

ESTUDO GEOMORFOLÓGICO DA REDE DE DRENAGEM PARA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TECTONICA ATIVA NA BACIA DO RIO MACAÉ-RJ.

GEOMORPHOLOGICAL STUDY OF THE DRAINAGE NETWORK TO INVESTIGATE THE INFLUENCE OF ACTIVE TECTONICS IN THE MACAÉ-RJ CATCHMENT.

ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DE LA RED DE DRENAJE PARA INVESTIGAR LA INFLUENCIA DE LA TECTONICA ACTIVA EN LA CUENCA DEL RIO MACAÉ-RJ.

GUSTAVO KISS PINHEIRO CABRAL ¹
MÔNICA DOS SANTOS MARÇAL ²
THIAGO PINTO DA SILVA ³
LEONARDO OLIVEIRA DA SILVA ⁴
RENATO RODRIGUEZ CABRAL RAMOS ⁵

¹ Mestrando do programa de pós-graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ.
E-mail: gustavocabral@ufrj.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7647-8962>.

² Professora titular do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Geociências.
E-mail: monicamarcal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2674-5380>.

³ Professor associado do Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF).
E-mail: thiagopintosilva@id.uff.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1726-9781>.

⁴ Doutorando do programa de pós-graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
E-mail: leugeo25@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4368-7979>.

⁵ Professor associado do Departamento de Geologia e Paleontologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Museu Nacional.
E-mail: ramos@mn.ufrj.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4023-6301>.

RESUMO

A abordagem geomorfológica que analisa a atuação do condicionamento tectônico e/ou estrutural na configuração atual dos ambientes fluviais pode ser determinante para elucidar a dinâmica hidrossedimentológica e seu estado de equilíbrio. O trabalho objetivou a caracterização do condicionamento tectônico e estrutural da bacia do rio Macaé, localizada no estado do Rio de Janeiro. A metodologia consistiu no uso dos parâmetros FSTT, FADB, perfis longitudinais e mapeamento morfológico. Identificou-se o papel das estruturas ativas na bacia, que podem ser caracterizadas por assimetrias na rede de drenagem com evidências de basculamento e segmentos em estágio de ajuste fluvial, além do papel das estruturas regionais no condicionamento dos padrões de drenagem e da variação litológica associadas às rupturas de declive.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial. Análise estrutural. Parâmetros morfométricos. Evidências morfológicas.

ABSTRACT

The geomorphological approach that analyzes the role of tectonic and/or structural conditioning in the current configuration of fluvial environments, can be decisive to elucidate the hydro-sedimentological dynamics and its state of equilibrium. The work aimed to characterize the tectonic and structural conditioning of the Macaé catchment, located in the state of Rio de Janeiro. The methodology consisted of using the parameters *T index*, *AF*, *SL index*, longitudinal profiles and morphological mapping. In this context, the significant role of active structures in the catchment was identified, which can be characterized by asymmetries in its drainage network with evidence of and segments with fluvial adjustment stage, besides the role of regional structures in conditioning patterns in the drainage network and lithological variation associated with drainage anomalies.

Keywords: Fluvial Geomorphology. Structural analysis. Morphometric parameters. Morphological evidence.

RESUMEN

El enfoque geomorfológico que analiza el papel de los condicionamientos tectónicos y/o estructurales en la configuración actual de los ambientes fluviales, puede ser determinante para dilucidar la dinámica hidrosedimentológica y su estado de equilibrio. El trabajo tuvo como objetivo caracterizar el condicionamiento tectónico y estructural de la Cuenca del Río Macaé, ubicada en estado de Río de Janeiro. La metodología consistió en utilizar los parámetros FSTT, FADB y RDE, análisis de perfiles longitudinales y mapeo de evidencias morfológicas. En este contexto, se identificó el papel significativo de las estructuras activas en la cuenca del río Macaé, que puede caracterizarse por asimetrías en su red de drenaje con evidencias de

volcamientos y segmentos en etapa de ajuste fluvial, además del rol de las estructuras regionales en los patrones de condicionamiento en la red de drenaje y la variación litológica asociada a las anomalías de drenaje.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial. Análise estrutural. Parâmetros morfométricos. Evidências morfológicas.

INTRODUÇÃO

A dinâmica hidrossedimentológica de uma bacia de drenagem está diretamente relacionada à interação entre os compartimentos da paisagem, face aos condicionantes ambientais atuantes. Para entender, entretanto, o padrão espacial de distribuição de sedimentos em uma bacia hidrográfica, o primeiro desafio consiste na identificação dos condicionantes que influenciam a organização de uma rede de drenagem e qual o impacto destes na dinâmica fluvial (BRIERLEY *et al.*, 2006; MARÇAL *et al.*, 2017; POEPPL *et al.*, 2020).

Os estudos de geomorfologia fluvial têm buscado aprimorar a compreensão da dinâmica fluvial e suas relações com os diferentes geossistemas na paisagem. Tradicionalmente, a investigação do controle tectônico sob a configuração e dinâmica fluvial tem sido amplamente abordada pela literatura, assumindo a rede de drenagem como um dos elementos mais responsivos face às influências tectônicas na paisagem e no sistema de drenagem (HOWARD, 1967; SUMMERFIELD, 1986; SUMMERFIELD, 1991; SCHUMM *et al.*, 2000; BURBANK e ANDERSON, 2001).

Alguns métodos da geomorfologia procuram identificar os efeitos dessa influência na rede drenagem por meio das análises de assimetrias de bacia hidrográfica, padrões e orientações de lineamentos e da rede de drenagem, anomalias de drenagem e análise de *knickpoints*, dentre outras técnicas (BEZERRA, 2003; BRICALLI, 2016). Essas investigações têm se mostrado como procedimentos importantes na análise sobre o papel das estruturas passivas e da tectônica ativa/neotectônica nas bacias hidrográficas regionais, tal como na geração de evidências acerca da reorganização da rede drenagem e evolução do relevo.

No contexto da plataforma Brasileira, interior da Placa Sul-americana, Hasui (1990) atribui à tectônica recente movimentações datadas à partir do Paleógeno/Neógeno (+/- 23ma) (ver *International Commission on Stratigraphy*, 2023). Em contexto de margem passiva, Mello (1997) aponta que a atividade tectônica recente pode ser compreendida principalmente pelo surgimento de deformações tectônicas, cuja origem se deu especialmente a partir de linhas de fraqueza antigas, sobretudo na reativação de estruturas pré-cambrianas, ainda que novas deformações possam ser originadas (RICCOMINI *et al.*, 2004; ZALÁN e OLIVEIRA, 2005).

No Brasil, a região Sudeste tem sido alvo de estudos que têm destacado a importância da tectônica ativa como importante controlador na configuração regional dos compartimentos geomorfológicos, exercendo grande influência regional nas bacias hidrográficas (RICCOMINI *et al.*, 2004). Diversos trabalhos têm buscado identificar evidências, por meio de feições morfotectônicas, entendidas como feições originadas por atividade tectônica recente, (SUMMERFIELD, 1991), do controle tectônico ativo na evolução da rede de drenagem e da paisagem (MELLO, 1997, 1999; MENDES *et al.*, 2007; HARTWIG e RICCOMINI, 2010) em especial na região geotectônica designada por Zalán e Oliveira (2005) como Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil (SRCSB) em que a tectônica ativa assume importância na dinâmica morfogenética regional.

Apesar disso, em domínio climático de tropical úmido e das variações climáticas quaternárias do Holoceno, a denudação assume importância no reafeiçoamento e no aplainamento das feições de relevo (MEIS e MACHADO, 1978; BIGARELLA, *et al.*, 2021), que em muitos casos não expressam, a nível de formas, o controle do substrato e das estruturas. Dessa forma, a rede de drenagem é um importante elemento da paisagem na busca por evidências de (re)ajustes fluviais, que se configuram como importantes objetos de investigação

dos processos que atuam diretamente na evolução da paisagem (SUMMERFIELD, 1991; SCHUMM *et al.*, 2000).

Diversos estudos detalhados no domínio do SRCSB têm demonstrado o papel da tectônica ativa na reativação de estruturas antigas, as quais podem influenciar diretamente no basculamento de compartimentos regionais, na geração de novas falhas e fraturas, mas sobretudo no padrão e localização dos depósitos sedimentares (SALVADOR e RICCOMINI, 1995; SILVA e MELLO, 2011, BEZERRA *et al.*, 2014).

Nesse contexto, algumas dessas abordagens têm buscado integrar análises morfométricas aliadas ao mapeamento de feições geomorfológicas de detalhe, as quais têm sido muito utilizados para buscar evidências em bacias hidrográficas da atuação da tectônica ativa, assim como elucidar o papel das estruturas antigas e controle litológico (HIRUMA e RICCOMINI, 1999; MENDES *et al.*, 2007; HARTWIG e RICCOMINI, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2013; SILVA e PAES, 2017).

