é evidente que o rio Preto drena uma área maior e atinge antes o nível de base, subordinando a área drenada pelo do Peixe (por conseguinte, pelo rio Paraíba) e formando uma bacia de drenagem bastante assimétrica.

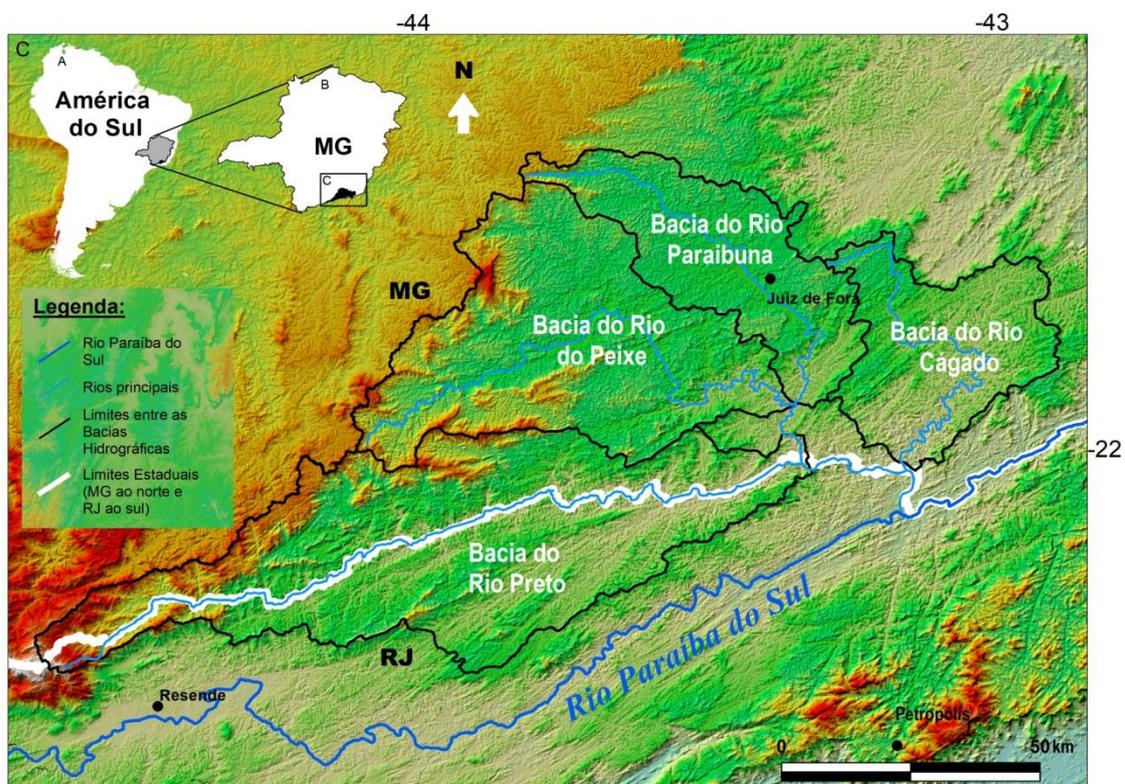


Figura 2. Organização hidrográfica e inserção regional da bacia do rio Paraíba.

Subsequentemente foram geradas informações estruturais de base a partir da extração dos lineamentos do relevo e da drenagem e da elaboração de um mapa de superfícies de base. A interpretação dos lineamentos a partir de segmentos retilíneos do relevo e da drenagem lançou mão de imagens SRTM nos ângulos de iluminação azimutal de 45°, 90°, 315° e 360°, o que se deu no intuito de realçar o maior número possível de orientações e evitar interpretações enviesadas. As rosetas de frequência de lineamentos foram geradas com intervalos angulares de 10° através do programa GEOorient©, ambiente no qual os dados de orientação foram inseridos na forma de bloco de notas.

Associadamente, as superfícies de base foram obtidas em meio digital segundo os procedimentos executados por Salvador & Pimentel (2009). Superfícies de base são representadas cartograficamente a partir de isobases que correspondem a uma superfície hipotética determinada pela intersecção entre a rede de drenagem de ordem similar com a superfície erosiva associada à reorganização da rede hidrográfica, oferecendo assim valiosas informações acerca do quadro tectono-erosivo mais recente (JAIN, 1984; GOLTS e ROSENTHAL, 1993). O mapa em questão foi obtido com o emprego do software ArcGis, onde se extraiu a rede de drenagem do modelo digital

de elevação (MDE) com a hierarquia fluvial, segundo a proposta de Strahler (1952). Em seguida foram selecionados os canais de 2ª ordem, convertidos ao formato *raster* com valor 1; posteriormente, tal arquivo foi combinado com o MDE através de multiplicação, obtendo-se assim as altitudes locais. O passo seguinte foi a vetorização, gerando um arquivo de pontos cotados que foram interpolados segundo o quadrado inverso (IDW). As isobases foram representadas juntamente aos lineamentos, conjugando-se assim os dois planos de informação no mesmo mapa e facilitando as correlações.

O quadro litológico, juntamente à rede de drenagem e aos lineamentos estruturais, foi analisado em conjunto aos sistemas geomorfológicos vigentes na bacia, interpretados a luz de uma compartimentação geomorfológica gerada a partir das bases planialtimétricas (folhas Bias Fortes - SF-23-X-C-VI-1, Ewbanck da Câmara - SF-23-X-C-VI-2, Ibertioga - SF-23-X-C-III-3, Juiz de Fora - SF-23-X-D-IV-1, Mar de Espanha - SF-23-X-D-IV-4, Matias Barbosa - SF-23-X-D-IV-3, Santos Dumont - SF-23-X-C-III-4 e São João Nepomuceno - SF-23-X-D-IV-2) e de seus respectivos imageamentos em SRTM e Landsat. Esses resultados partilham da carta geomorfológica da bacia elaborada por Marques Neto et al. (2017). Com base na interpretação integrada das variáveis retrocitadas (geologia, lineamentos, drenagem e compartimentos geomorfológicos) foi elaborada uma proposta de compartimentação morfoestrutural para a bacia do rio Paraibuna.