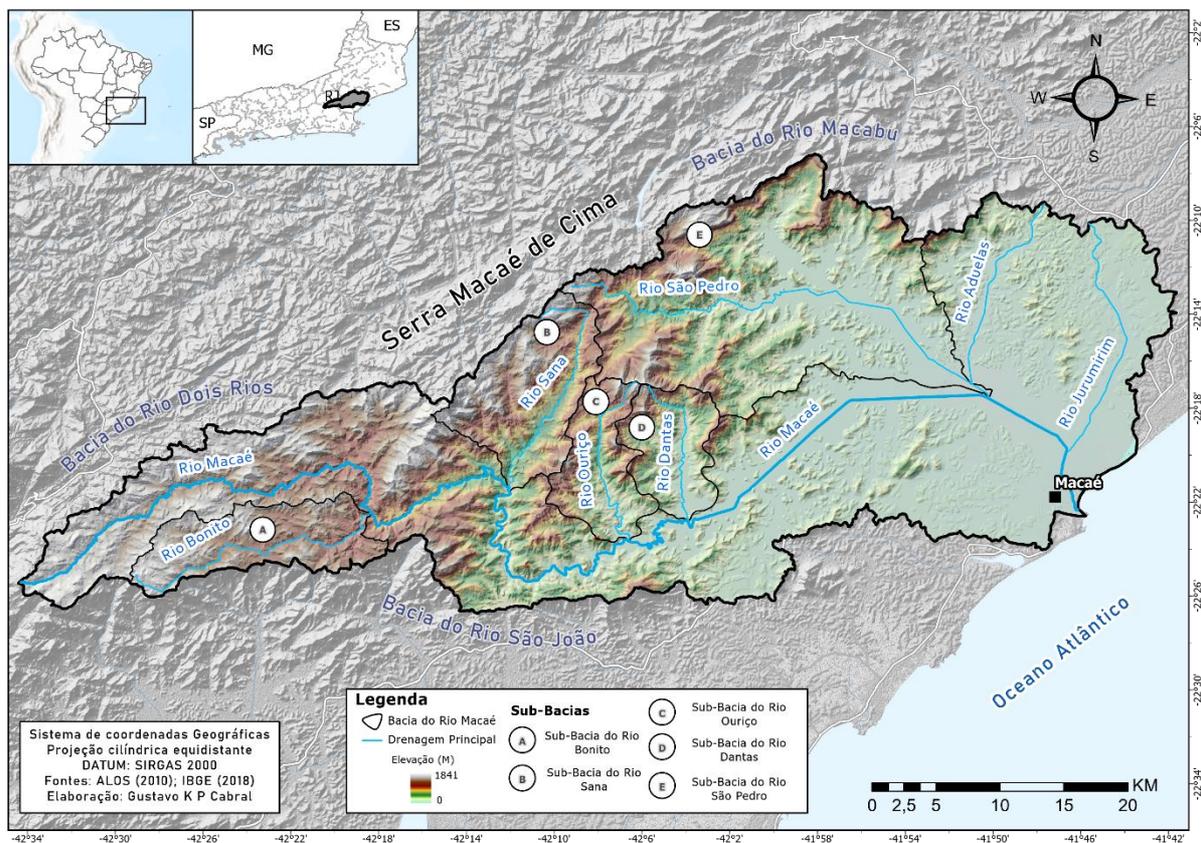
Para além do uso da morfometria, outras perspectivas têm sido utilizadas na investigação da tectônica ativa, a exemplo das abordagens morfoestratigráficas (MELLO *et al.*, 1999; SILVA e MELLO, 2011; PLANTZ *et al.*, 2019) e das análises estruturais (BRICALLI e MELLO, 2013; WEST e MELLO, 2020; SILVA e BRICALLI, 2023), as quais têm caminhado em conjunto à essa investigação. Em paralelo, abordagens recentes com o uso de ferramentas baseadas em modelagem da paisagem (GONZÁLEZ e LIMA, 2021; SILVA *et al.*, 2023) e de métodos de datação (MARÇAL *et al.*, 2015; GONZALEZ *et al.*, 2016) têm contribuído com métodos alternativos na investigação da evolução da paisagem.

Apesar da amplitude e diversidade dos estudos inseridos nessa perspectiva, os quais têm sido úteis no entendimento sobre o papel das estruturas na investigação da atual dinâmica fluvial e dos processos de reorganização da rede drenagem, pouco se sabe sobre a ocorrência desses processos em contexto de estruturas adjacentes, como no caso da vertente atlântica da Serra do Mar e dos Maciços Costeiros (DANTAS *et al.*, 2020). Em função disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização estrutural da rede de drenagem da bacia do rio Macaé, região nordeste do estado do Rio de Janeiro, em contexto adjacente ao SRCSB, a partir da análise de assimetrias de drenagem, no mapeamento de anomalias de drenagem e feições anômalas, como base para investigações sobre o condicionamento tectônico e estrutural e as implicações na dinâmica dos processos fluviais.

Caracterização da área de estudo

Localizada na vertente atlântica da Serra do Mar, a bacia do rio Macaé conta com uma área de aproximadamente 1.800 km² e abrange importantes municípios da região nordeste do Estado do Rio de Janeiro (figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



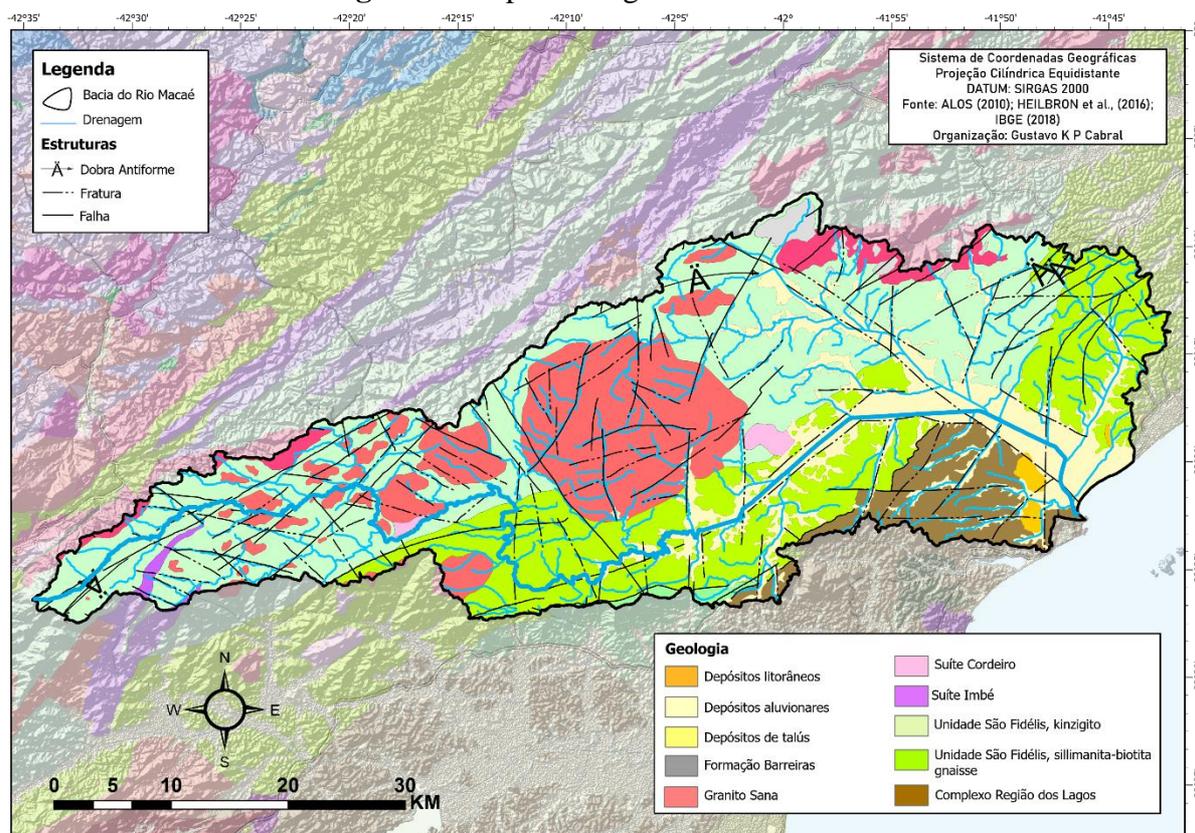
Fonte: Elaborado com auxílio do *software* Arcgis e uso dos dados ALOS (2010) e IBGE (2018).

No contexto geotectônico, a área de estudo se localiza na porção oriental do Terreno Central da Faixa Ribeira, com orientação preferencial dos lineamentos estruturais NW–SE e outras três orientações predominantes que seguem a orientação dos eventos deformacionais identificados no setor: NE-SW, E-W, N-S (HEILBRON *et al.*, 1995; HEILBRON *et al.*, 2000). Com exceção da orientação predominante NW-SE, que se apresenta de maneira bem distribuída ao longo da bacia, as orientações secundárias aparecem associadas a estruturas geológicas e falhas características da área de estudo.

Do ponto de vista geológico, apresenta uma diversidade significativa, representada pela presença de rochas paleoproterozoicas (Complexo Região dos Lagos), neoproterozoicas a Cambrianas (Unidade São Fidélis, Complexo Trajano de Moraes, Suíte Imbé, Suíte Cordeiro) e fanerozoicas (Grupo Barreiras, Depósitos Colúvio-Aluvionares, Depósitos gravitacionais) (figura 2) (SILVA e CUNHA, 2001; ALMEIDA *et al.*, 2012).

No domínio da bacia, o Grupo São Fidélis, que inclui kinzigitos, quartzitos e sillimanita-biotita gnaisses, ocupa grande parte da área, se estendendo em todo o segmento da rede de drenagem. Além disso, o Complexo Trajano de Moraes (hornblenda ortognaisses), Suíte Imbé (granitos e granodioritos foliados) e Suíte Cordeiro (leucognaisses foliados), aparecem de maneira descontínua e bordejam os domínios fronteiraços com as bacias hidrográficas adjacentes, da bacia do rio Dois Rios à NW e da bacia do rio Macabu à NE. (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Figura 2: Mapa Geológico da bacia do rio Macaé.



Fonte: Elaborado com auxílio do *software Arcgis* e uso dos dados de HEILBRON *et al.*, (2016) e IBGE (2018).

Segundo Silva (2002), do ponto de vista morfoestrutural, a bacia se encontra nos dois domínios morfoestruturais do Estado do Rio de Janeiro, a do Planalto Atlântico na região do Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos e no domínio das Depressões Tectônicas Mesozoicas-Cenozoicas, marcado pela Região dos Tabuleiros Costeiros e dos Terraços e Planícies Fluviais e/ou Flúvio-marinhas.

A bacia apresenta uma setorização bem definida, delimitada pelos compartimentos geomorfológicos que estabelecem uma transição caracterizada pelo padrão de cadeias serranas escarpadas representado pelos vales altamente confinados e de vertentes íngremes, os morros e colinas caracterizado como um domínio de transição, e domínio das planícies fluviais e flúvio-marinhas associados aos espaços mais planos relativos às planícies de inundação do rio Macaé e São Pedro (SILVA e CUNHA, 2001; SILVA, 2002; MARÇAL *et al.*, 2015).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A análise estrutural da rede de drenagem da bacia do rio Macaé seguiu alguns dos arcabouços teóricos da geomorfologia fluvial e tectônica, cujos procedimentos metodológicos foram reunidos por Bezerra (2003) e Bricalli (2016) e baseou-se na identificação de assimetrias, feições anômalas e anomalias de drenagem.

O material utilizado na pesquisa constitui-se de cartas topográficas na escala de 1:50.000, Trajano de Moraes (SF-23-Z-B-III-2); Casimiro de Abreu (SF.23-Z-B-III-4); Macaé (SF-24-M-I-3) e Conceição de Macabu (SF-24-M-A-I-1), além das bases geológicas disponibilizadas pela CPRM (HEILBRON *et al.*, 2016) na escala 1:400.000, e da base cartográfica contínua do

Rio de Janeiro, disponibilizada pelo IBGE (2018) em que utilizaram-se os arquivos das curvas de nível e do traçado da drenagem na escala 1:25.000, processados com auxílio do *software Arcgis*.

Além disso, foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE) para construção e análise do mapa hipsométrico da bacia, no qual construíram-se perfis longitudinais e imagens com representação tridimensional. O MDE foi oriundo do Sensor *ALOS PALSAR*, com resolução espacial de 12,5m e obtido por meio da plataforma *ASF Data Search* disponibilizada pela *NASA Earth Observation Data*.

Os perfis longitudinais foram processados por meio do programa *Excel* e as análises foram feitas a partir da identificação de deformações expressas por convexidades e por deslocamentos positivos ou negativos em relação a linha de melhor ajuste que evidenciam a alternância de trechos deslocados por soerguimento ou rebaixamento da drenagem.

A etapa processual de pesquisa constou de duas etapas: cálculo dos parâmetros morfométricos e mapeamentos de detalhe. Os parâmetros utilizados foram o fator de simetria topográfica transversal (FSTT) (COX, 1994), o Fator de assimetria de Bacia Hidrográfica (FADB) (HARE e GARDNER, 1985) e o índice Relação Declividade Extensão (RDE)(HACK, 1973). O mapeamento de detalhe consistiu na identificação de feições anômalas que podem indicar controle tectônico e/ou estrutural, como inflexões abruptas (cotovelos de drenagem) (HOWARD, 1967; SCHUMM *et al.*, 2000), paralelismo com drenagem retilínea (BEZERRA, 2003) e capturas fluviais (BISHOP, 1995).

Nesse sentido, importante destacar trabalhos como de Mendes *et al.*, (2007) que propuseram como uma das etapas da investigação morfotectônica na bacia do rio Bonito localizada na Serra dos Órgãos (segmento da Serra do Mar), a utilização do índice morfométrico FSTT em conjunto com análises de perfis longitudinais e mapeamento de anomalias. De acordo com esses autores, os resultados interpretados apontaram evidências de (re)organização da rede de drenagem, em função das reativações de estruturas antigas.

Em escala regional, Hartwig e Riccomini (2010) realizaram análise morfotectônica da Serra dos Órgãos com auxílio da morfometria de relevo e drenagem através da análise dos lineamentos estruturais e identificação de padrões anômalos. Os referidos autores argumentam que as feições anômalas na rede de drenagem e de relevo apresentaram correlação positiva com dois eventos tectônicos de caráter regional no sudeste do país (o primeiro com direção NW-SE de idade Eoceno, e o segundo com binário E-W de idade pleistocênica/holocênica).

Por outro lado, Nascimento *et al.*, (2013) apresentam também na Serra do Mar, no estado do Paraná, uma proposta de caracterização de parte do relevo através da identificação de *Knickpoints*, anomalias de drenagem e mapeamento de lineamentos estruturais. Conforme evidências apontadas pelos referidos autores, a existência de *knickpoints* alinhados de acordo a determinadas estruturas e a presença de anomalias de drenagem, puderam configurar como importantes registros de deformações recentes na formação do segmento analisado da Serra do Mar.

Assim, de modo geral, a estratégia metodológica na utilização de índices morfométricos e na identificação de padrões anômalos de relevo e drenagem têm permitido, em diferentes contextos geomorfológicos, diferenciar comportamentos em distintos compartimentos do relevo e da drenagem nos setores elevados do Sudeste do Brasil a partir de alguns controladores como, litológicos, tectônicos, estruturais, dentre outros (NETO e PEREZ FILHO, 2013; PAES e SILVA, 2017; FERREIRA e SILVA, 2019; NETO *et al.*, 2019).

Assim, o cálculo do FSTT e FADB e o mapeamento de detalhe para área de estudo foram feitos manualmente com auxílio das cartas topográficas e do *software Arcgis*. Para o cálculo do Índice Relação Declividade - Extensão (RDE), utilizou-se o *software* de extensão do *Arcgis*,

Knickpoint Finder, disponibilizado em formato *Tbx*. pelo grupo de pesquisa em Neotectônica da Universidade do Paraná (QUEIROZ *et al.*, 2015).

O Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) permite identificar potenciais assimetrias que podem indicar migração preferencial do Canal e deformações estruturais, sendo representado pela relação Da/Dd , onde Da é a distância da linha média do eixo longitudinal da bacia até o principal meandro ativo (eixo médio dos meandros ativos), e Dd representa a distância da linha perpendicular média do eixo longitudinal da bacia até o divisor. Os valores podem variar entre 0, quando em um trecho simétrico, ou 1 quando em situações de elevada assimetria, o que pode representar influência tectônica na configuração da drenagem.

Em complemento às análises de simetria, o FADB é um índice que sugere a existência de controle tectônico a partir do deslocamento lateral do canal principal. Na leitura do índice, a literatura assume um valor central de 50 para bacias com ausência ou pouca migração lateral do canal, enquanto que próximas aos valores extremos de 0 ou 100 indicariam cenários de migração significativa do canal, inclusive com indicação da direção de basculamento de determinada bacia (MAGALHÃES JR e BARROS, 2020). O fator é representado pela equação:

$$FADB = 100 \times \left(\frac{Ar}{At} \right)$$

Na fórmula, Ar representa a área da bacia localizada na margem direita do canal enquanto At é a área total da bacia. Os valores próximos a 50 indicam ausência, ou pouca migração lateral do canal e valores próximos de zero ou 100 indicam significativa migração do canal (MAGALHÃES JR e BARROS, 2020).