A investigação de evidências de controle morfotectônico sobreposto ao quadro estrutural preexistente se pautou na interpretação do relevo e na drenagem, bem como na consideração de elementos de subsuperfície (falhas e juntas). As feições morfotectônicas identificadas foram representadas em documento cartográfico próprio e discutidas em suas relações com o quadro morfoestrutural identificado no intuito de conjugar o papel das diferentes influências na organização geomorfológica da bacia. Por fim, foram discernidos os altos e baixos topográficos, base para a proposição de uma compartimentação morfotectônica estabelecida a partir das seguintes evidências: (A) ocorrência de falhas e feições escarpadas; (B) indicadores em anomalias de drenagem; (C) presença de bacias assimétricas; (D) zonas erosivas; (E) zonas de estocagem sedimentar (F) Orientação de elementos planares em estruturas recentes.

As campanhas de campo perfizeram transversalmente todas as fases da pesquisa, e foram aproveitadas para conferências gerais da organização concernente aos compartimentos morfoestruturais, bem como para análises em escala de detalhe de elementos estruturais e fatos geomórficos específicos. Esse movimento interesalar permitiu a averiguação de *landforms* e feições morfoestratigráficas indicativas de controle tectônico, bem como a medição de elementos planares (direção e mergulho) em falhas transcorrentes. Os materiais que deram suporte às expedições, além das folhas topográficas e produtos de sensoriamento remoto, reuniram GPS Garmin (modelo Etrex), bussola geológica Brunton, e martelo geológico.

### 3. Resultados: Influências estruturais e tectônicas na evolução do relevo na bacia do rio Paraibuna

A orientação geral do rio Paraibuna se estabelece no sentido NW-SE, congruente à orientação da distensão ocasionada na primeira fase de deformação do rifte continental, de idade neogênica, marcado por transcorrência sinistral E-W (RICCOMINI, 1989; SILVA e MELLO, 2011). A organização da rede hidrográfica regional na fase pós-rifte se deu a partir do rio Preto, o principal curso d'água que diseca o horst da Serra da Mantiqueira entre aqueles que, ao invés de drenarem endorreicamente, foram capturados em direção ao Oceano Atlântico em franca abertura, passando a integrar a bacia do rio Paraíba do Sul. Com a primeira reativação do rifte Sudeste se instalam canais de orientação NW-SE, caso do rio Paraibuna, que passam a dissecar as estruturas NE-SW anteriormente reativadas durante o processo de rifteamento. A Figura 3 revela o arranjo estrutural da bacia do rio Paraibuna, com unidades diferenciadas segundo seus aspectos geomorfológicos, litológicos, bem como pelo padrão de orientação dos lineamentos. O perfil 3D subsequente (Figura 4) auxilia a visualização da organização geomorfológica da bacia.

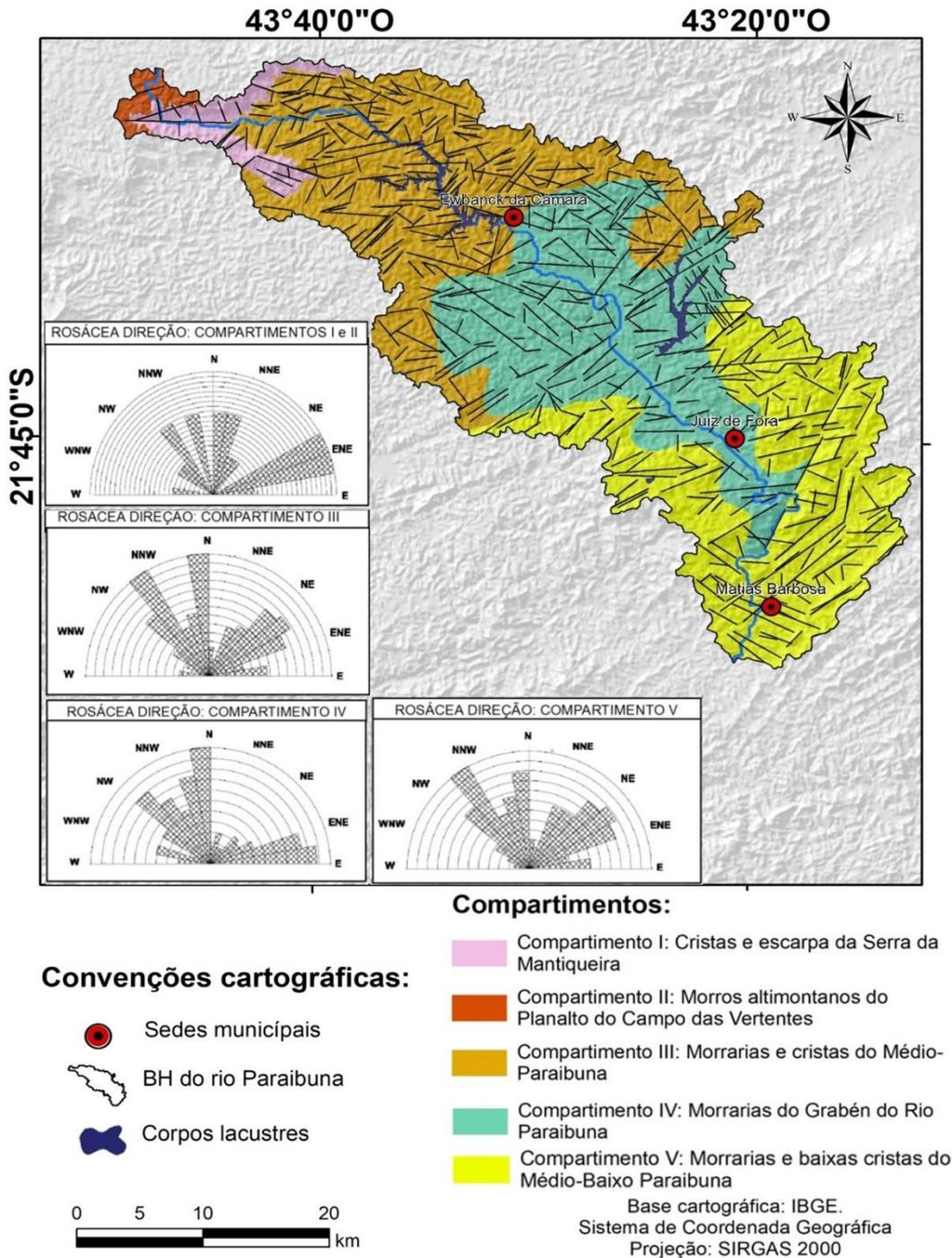


Figura 3. Compartimentação morfoestrutural da bacia do rio Paraibuna.