O índice relação declividade-extensão (RDE) analisa a concavidade natural do perfil longitudinal a partir dos gradientes de declividade e extensão. Por meio dele, se identificam rupturas de declive ou anomalias no nível de base dos perfis topográficos, que se expressam em formas de anomalias na concavidade natural do perfil longitudinal. O índice de Hack pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$RDEt = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

$$RDEs = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$$

$$RDE = \frac{RDEs}{RDEt}$$

Na equação, " ΔH " pode ser descrito como a diferença altimétrica entre dois pontos distintos do curso d'água, ou de um recorte selecionado; " ΔL " é a diferença de extensão entre os dois pontos (HACK, 1973; ETCHEBEHERE *et al.*, 2006; MAGALHÃES JR e BARROS, 2020). O índice pode ser calculado para trechos inteiros da drenagem e para recortes do mesmo (RDEs) onde " L " corresponde à distância entre o ponto mais jusante do segmento selecionado e o ponto mais a montante da drenagem.

Seeber e Gornitz (1983) destacam que os valores do RDE, quando superiores a 2, podem ser identificados como anomalias e ainda classificados de acordo com sua intensidade. Dessa forma, na relação entre o RDEs/RDEt, quando no intervalo entre $2 \leq RDEs/RDEt \leq 10$, classifica-se como anomalia de 2ª ordem e quando > 10 é classificado como anomalia de 1ª ordem. Anomalias de primeira ordem são consideradas as mais intensas na paisagem enquanto que as de segunda ordem apresentam menores intensidades (MAGALHÃES JR e BARROS, 2020).

RESULTADOS

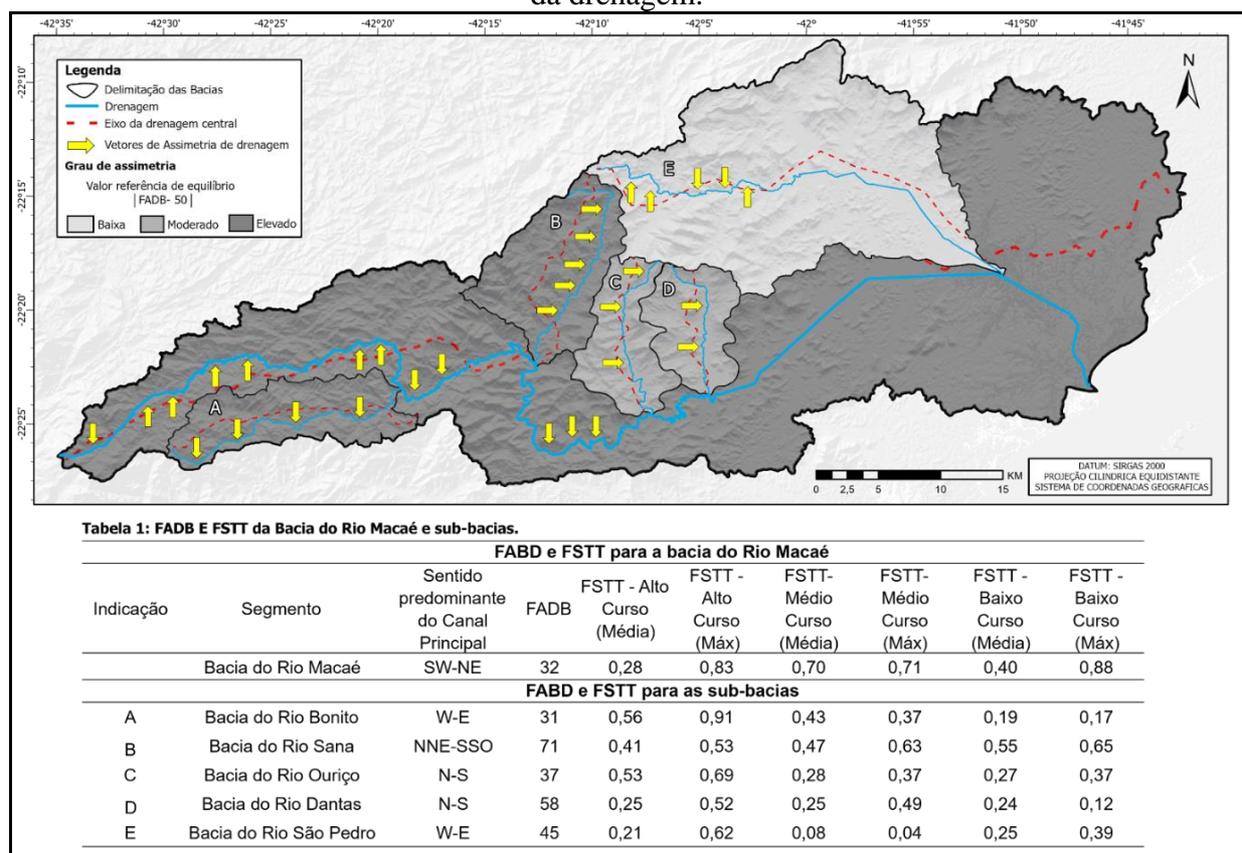
Os índices de assimetria

O uso conjunto de índices morfométricos, aliados ao mapeamento de detalhe de feições anômalas, permitem uma análise multiescalar do contexto das sub-bacias, integradas ao contexto da bacia como um todo. Nesse sentido, os resultados foram comparados a partir de múltiplas escalas de análise considerando as principais sub-bacias da área de estudo.

Paes e Silva (2017) destacam a importância da leitura conjunta dos índices FADB e FSTT, uma vez que a utilização de um único parâmetro de análise limita a escala de aplicação, o que não permitiria a leitura de assimetrias não uniformes. Em vista disso, a leitura do FADB integrada com o FSTT permite uma análise mais precisa das assimetrias segmentadas por sub-bacia e por compartimento da bacia.

A figura 3 apresenta as sub-bacias de interesse com os dois parâmetros morfométricos usados para análise de assimetria. De uma maneira geral, tanto o FADB quando o FSTT indicam que a estruturação tectônica atua diretamente na rede de drenagem.

Figura 3: Indicação dos vetores e grau de assimetria definidos pelos índices FSTT e FADB na bacia do rio Macaé e suas principais sub-bacias, integrados com a tabela dos valores obtidos pelos índices distribuídos por valores máximos e por média, divididos por segmento da drenagem.



Fonte: Elaborado com auxílio do *software Arcgis 10.8 e Excel.*

O índice FADB apontou um cenário de elevado basculamento para a margem esquerda (ângulo de mergulho para sul) na bacia do rio Macaé (FADB=32), sendo que os valores do FSTT demonstraram trechos com elevada assimetria, sobretudo no domínio central da bacia.

No entanto, ressalta-se que grande parte do rio Macaé em seu baixo curso, além de estar associado às áreas de pouco controle estrutural, como áreas de planícies fluviais distribuídas entre morros e colinas, encontra-se retificado, fato que desconsidera esses segmentos como vetores de assimetria.

No contexto das sub-bacias, os rios que fluem no sentido geral W-E (sub-bacia dos rios Bonito e São Pedro) têm migrações mais consistentes para a margem direita, indicando basculamento para sul. A bacia do rio São Pedro apresentou o índice mais próximo de um equilíbrio (FADB=45), entretanto, a análise deve ser feita sob o contexto de que a sub-bacia apresenta grande parte de seu canal principal retificado. Nesse sentido, o FSTT indicou importantes assimetrias no alto curso da bacia (FSTT= 0,62), o que demonstra a existência de um basculamento moderado neste setor.

Com exceção da sub-bacia do rio Sana que apresentou elevado basculamento para a margem esquerda (ângulo de mergulho a oeste), as bacias com drenagem principal ocorrendo no sentido N-S (sub-bacia dos rios Dantas e Ouriço) apresentaram o cenário mais equilibrado, indicando pouca migração preferencial do canal. São duas sub-bacias adjacentes que encontram-se no domínio de transição do alto para o médio curso da bacia e ambas aparecem associadas ao controle litológico do Granito Sana.

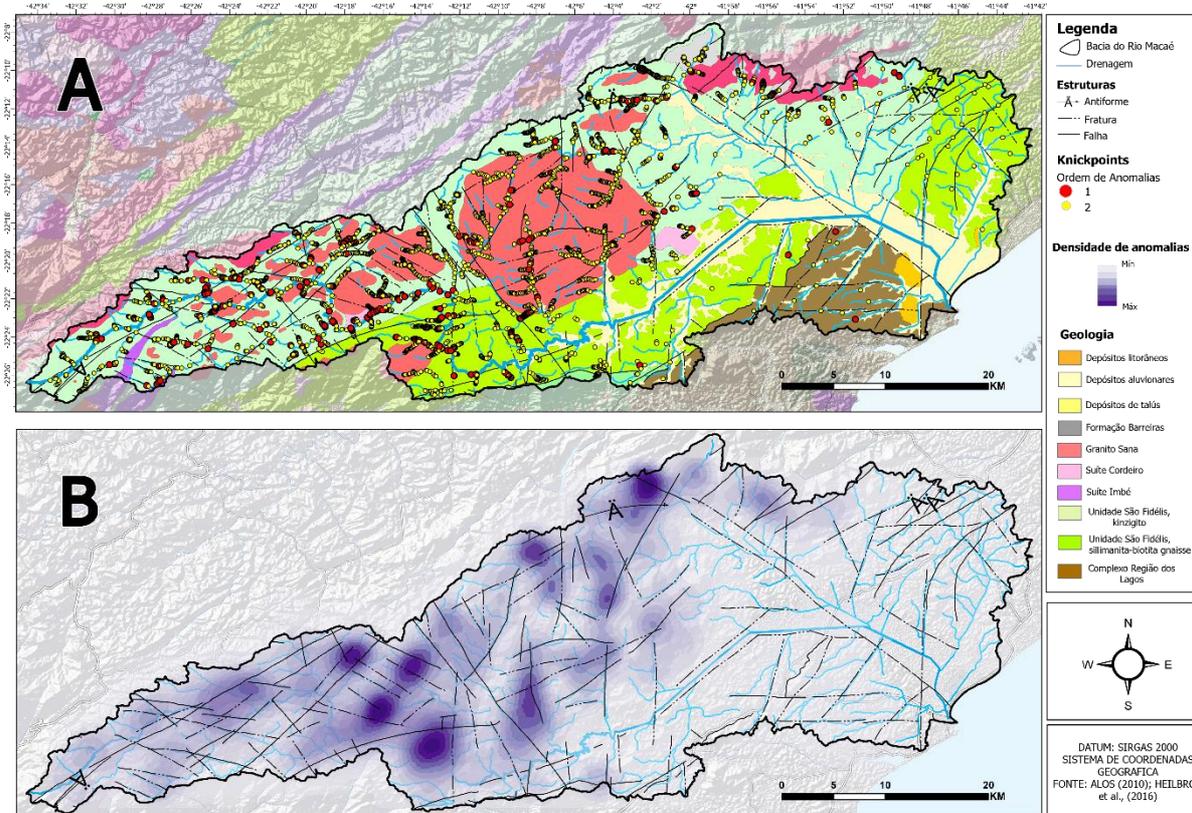
As anomalias de drenagem – *Knickpoints*

As rupturas no nível de base, ou *knickpoints*, são anomalias de drenagem que podem indicar atuação de importantes controles estruturais sob a drenagem, como deformações tectônicas, atuação de estruturas, contatos e/ou mudança de litologia. A aplicação do RDE como ferramenta para identificação de *knickpoints* possui potencial em identificar áreas geológico-geomorfológicas anômalas, discriminadas por possíveis desequilíbrios no perfil longitudinal dos canais.

No total foram mapeados cerca de 3.016 *knickpoints* no domínio da bacia do rio Macaé, sendo 397 anomalias de 1ª ordem e 2.619 2ª ordem. A figura 4 demonstra a distribuição de *knickpoints* em litologias diferentes, sendo possível observar que há uma grande concentração de anomalias nas porções do alto curso e centrais da bacia, segmentos mais declivosos inseridos no domínio serrano, associadas a presença de fraturas, falhas e mudanças de litologia, majoritariamente no rio Macaé e rio Bonito, enquanto que outros agrupamentos aparecem associados às fraturas e falhas regionais (rios Sana e Ouriço).

A presença de anomalias de 1ª ordem nos principais canais da bacia, com destaque para a elevada concentração no alto curso do rio Macaé, podem indicar desajustes mais acentuados no comportamento da drenagem, enquanto a presença de anomalias de 2ª ordem indicam padrões anômalos menos proeminentes. Apesar disso, a predominância de tais anomalias nos setores centrais da bacia podem indicar zonas de desequilíbrio dinâmico, o que pode levar ao reajuste na estrutura da morfologia fluvial e, conseqüentemente, dos processos hidrossedimentológicos.

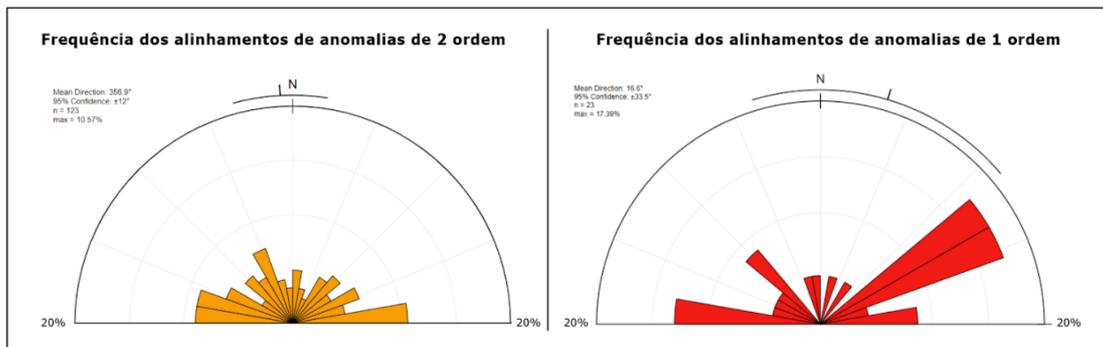
Figura 4: Distribuição e concentração de *knickpoints*: (A) Distribuição de *knickpoints* sobre domínio Geológico; (B) Distribuição e concentração de *knickpoints* sobre as estruturas regionais.



Fonte: Elaborado com auxílio do software Arcgis 10.8, *Knickpoint Finder* (QUEIROZ *et al.*, 2015) e uso dos dados de HEILBRON *et al.*, (2016) e IBGE (2018).

Na análise dos alinhamentos das anomalias (figura 5) foram identificados dois padrões. O primeiro demonstra que as anomalias de 2ª ordem aparecem associadas aos canais tributários, com diversos agrupamentos anômalo que seguem orientações perpendiculares ao da drenagem principal. O segundo padrão denota que as anomalias de 1ª ordem aparecem mais associadas aos canais de maior hierarquia da bacia, e as falhas e fraturas com orientação predominante NW-SE, W-E e NE-SW (figura 5).

Figura 5: Rosetas com as frequências e direções dos alinhamentos dos *knickpoints* na bacia do rio Macaé.



Fonte: Elaborado com auxílio do software *Visible Geology – Stereonet*.

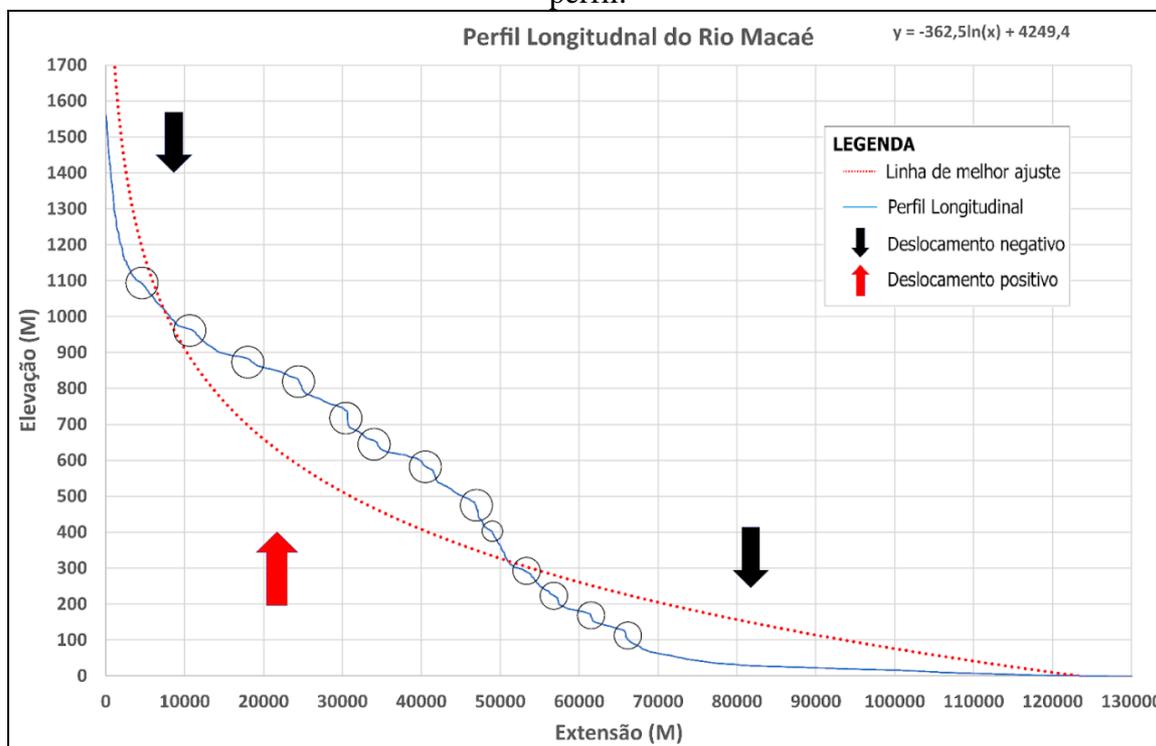
De forma geral, toda a bacia do rio Macaé apresenta uma grande quantidade de anomalias localizadas a sua margem esquerda, o mesmo padrão ocorre em todas as sub-bacias. Tal ponto indica que a concentração de *knickpoints* na margem esquerda pode ser um indício de migração lateral preferencial por movimentação e/ou controle tectônico, indo de acordo com os índices de assimetria que demonstram de moderado a suave basculamento e elevada assimetria em trechos da drenagem.