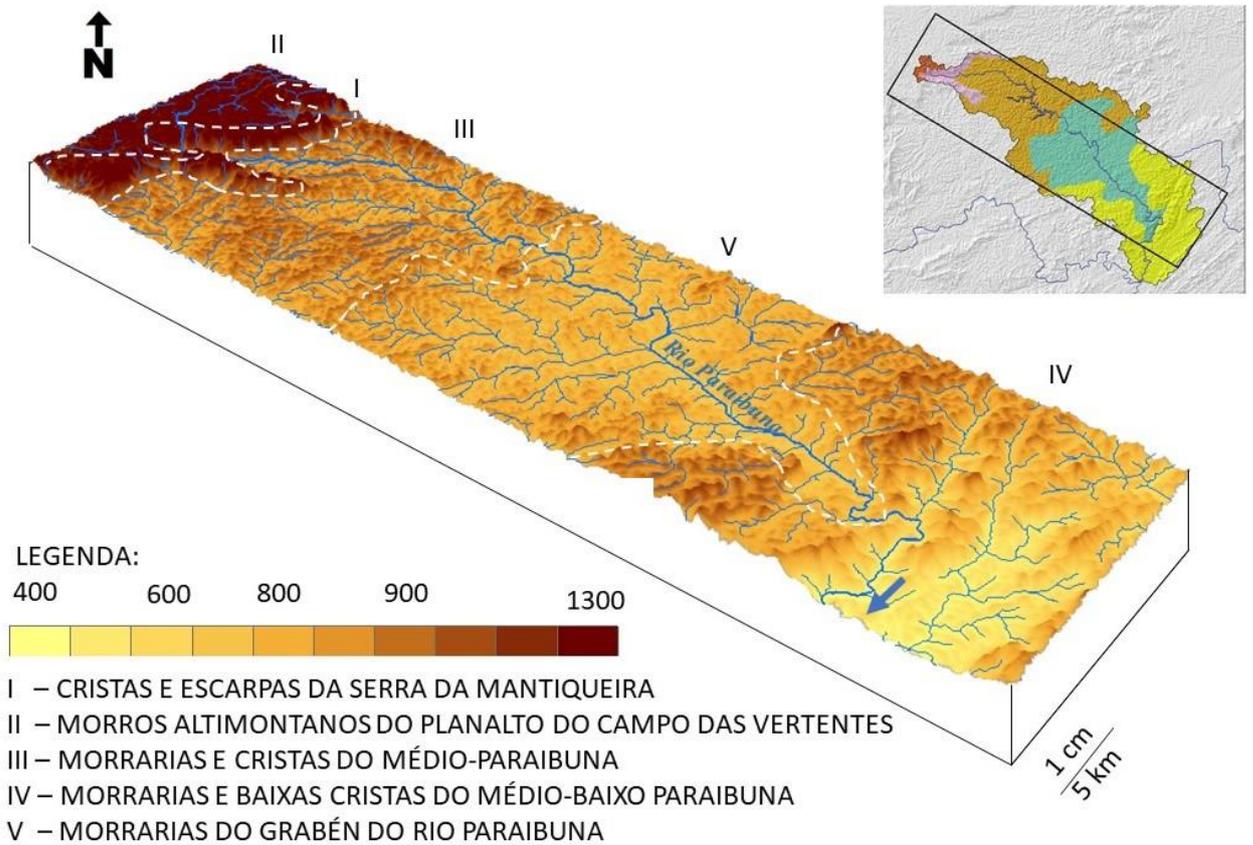


Figura 4. Perfil 3D de transecto da bacia do rio Paraíba.

As orientações dos lineamentos mapeados revelam um esforço E-W, responsável por inflexões de canais fluviais, entre eles o próprio rio Paraíba, e corresponde à direção dominante dos esforços neotectônicos nos terrenos cristalinos do sudeste brasileiro, em consonância à compilação de Zoback et al. (1989), interceptando as estruturas NE-SW herdadas do rifte Sudeste. Ainda, a luz do mapa, um conjunto de lineamentos se adéqua à orientação NW-SE correspondente à tectônica distensiva da primeira fase deformacional do referido rifte (RICCOMINI et al. 2004), perfazendo-se assim o arranjo geral das orientações. Essa orientação, conforme atinado, é a predominante no próprio rio Paraíba até o baixo curso, embora os lineamentos correspondentes não tenham sido traçados no mapa para que o canal principal ficasse permanentemente exposto na figura. Desvios bem marcados por curvas anômalas ocorrem quando o canal intercepta estruturas E-W e NE-SW, estas últimas, controlando a inflexão do canal em seu baixo curso, até sua confluência com o rio do Peixe, associadas a uma zona de cisalhamento paleoproterozoica de mesma orientação.

Distintamente, os compartimentos I e II são aqueles que mais destoam do restante quanto à orientação dos lineamentos e aos aspectos geomorfológicos, uma vez que figuram como os únicos setores da bacia posicionados fora das Serras da Zona da Mata Mineira (sensu GATTO et al. 1983), correspondendo a um esporão da Serra da Mantiqueira que se projeta para norte na forma de um rebordo erosivo bem marcado pela retração das escarpas favorecida pelos níveis de base cada vez mais baixos que se escalonam em demanda ao rio Paraíba do Sul. Tal prolongamento marca a transição de um sistema de morrarias posicionado em ambientes altimontanos, já no Planalto de Campos das Vertentes, para domínios intermontanos, também caracterizados por relevos convexos com a presença de modelados em controle estrutural na forma de baixas cristas, morfologias estas emolduradas em litotipos relativamente homogêneos dados por ocorrência de biotita-gnaisses quase contínua na maior parte da média bacia, até o contato com os litotipos paleoproterozoicos do Complexo Juiz de Fora. As orientações dominantes se estabelecem no sentido ENE, fundamentalmente em função do alinhamento da Mantiqueira, sendo as demais direções bem distribuídas.

Nesses compartimentos, o contato em falha neoproterozoica entre o Complexo Piedade e a Unidade Carrancas (Figura 1), configura um vale estruturado de morfologia regionalmente anômala, vulgarmente W-E. As encostas altamente dissecadas contrastam com planícies altimontanas estreitas, porém, presentes.

O compartimento III apresenta direções marcadas no eixo NNW, além de sistemas N-S bem realçados, assinalando os campos de tensão mais recentes sobrepostos às estruturas com direção NE e NNE. Padroniza-se um relevo em morrarias policonvexas praticamente onipresentes na Zona da Mata Mineira, com alguns alinhamentos indicativos de algum controle estrutural. Sobrepõe-se às áreas eminentemente rurais da bacia do rio Paraibuna, apresentando, dessa forma, as evidências mais recorrentes de processos erosivos.

Na parte média da bacia, uma falha de orientação NE-SW marca a passagem para um compartimento (IV) rebaixado congruente à orientação do rio Paraibuna (NW-SE) com gênese vinculada à tectônica tafrogênica que engendrou um hemigraben capaz de exercer maior aprisionamento sedimentar, com amplo desenvolvimento de morfologias agradacionais que acomodaram grande parte do corpo urbano de Juiz de Fora. O compartimento rebaixado concernente ao gráben (IV) avulta a partir de um knick marcado por um desnivelamento em torno de 100 metros, estabelecendo-se sempre abaixo de 800 metros de altitude, embasado por biotita-gnaisses contíguos ao compartimento anterior até a interceptação de litotipos diversos arranjados no sentido NE-SW, o mesmo das falhas pré-cambrianas reativadas, marcando a passagem para a intercalação de biotita-gnaisses, escamas de micaxistos e quartzitos, além dos charnockitos pertencentes ao Complexo Juiz de Fora (Figura 1). Juntamente às destacadas orientações N-S e NW-SE, os sistemas E-W emergem de forma bastante realçada.

O grabén do rio Paraibuna perfaz uma projeção longitudinal de 33,4 km, e chega a apresentar 23,2 km de largura na sua parte mais central. O compartimento apresenta maior evolução lateral na porção NW, setor no qual os afluentes da margem direita atingem o nível de base primeiro (ribeirão Espírito Santo, Córrego Igreja), abrindo frentes erosivas mais recuadas. Afila-se paulatinamente na direção SE em função da influência do alto estrutural, que impõe desníveis abruptos talhados em soleiras com formação de níveis altimontanos mais bem desenvolvidos, como aqueles dissecados pelos córregos Humaitá e São Pedro, que perfazem a maior parte de suas extensões superficiais alçados em relação ao nível de base, com retenção sedimentar descontínua em planícies alveolares. O compartimento IV é interrompido de forma truncada pela interceptação de uma zona de cisalhamento de orientação geral NE-SW bem marcada pela presença de uma soleira, a qual o rio Paraibuna se adapta infletindo abruptamente em adequação à mudança de orientação que lhe é imposta. A montante da referida soleira é que se abre a zona de estocagem sedimentar concernente ao gráben.

Transposta a aludida soleira, uma ruptura de declive marca a passagem para a baixa bacia, referenciada por um bloco altimetricamente mais baixo (compartimento V), porém submetido a um soerguimento que pode ser averiguado em função do forte entalhe do canal e supressão das amplas morfologias agradacionais que se formaram no gráben, com o qual estabelece um desnível atual de aproximadamente 200 metros. Com o encaixamento do rio Paraibuna, mudanças nos aspectos morfológicos podem ser assinaladas pelo confinamento parcial dos vales e vertentes de maior declive, com maior retrabalhamento e quase nenhuma estocagem sedimentar, diferenciando-se sobremaneira do gráben em termos de formas e processos.

Muito embora o compartimento V apresente nexos morfoestrutural, parte de seu significado é fundamentalmente morfotectônico, conforme verificado na proposta de compartimentação dos principais blocos tectônicos existentes na bacia (Figura 5).