Perfis longitudinais

As análises dos perfis longitudinais são uma importante ferramenta na avaliação da relação tridimensional entre variação altimétrica e o curso da drenagem. Por meio deste, é possível identificar trechos de maior equilíbrio e desequilíbrio ao longo do curso d'água, decorrente de deformações estruturais no curso da drenagem, tal como segmentos anômalos. As deformações se apresentam como rupturas e convexidades no curso d'água e deslocamentos positivos ou negativos em relação a linha de melhor ajuste, que representa no contexto de determinada drenagem o cenário de maior equilíbrio do perfil.

O perfil longitudinal do rio Macaé (figura 6) apresenta parte significativa da drenagem deslocada em relação a linha de melhor ajuste, além de apresentar trechos com convexidades expressas no perfil. Em função das modificações realizadas no baixo curso do rio Macaé, estas suscitam questões acerca do desequilíbrio neste domínio ser em função de trechos com indicação de ascensão a montante e/ou de intervenções a jusante do perfil que modificam a dinâmica morfológica e o padrão dos reajustes fluviais.

Figura 6: Perfil longitudinal do rio Macaé com indicação dos segmentos com deslocamentos positivos e negativos em relação a linha de melhor ajuste, com destaque para as rupturas no perfil.

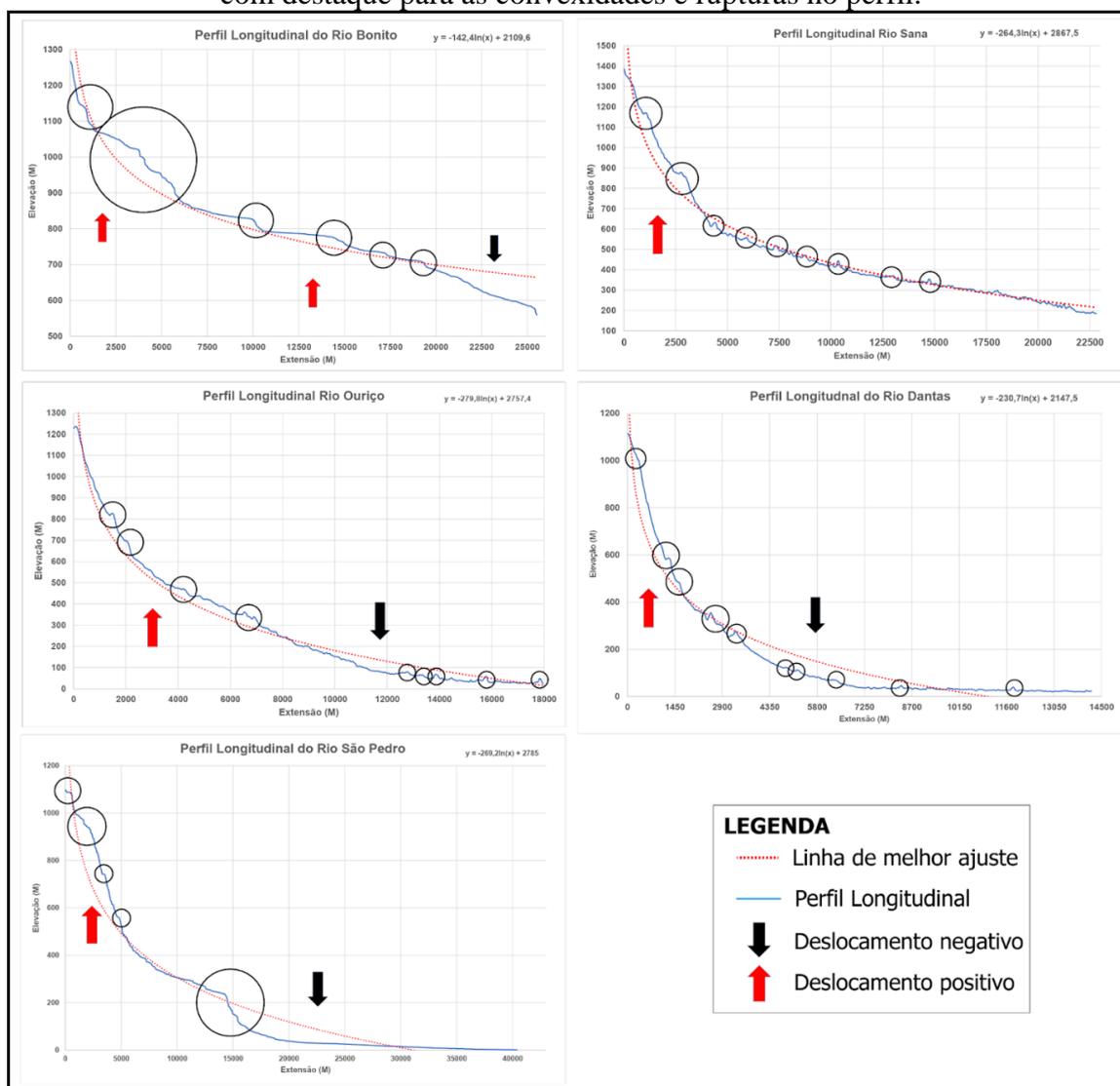


Fonte: Elaborado com auxílio do software *Arcgis* 10.8 e *Excel*.

Em relação aos afluentes da bacia, apesar de todos terem apresentado segmentos anômalos, o grau de deslocamento em relação a linha de melhor ajuste, expressou um padrão distinto entre os rios que drenam majoritariamente no sentido N-S (rios Sana, Ouriço e Dantas), os quais apresentaram uma drenagem mais próxima da linha de melhor ajuste e convexidade meno proeminente, quando em comparação com os rios que drenam W-E (rios Bonito e São Pedro) (Figura 7).

No caso dos afluentes que drenam majoritariamente no sentido N-S, chama atenção o perfil do rio Sana que apresenta uma nítida deformação no seu alto curso e o cenário de maior equilíbrio no médio e baixo curso, em parte explicada pelo controle litológico exercido pelo Granito Sana. Enquanto que no caso do rio Ouriço e, em maior grau, no rio Dantas, que já se inserem em segmentos de transição do Domínio Serrano para outros de menor controle estrutural (Colinas, Morros e Planícies Fluviomarinhas), apresentam desequilíbrios mais consistentes, indicando um cenário de reajuste fluvial

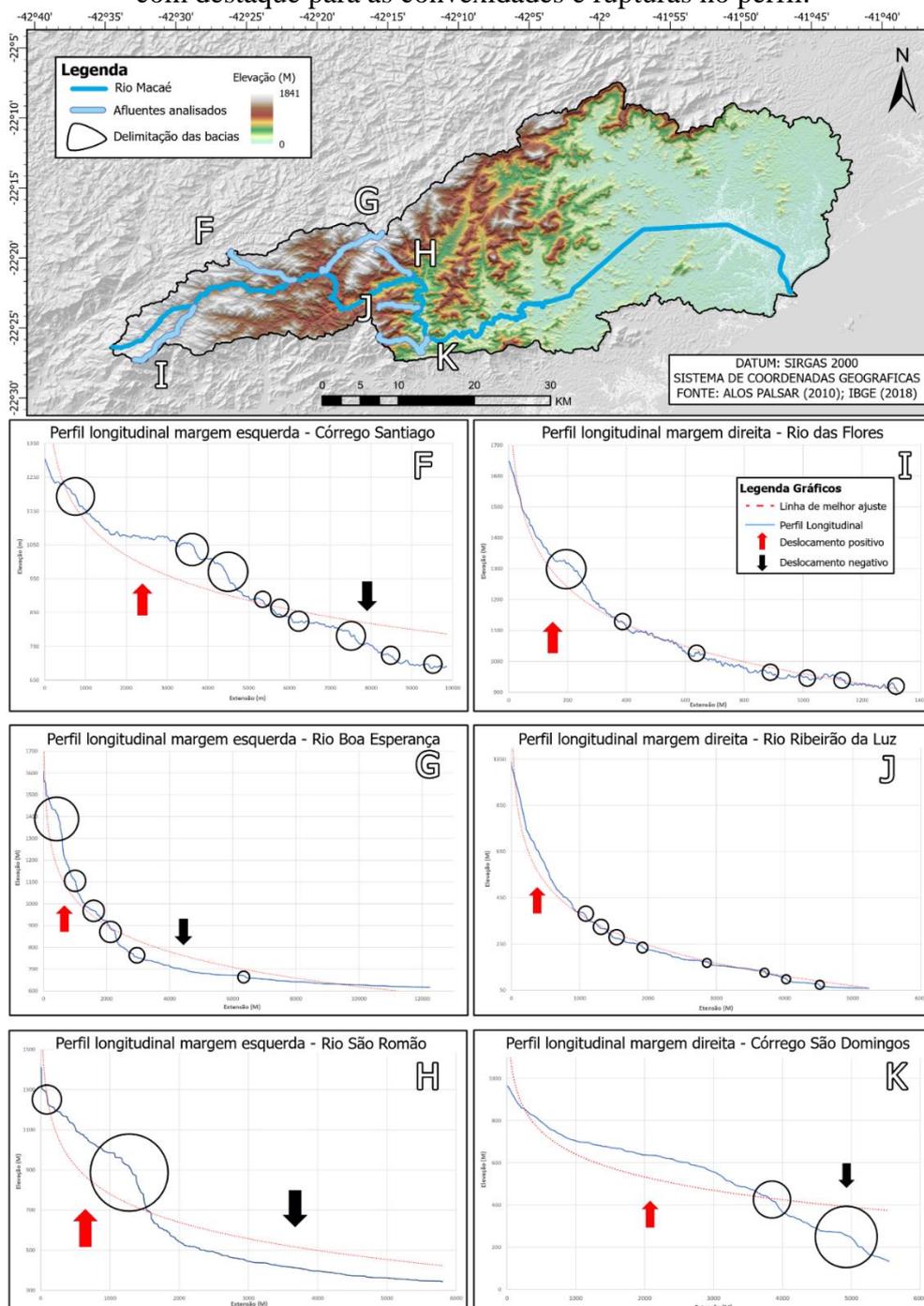
Figura 7: Perfis longitudinais dos principais afluentes da bacia com análise com indicação dos segmentos com deslocamentos positivos e negativos em relação a linha de melhor ajuste, com destaque para as convexidades e rupturas no perfil.