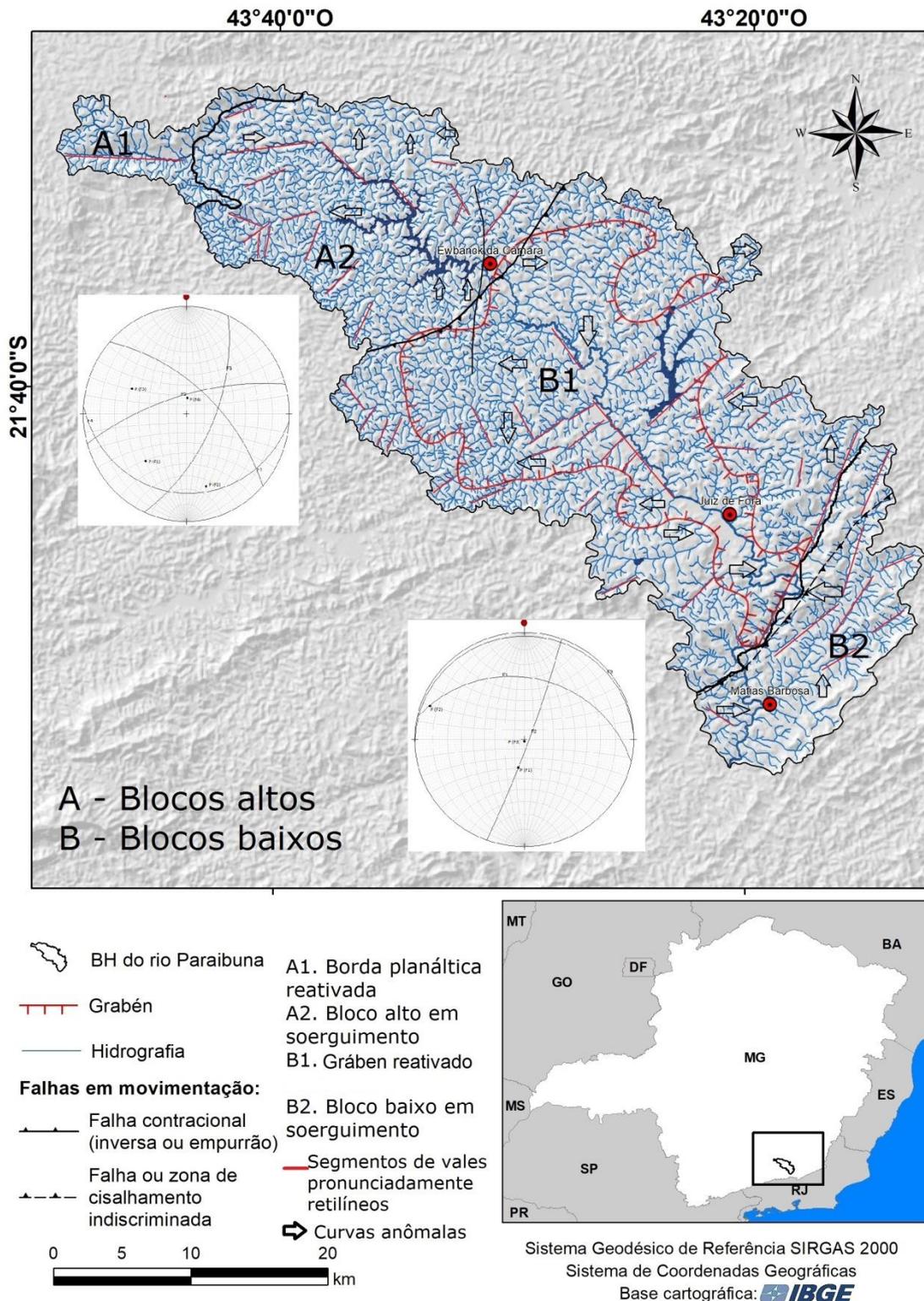
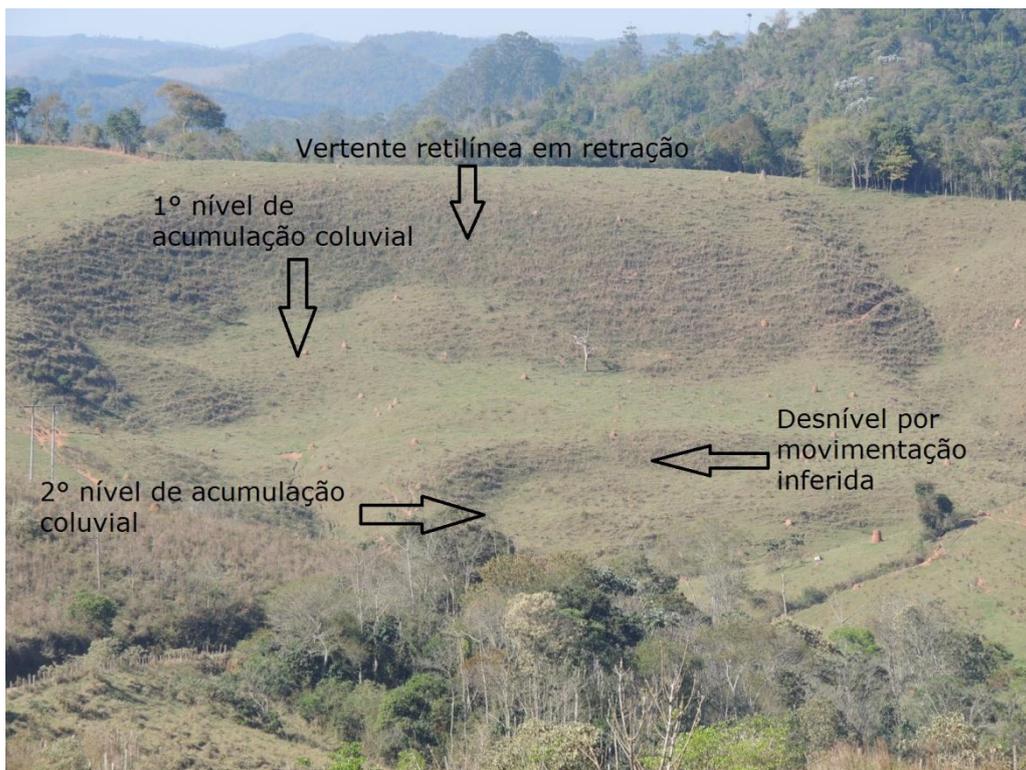


Figura 5. Compartimentação morfotectônica da bacia do rio Paraibuna.

A zona das cabeceiras do rio Paraibuna, no contexto geomorfológico da Mantiqueira Meridional, define um bloco alto (compartimento A1) que estabelece desníveis superiores a 200 metros com o bloco adjacente (compartimento A2). Corresponde aos esporões escarpados da Mantiqueira que estabelecem o contato com o Planalto de Campos das Vertentes, figurando como as principais zonas dispersoras da bacia. Blocos altos em soerguimento também foram definidos no horst que ladeia o rio Paraibuna, que embora mais baixo do que as cristas da Mantiqueira, define alinhamentos em falha normal elevados a mais de 200 metros em relação à porção central do gráben (compartimento B1), estabelecendo-se assim uma acentuada discordância erosiva no contato

entre os dois compartimentos. No horst, além das estruturas NE-SW herdadas do sistema rifte, são bem representativos os sistemas NW-SE e E-W em forte intensidade de mergulho.

O compartimento A2 apresenta indícios de reativação tectônica, com estilos fluviais em vales majoritariamente confinados e encaixados, com acervo sedimentar restrito nos fundos de vale na parte do bloco que compreende a bacia do rio Paraibuna. Malgrado o setor figurar como uma zona eminentemente erosiva, o significativo retrabalhamento ejeta de forma competente a carga sedimentar para jusante. Ainda assim, o coluvionamento é intenso, sendo verificável em setores de baixa vertente algum material retido na forma de depósitos coluviais, formando-se, inclusive, complexos de rampa desarticulados entre si e rampas suspensas em relação ao nível de base, evidenciando um provável controle morfotectônico (Figura 6). Grande parte dos depósitos correlativos concernentes a essas zonas erosivas encontra-se estocado no gráben do rio Paraibuna (B1), extensivamente impermeabilizados e interdigitados aos depósitos tecnogênicos vinculados à urbanização de Juiz de Fora.



**Figura 6.** Bolsões de acumulação coluvial no compartimento A2.

Na passagem do gráben para o compartimento B2, ocorre a supressão abrupta da planície fluvial no ponto em que o canal vence a soleira e se encaixa a entalhar os enderbitos que passam a aflorar no fundo do vale, sobre os quais depósitos coluviais se acomodam discordantemente. Nesse ponto, falhas interceptam o rio Paraibuna em distâncias decamétricas, engendrando sequências de corredeiras e elevando a energia da corrente. Foram aferidos sistemas NE-SW e NW-SE caracterizados por forte mergulho consorciados a sistemas E-W de mergulho fraco a forte. A orientação NE-SW denota reativação de estruturas mais antigas; porém, a forte angularidade que o rio desenvolve nessa passagem, com inflexões e mudanças abruptas na orientação geral do canal, sugerem esforços transcorrentes sobrepostos, representados, sobretudo, pelos sistemas E-W. Este compartimento foi interpretado como um bloco baixo em soerguimento, desnivelado em relação ao piso do gráben e com mudança abrupta nos estilos fluviais, na energia do relevo e na densidade de linhas de fraqueza expostas. A profundidade do canal diminui mesmo sem grandes variações na resistência das rochas, a despeito do confinamento do vale e do entalhe agressivo, padrão este que se mantém até a confluência com o rio do Peixe, o que também pode ser cogitado como indício de movimento ascensional.