Fonte: Elaborado com auxílio do software *Arcgis 10.8* e *Excel*.

Os afluentes de menor hierarquia apresentaram o mesmo padrão visto quando em comparação com os de maior hierarquia (figura 8). Os rios da margem esquerda apresentam deformação mais proeminentes quando em comparação com os da margem direita. Chama atenção o Córrego São Domingos que já no contexto de controle mais brando dos compartimentos do relevo, indica um cenário de desequilíbrio.

Figura 8: Perfis longitudinais de afluentes de menor hierarquia do rio Macaé com indicação dos segmentos com deslocamentos positivos e negativos em relação a linha de melhor ajuste, com destaque para as convexidades e rupturas no perfil.



Fonte: Elaborado com auxílio do software Arcgis 10.8 e Excel.

Evidências morfológicas

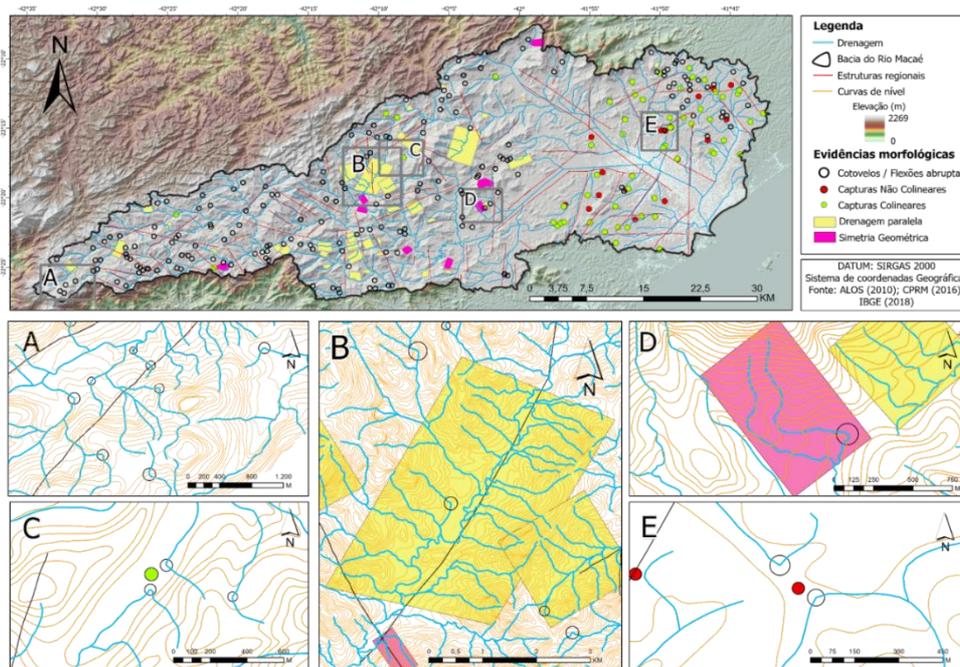
A identificação de feições morfotectônicas na rede de drenagem busca agrupar evidências evolutivas da influência dos controladores estruturais atuantes, o que permite compreender de forma mais detalhada o resultado desse controle na dinâmica e organização da rede de drenagem. Feições como cotovelos de drenagem, trechos de drenagem retilínea, simetria geométrica e capturas fluviais, são algumas das expressões paisagísticas que indicam controle tectônico e/ou estrutural sob a rede de drenagem (BRICALLI, 2016).

O mapeamento das evidências morfológicas indicam a presença de feições características desse controle tectônico e/ou estrutural em todos os setores da bacia do rio Macaé (figura 8). No alto curso, a presença de cotovelos de drenagem associados a mudanças na direção da drenagem, aliados a trechos da drenagem retilíneos, sugere uma organização com forte controle estrutural no segmento.

A porção central da bacia é o segmento onde mais se identificou feições sugestivas de controle tectônico. A rede de drenagem neste domínio é marcada por forte paralelismo dos afluentes dos canais principais, com mudanças abruptas no traçado da drenagem, evidenciados pela presença de cotovelos. Além disso, é a porção que também apresentou simetria geométrica entre rios distintos.

As capturas fluviais podem ocorrer devido ao aumento da erosão a remontante e recuo das cabeceiras de drenagem, como também podem ocorrer devido a tectônica, a migrações de canais e fluxos catastróficos (BISHOP 1995). No baixo curso da bacia, há predominância de capturas fluviais com cotovelos, por vezes associados a divisores planos e vale secos. A região é marcada por canais retificados, canalizações e diversos barramentos nos afluentes de menor hierarquia. As modificações nesse segmento levantam questões acerca da origem tectônica dessas capturas. Apesar disso, estas constituem-se como importantes indicadores de processos de reajuste fluvial na rede de drenagem. Por outro lado, foram mapeadas também capturas em segmentos serranos no interflúvio das sub-bacias do rio Sana e São Pedro (Figura 9). Por estarem inseridas em contexto oposto ao do baixo curso, a existência dessas capturas podem ser indícios de atuação tectônica.

Figura 9: Síntese das evidências morfológicas identificadas na área de estudo



Fonte: Elaborado com auxílio do software Arcgis 10.8.

Discussão

As análises de assimetria de drenagem apontam que a bacia do rio Macaé apresenta moderada assimetria de vale e moderado basculamento para a margem esquerda (ângulo de mergulho a sul). De maneira geral, as anomalias de drenagem e as evidências morfológicas de controle tectônico e/ou estrutural estão presentes em todos os segmentos da bacia.

Em adição, as anomalias de drenagem identificadas por meio do RDE demonstram uma correlação positiva entre as estruturas regionais e, também, entre a litologia local. Foi possível identificar alguns alinhamentos entre anomalias encaixadas em falhas e fraturas na bacia, como outros grupos ligados a alternância litológica, principalmente entre o Grupo São Fidélis e o Granito Sana, indicando que as rupturas de declive podem ser frutos de erosão diferencial entre as diferentes litologias.

Foi possível identificar também uma alternância no grau de anomalias dentro de uma mesma formação litológica. A exemplo das sub-bacias do Sana e Ouriço, as quais aparecem em contexto litológico mais homogêneo associados ao Granito Sana, ambas as drenagens estão associadas a segmentos com falhas, e apresentam alternância de trechos com anomalias de distintas ordens no mesmo canal. Tal padrão pode ser indicativo de eventos neotectônicos.

As anomalias de 1ª ordem se mostram mais relacionados à direção regional preferencial dos alinhamentos NE-SW, enquanto que as de 2ª ordem aparecem predominantemente N-S, o que também vai de acordo com outros alinhamentos regionais menos conspícuos. Corroboram para análise a quantidade de anomalias de 1ª ordem presentes no rio Macaé, cuja drenagem possui orientação predominante NE-SW e apresenta concentração de anomalias associada às mudanças abruptas na direção de drenagem no segmento central de NE-SW para N-S. Nesse sentido, o padrão espacial das anomalias se mostrou como importante indicativo da influência de fatores estruturais e geológicos sobre a organização de rede de drenagem na bacia.