O mapa de superfícies de base (Figura 7) ajuda na interpretação das relações entre o contexto estrutural e o quadro morfotectônico vigente na bacia do rio Paraibuna. Em grande medida, a passagem de um compartimento para outro se ajusta às alterações na configuração das isobases, coincidindo com mudanças de classes. Assim ocorre na passagem do compartimento A1 para os compartimentos A2 e B1, bem como na parte central do gráben,

coincidindo com uma curva anômala do rio Paraíba a partir da qual se define o segmento mais retilíneo do vale, e que possivelmente se relaciona com uma falha transcorrente inferida, com seu plano sepultado pela carga sedimentar retida no graben, cujos limites também se ajustam às mudanças de isovalores. De forma ainda mais bem marcada, tal padrão é verificado no contato entre os compartimentos B1 (gráben) e B2 (bloco baixo em soerguimento), onde a drenagem assume, conforme já relatado, seu comportamento mais anômalo em toda a bacia, havendo rehierarquização da malha hidrográfica estabelecida nos relevos alinhados e proeminentes relacionados à soleira e que controlam confluências locais.

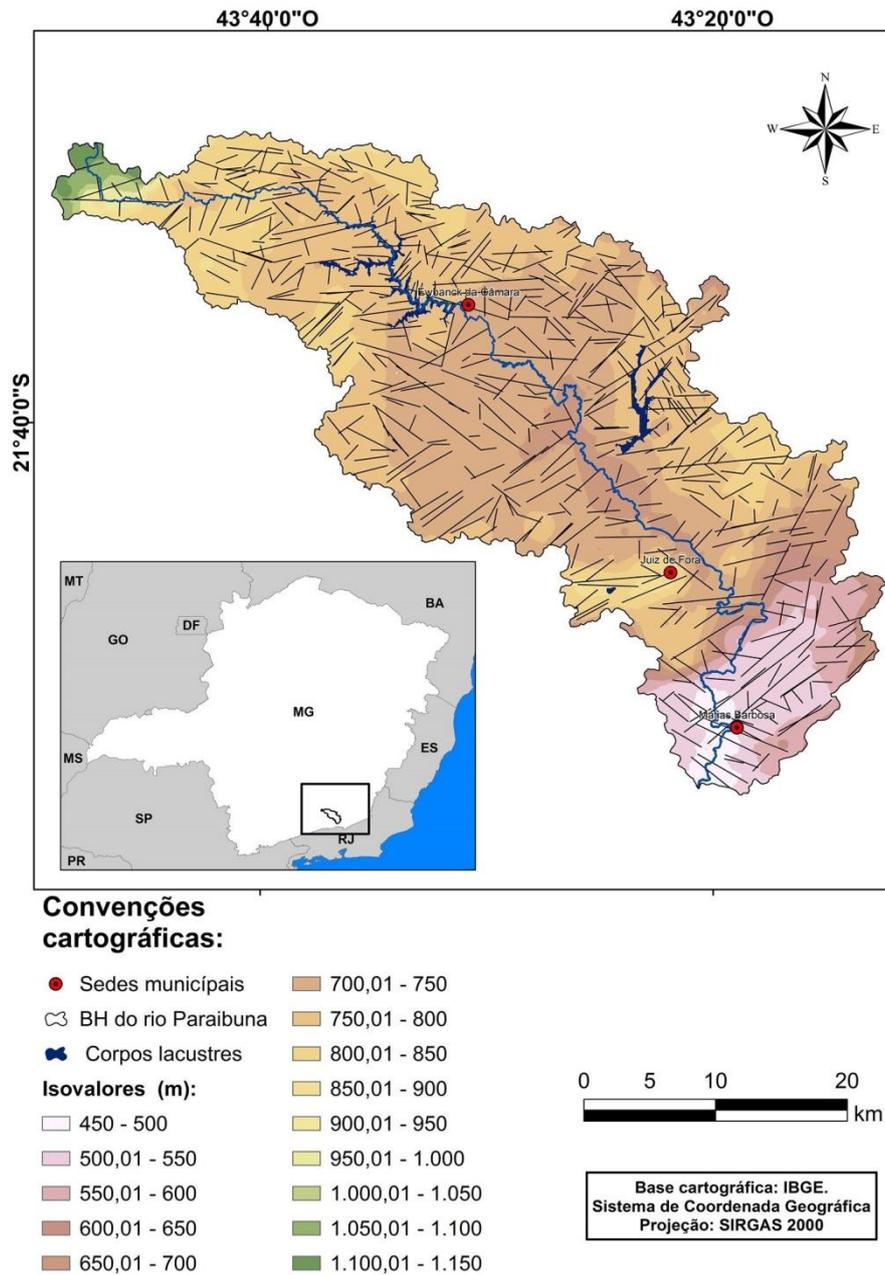


Figura 7. Superfícies de base mensuradas para a bacia do rio Paraíba.

Alguns aspectos do sistema geomorfológico concernente à bacia do rio Paraíba e seus compartimentos morfotectônicos, a título de ilustração amostral, podem ser observados na Figura 8.



**Figura 8.** Aspectos gerais dos compartimentos morfotectônicos na bacia do rio Paraibuna. A) Compartimento A2 (horst) e B1 (graben), contrastando os blocos alto e baixo. B) Manto de intemperismo evoluído preservando linhas de fraqueza paralelamente dispostas (compartimento A2). C) Aspecto do relevo no Compartimento A2, com tendência de encaixe da drenagem à montante do gráben. D) Compartimento B2, marcado por encaixamento abrupto do rio Paraibuna em resposta ao soerguimento do bloco.

#### 4. Discussão

A bacia do rio Paraibuna se inscreve no conjunto de bacias hidrográficas da margem esquerda do rio Paraíba do Sul cujas cabeceiras se posicionam em bordas planálticas, especificamente na passagem das escarpas da Mantiqueira para o Planalto de Campos das Vertentes, tal como rios regionais de posição hierárquica semelhante, como Pomba e Muriaé, com os quais guarda essa similitude. No entanto, o rio Paraibuna figura como um nível de base mais elevado e posicionado em nível hierárquico inferior em relação a esses rios que tributam diretamente o rio Paraíba do Sul, e que se superimpuseram a pilares tectônicos antes de abrirem alargados fronts erosivos a consumir o planalto. Tal organização geomorfológica sugere uma idade mais recente para a morfogênese dos interflúvios da bacia do rio Paraibuna, que se aproveita dos níveis de base mais rebaixados à montante abertos a partir de cortes epigênicos e inversões por captura. Nesse sentido, é crível que uma tectônica pós-miocênica possibilitou a configuração do sistema horst/graben, estabelecendo interflúvios locais controlados por um nível de base definido no piso do bloco abatido. Paixão et al. (2020) sublinharam o aumento da altitude que ocorre no sentido SE-NW no âmbito da bacia do rio Paraíba do Sul (remissão à Figura 2), denotando uma diminuição da agressividade erosiva nesse sentido, pelo qual se verifica o progressivo escalonamento altimétrico positivo dos níveis de base regionais.

As relações entre os compartimentos morfoestruturais e morfotectônicos não são plenamente aderentes, o que também sugere a existência de uma tectônica ativa afetando desigualmente uma mesma unidade morfoestrutural. As direções estruturais interpretadas factualmente pelos lineamentos e aferidas em campo também confirmaram os principais campos de tensão neogênicos apontados na literatura, em congruência aos aferidos por Silva e Mello (2011).

O rio Paraibuna, em seus quase 130 km de extensão longitudinal, diseca blocos em soerguimento e subsidência, intercalando segmentos de canal encaixado e vales semiconfinados e extensões naturalmente meandrantas, com estocagem sedimentar e desenvolvimento de morfologias agradacionais bem marcadas na

paisagem. Tal comportamento é bastante comum ao longo das faixas sucessivamente reativadas dos terrenos cristalinos do Brasil Sudeste, perfazendo uma conspicuidade nas bordas cratônicas marcadas pelos orógenos neoproterozoicos (Ciclo Brasileiro). É uma tipicidade em regiões geomorfológicas como a Serra da Mantiqueira e o Planalto do Alto Rio Grande, bem como ao longo das Serras da Zona da Mata Mineira, na qual a maior parte da área de estudo está adstrita.

Considerando a hipótese de que a bacia do rio Paraibuna é eminentemente neotectônica, com o respaldo das fortes evidências de tectônica ativa, é plausível considerar que o estabelecimento das faixas divisórias que então encerravam a drenagem em evolução tenha se dado em tempos neogênicos, a partir do Mioceno, época da primeira reativação do rifte, que engendrou a direção NW-SE ao longo da qual se estabeleceu o processo remontante de recuo das escarpas. Subsequentemente, a evolução das linhas interfluviais teria se dado pelos processos naturais de rearranjo da rede de drenagem ocorridos durante o Plioceno e Quaternário, com alguma influência de capturas fluviais que não foram foco da presente discussão. Ainda que desprovida de dados geocronológicos absolutos, esta aproximação temporal se baseia na antecedência do rio Preto, principal coletor regional que, ao invés de drenar para o interior como os grandes rios que dissecam o reverso do horst da Mantiqueira (Grande, Sapucaí, Verde, Aiuruoca), inverteu por provável captura em direção ao gráben do rio Paraíba do Sul, instalado já no Eoceno com o avanço da geodinâmica tafrogênica. Uma série de soleiras vem ocasionando a erosão e rebaixamento da porção NE da Mantiqueira Meridional, festonada pela passagem do rio do Peixe e retraída pela dissecação promovida pelos afluentes do rio Preto. Inserida neste contexto, a bacia do rio Paraibuna figura como o último controle erosivo regional responsável pela retração das escarpas da Mantiqueira, começando a penetrar no Planalto de Campos das Vertentes, na faixa que separa as bacias do Leste da bacia do Paraná.

Apesar do referido avanço erosivo, a influência de sucessivos escalonamentos gerados por contatos litológicos e\ou de cunho morfotectônico fazem com que a bacia do rio Paraibuna figure como importante óbice para a entrada erosiva referenciada a partir do gráben do rio Paraíba do Sul. Essa conformação tectono-estrutural sustenta uma superfície geomorfológica em seus blocos altos distintamente mais baixa em relação às altas cristas residuais da Mantiqueira Setentrional (sensu GATTO et al. 1983), porém elevada em comparação aos níveis pertencentes às depressões interplanálticas que se formaram nas bacias do rio Pomba e do rio Muriaé. A presente exposição, ao promover o enquadramento geomorfológico da bacia do rio Paraibuna na morfogênese regional e interpretar diferentes controles atuantes na sua evolução organização geomorfológica, abre caminho para estudos de detalhe ou focados em outras especificidades do quadro geomorfológico regional.

## 5. Considerações finais

A partir dos resultados alcançados, algumas questões se projetam como pontos conclusivos e outras se colocam abertas, e para as quais a pesquisa aqui apresentada fica como ensejo. A luz das informações geradas até então não foi possível, por exemplo, a separação sistemática dos diferentes campos de tensão vigentes ao longo do Neógeno, o que aponta a necessidade prospecções de campo mais detalhadas voltadas para o levantamento dos dados necessários, o que poderia trazer a lume novas respostas, como a idade aproximada do soerguimento verificado na baixa bacia do rio Paraibuna. Ainda, é desejável que a dimensão geocronológica seja tratada de forma mais absoluta, com datação de depósitos correlativos e cálculos de denudação geoquímica. A esse respeito, a presença de alvéolos de sedimentação sugere a existência de blocos menores que merecem estudos mais específicos de suas fácies deposicionais, com apoio da geocronologia.

O acumulado dos resultados aqui apresentados, de todo modo, sublinha o caráter complexo dos sistemas geomorfológicos da Faixa Mantiqueira, região de intricada conjugação de esforços morfotectônicos e desgastes erosivos. Finalizando a exposição, seguem sumarizados alguns aspectos mais nucleares:

- (1) A orientação geral do rio Paraibuna e suas articulações com a organização hidrográfica regional apontam que sua instalação está relacionada à primeira fase de reativação do rifte sudeste, o que sugere uma idade neotectônica para a bacia;
- (2) A subordinação da bacia do rio Paraibuna a níveis de base mais baixos gerados anteriormente em função da instalação do rio Paraíba do Sul e de seus afluentes diretos reforça o argumento anterior;

- (3) A influência de estruturas antigas remobilizadas é bastante verossímil, sobretudo no contato NNE-SSW entre o gráben do rio Paraibuna e o bloco em soerguimento que sustenta o baixo curso onde a planície fluvial é estrangulada;
- (4) É possível que as reativações apreendidas para o contexto da bacia do rio Paraibuna influenciem na obstrução da entrada erosiva a partir do vale do Paraíba do Sul, distintamente no anteparo estabelecido na ruptura de declive que marca a extremidade SE do gráben, desarticulando a baixa bacia da organização erosiva de sua porção média e alta.
- (5) A presença de evidências de reativação no gráben e de alvéolos de acumulação anômalos em blocos altos sugere a existência de controles mais locais integralizáveis em escalas de detalhe, cujas investigações podem desdobrar aspectos importantes a partir do que foi apontado na presente exposição.

**Contribuição dos Autores:** Concepção, Roberto Marques Neto; metodologia, Roberto Marques Neto, Felipe Pacheco da Silva e Juliana Alves Moreira; software, Felipe Pacheco da Silva, Juliana Alves Moreira e Roberto Marques Neto; validação, Roberto Marques Neto, Felipe Pacheco da Silva, Juliana Alves Moreira e Miguel Fernandes Felipe; análise formal, Roberto Marques Neto, Felipe Pacheco da Silva, Juliana Alves Moreira e Miguel Fernandes Felipe; pesquisa, Roberto Marques Neto, Felipe Pacheco da Silva, Juliana Alves Moreira e Miguel Fernandes Felipe; recursos, Roberto Marques Neto, Felipe Pacheco da Silva, Juliana Alves Moreira e Miguel Fernandes Felipe; escrita do artigo, Roberto Marques Neto; revisão, Roberto Marques Neto e Miguel Fernandes Felipe; supervisão, Roberto Marques Neto. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada a partir de bolsas de iniciação científica concedidas pela Pró-reitoria de Pós-graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse

## Referências

1. CHIESSI, C. M. **Tectônica Cenozoica no Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
2. ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços Neoquaternários no Vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000. 264p.
3. FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000. 222p.
4. FERREIRA, M. F. M. **Geomorfologia e análise morfotectônica do alto vale do Sapucaí**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001. 279p.
5. GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
6. GOLTS, S.; ROSENTHAL, E. A morphotectonic map of the northern Arava in Israel, derived from isobase lines. **Geomorphology**, v. 7, p. 305-315, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90060-F](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90060-F)
7. GONTIJO, A. H. F. **Morfotectônica do médio vale do Rio Paraíba do Sul: região da Serra da Bocaina, estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1999. 259p.
8. HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. Análise morfotectônica da região da Serra dos Órgãos, sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v11i1.137>
9. HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, USP, v. 20, n. ½, p. 5-19, 1999. DOI: 10.5935/0100-929X.19990001.
10. JAIM, V.E. **Geotectônica general**. 2. ed. Moscou: Mir Ed., 1984.
11. JAYANANDA, M.; CHARDON, D.; PEUCAT, J. J.; CAPDEVILA, B. 2,61 Ga potassic granites and crustal reworking in the western Dharwar craton, southern India: tectonic, geomorphologic and geochemical constraints. **Precambrian Research**, n. 150, p. 1-26, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.05.004>

12. MARQUES NETO, R.; SILVA, F. P.; FERNANDES, R. A.; BARRETO, J. C.; EDUARDO, C. C. A espacialidade do relevo em paisagens transformadas e sua representação: mapeamento geomorfológico da bacia do rio Paraíba, sudeste de Minas Gerais. *Ra'e'ga*, v. 41, p. 65-81, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41o0.49186>
13. MORALES, N. **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplos da região Sudeste do Brasil**. Tese (Livre Docência em Geologia Estrutural e Geotectônica), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2005. 201p.
14. PAIXÃO, R. W.; SALGADO, A. A. R.; FREITAS, M. M.; ALMEIDA, J. C. H. Possibilidade de endorreísmo e capturas fluviais na morfogênese da bacia do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, p. 821-834, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1779>
15. PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Neotectônica e evolução do relevo na região da Serra de São Pedro e do baixo rio Piracicaba/sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 4, 2015. P. 593-613. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i4.668>
16. RIBEIRO, M. C. S. **História tectônica e exumação das serras da Bocaina e Mantiqueira, SP/RJ**. Dissertação (mestrado em Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003. 124p.
17. RICCOMINI, C. **O rift continental do sudeste do Brasil**. São Paulo, 1989. 256p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
18. RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Org.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. P. 407-421.
19. SAADI, A. Um "rift" neo-cenozóico na região de São João Del Rei – MG; Borda Sul do Cráton do São Francisco. In: 1º WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1990, Belo Horizonte. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. Belo Horizonte: SGB, 1990. p. 63-79.
20. \_\_\_\_\_. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese**. Tese (Professor Titular), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1991. 285p.
21. \_\_\_\_\_. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretações preliminares. **Geonomos**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1993. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v1i1e2.233>
22. \_\_\_\_\_. BEZERRA, F. H. R.; COSTA, R. D.; IGREJA, H. L. S.; FRANZINELLI, E. (2005) Neotectônica da Plataforma Brasileira. In: SOUZA, C. R. G; SUGUIO, K; OLIVEIRA, A. M. S; OLIVEIRA, P. E. (Orgs). **Quaternário do Brasil**. São Paulo: Holos: p. 211-234.
23. SALVADOR, E. D; PIMENTEL, J. Avaliação da neotectônica no município de Angra dos Reis, setor sul-fluminense da Serra do Mar, com base em mapas morfométricos gerados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3347-3354.
24. SANTOS, M. **Serra da Mantiqueira e Planalto do Alto Rio Grande: a bacia terciária de Aiuruoca e evolução morfotectônica**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 1999. 134p.
25. SILVA, T. P.; MELLO, C. L. Reativações neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (sudeste do Brasil). **Revista do Instituto de Geociências**, v. 11, n. 1, p. 95-111, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2011000100006>
26. STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952. DOI: [dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)
27. TADJOU, J. M.; NOUAYOUR, R.; KAMGUIA, J.; KANDE, H. L.; MANGVELLE-DICOUM, E. Gravity analysis of the boundary between the Congo Craton and the pan-african belt of Cameroon. **Austrian Journal of Earth Sciences**, v. 102, p. 71-79, 2009.
28. ZEH, A.; GERDES, A.; BARTON JR., J. M. Archean accretion and crustal evolution of the Kalahari Craton the zircon age and Hf isotope record of granitic rocks from Barbeton/Swaziland to the Francistown arc. **Journal of Petrology**, v. 50, n. 5, p. 933-966, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1093/petrology/egp027>



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.