Os perfis longitudinais elaborados para o rio Macaé e afluentes de maior e menor hierarquia demonstram, no geral, que as deformações estão presentes em diversos segmentos da bacia, evidenciados pelo deslocamento em relação a linha de melhor ajuste no contexto de cada drenagem. Apesar das alterações serem comuns em graus distintos de cada drenagem, dois padrões são identificados: (1) Os perfis longitudinais dos rios que drenam majoritariamente no sentido W-E (rio Bonito), SW-NE (rio Macaé e rio São Pedro) e SE-NW (Córrego Santiago e rio São Romão) apresentaram convexidades e desajustes mais expressivos ao longo do seu perfil quando em comparação com os que drenam N-S; e (2) os canais que se inserem no contexto de transição do alto para médio e baixo curso (rio Ouriço e Dantas) mostram que quando em contexto de menor controle topográfico, os deslocamentos são mais expressivos, indicando processos de reajustes fluviais em curso.

Em vista das indicações de deformações significativas, é preciso destacar que os segmentos do baixo curso dos rios Macaé e São Pedro aparecem como assimetrias e deformações no perfil longitudinal, entretanto, sua origem é fruto das intervenções antrópicas nos canais, sobretudo pela extensa retificação desses rios. Com isso, pouco se considerou as assimetrias nesses domínios como vetores assimétricos ou deslocamentos por causas tectônicas.

Desta forma, os padrões identificados sugerem um padrão característico em curso. Em relação a este, a configuração diferencial vista nos rios que drenam W-E, SW-NE e SE-NW, corroboram com os índices FADB e FSTT que indicaram moderado basculamento para margem esquerda e elevada assimetria de vale, e estes podem ser indicativos de migração tectônica preferencial desses canais, em função de soerguimento de um bloco por efeito tectônico.

Em relação às morfologias, o alto e médio curso da bacia apresentam evidências de controle tectônico e/ou estrutural, com destaque para o segmento central marcado pelo padrão paralelo da rede de drenagem, com inflexões abruptas tanto nos tributários como nos canais

principais. Em destaque do padrão paralelo na drenagem, estes aparecem associados a contatos litológicos, ou falhas do segmento central (sub-bacias dos rios Sana e Ouriço) o que condiz com padrões das áreas de contato e litologia, o que é indicativo de controle estrutural. Em acréscimo, a presença das outras feições como simetria geométrica, cotovelos e capturas nesse domínio se mostram como importantes condicionantes na atual organização desses canais.

Em relação às capturas, há predominância destas no baixo curso da bacia, por vezes associados a cotovelos de drenagem, divisores planos e vale secos. Apesar das modificações nesse segmento levantarem questões acerca da origem e dos mecanismos de reajuste dessas capturas, o alinhamento dessas feições a estruturas antigas denota que estas são estruturas ativas na organização da rede de drenagem, o que pode indicar reajustes fluviais em função das mesmas.

Além disso, foram mapeadas também capturas em segmentos serranos no interflúvio das sub-bacias dos rios Sana e São Pedro, que por estarem inseridas em contexto de maior controle topográfico, constituem-se como importantes indícios de reajustes a montante, em domínios com maior indicação de controle estrutural e tectônico.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, a utilização dos parâmetros morfométricos, aliado a identificação e mapeamento das anomalias de drenagem e feições anômalas, permitiu reunir evidências da influência dos controladores estruturais, tectônicos sobre a organização da rede de drenagem na bacia do rio Macaé. Para além da identificação de padrões e feições que são evidências da atuação desses controladores, as análises dos perfis longitudinais, tanto dos canais principais como dos afluentes de menor hierarquia, foram indispensáveis na investigação de deformações estruturais que são importantes elementos no entendimento dos reajustes, a nível de dinâmicas hidrossedimentológica, que explicitam cenários de maior ou menor equilíbrio na evolução da rede de drenagem.

O uso integrado dos parâmetros FADB e FSTT indicaram assimetrias significativas na escala da bacia, como também em segmentos menores das sub-bacias e demais trechos da drenagem. Com exceção da bacia do rio São Pedro, que em função da extensa retificação e do curto domínio sob controle topográfico, todos os demais segmentos da bacia apresentaram algum grau de deformação estrutural. Em relação a isso, a identificação de maiores deformações nos perfis longitudinais dos canais localizados na margem direita e que drenam majoritariamente no sentido NW-SE, W-E e NE-SW são indicativos de migração lateral por causas tectônicas e indicam cenários de maior desequilíbrio e intenso processo de reajuste fluvial, o que corrobora com o resultado retornado pelo FADB que indica moderado basculamento com ângulo de mergulho para sul.

O mapeamento de detalhe das feições anômalas, das capturas fluviais e das anomalias de drenagem por meio do índice RDE são importantes indicativos que expressam o papel ativo do controle estrutural na rede de drenagem. O padrão da distribuição dos knickpoints pode denotar atuação de uma tectônica ativa na bacia, além de indicarem atuação central das estruturas regionais no condicionamento da rede de drenagem e o papel das capturas fluviais que são manifestações espaciais de reajustes.

A variação litológica desempenhada pelo Granito Sana e pelas rochas do Grupo São Fidélis (kinzigitos/quartzitos/sillimanita-biotita gnaisses) apresenta um controle no desenvolvimento de rupturas de declive (*Knickpoints*) bem acentuados, sobretudo, no domínio do Granito Sana, na qual se encontra as maiores declividades (mas não as maiores altimetrias) no âmbito da bacia. Além disso, há uma nítida associação entre as maiores assimetrias de vale e anomalias de drenagem, de maior ordem, nos segmentos controlados pelo Granito Sana,

principalmente na transição com Grupo São Fidélis, onde o mesmo não ocorre na transição entre esses grupos (Granito Sana e Grupo São Fidélis) com os depósitos quaternários/aluvionares.

Por fim, os resultados indicam que a rede de drenagem da bacia do rio Macaé apresenta segmentos com expressivas influências decorrentes de fatores estruturais e tectônicos e que estes são peças-chaves no entendimento da organização da rede de drenagem e do atual estágio de evolução dessa drenagem. Apesar disso, no baixo curso modificado por obras de retificação, intervenção comum no estado do Rio de Janeiro, é importante ponderar o papel dessas obras na mudança nos processos fluviais a montante e a jusante dos rios, e qual o papel destas na evolução da drenagem. Sendo assim, deduz-se que estes fatores estruturais e tectônicos se apresentam como um dos controladores predominantes das causas de reajustes fluviais na bacia, expressos pelas deformações nos perfis longitudinais e pelas manifestações de reajuste. O levantamento dessas informações acerca do comportamento da drenagem abre espaços para investigações do quadro neotectônico/morfotectônico na área de estudo, que vão contribuir no entendimento das mudanças de comportamento dos processos fluviais.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pela bolsa concedida ao primeiro autor e ao apoio financeiro para o desenvolvimento deste estudo – Chamada Universal CNPq/MCTI/FNDCT N° 18/2021.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. C. H. [et al.,] Geologia e recursos minerais da folha de Macaé SF.24-Y-A-I, estado do Rio de Janeiro. escala 1:100.000. **Progama Geologia do Brasil, PGB, CPRM/UERJ**, Mapa Geológico, escala 1:100.000 (série Geologia do Brasil): Belo Horizonte, 2012. ISBN 978-85-7499-104-7.
- BEZERRA, F. H. R; ROSSETTI, D. F; OLIVEIRA, R. G; MEDEIROS, W. E; BRITO NEVES, B. B; BALSAMO, F; NOGUEIRA, F. C. C; DANTAS, E. L; ANDRADES FILHO, C; GÓES, A. M. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil (2014). **Tectonophysics**, V. 614, P. 78-90, 2014.
- BEZERRA, P. E. L. Análise estrutural da drenagem. **Instituto brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**: Diretoria de Geociências, Belém - PA, p.73, 2003.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. M; SILVA, J. X; Considerações a Respeito respeito da Evolução evolução das Vertentes. **Espaço Aberto, PPGG – UFRJ**. Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 181-209, 2021. DOI: 10.36403/espacoaberto.2021.48162
- BISHOP, P. Drainage Rearrangement rearrangement by River river Capturecapture, Beheading beheading and Diversiondiversion. **Progress in Physical Geography**, v. 19, ed. 4, p. 449–473, 1995. <https://doi.org/10.1177/030913339501900402>
- BRICALLI, L. L. Procedimentos Metodológicos metodológicos e Técnicas técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Espaço Aberto - PPGG - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 6, ed. 1, p. 75-110, 2016. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5239>.

BRICALLI, L. L.; MELLO, C. L. Padrões de lineamentos relacionados à litoestrutura e ao fraturamento neotectônico (estado do Espírito Santo, SE do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.3, p.301-311, 2013.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, pp. 165-174. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2006.00671.x>

BURBANK, D. W.; ANDERSON, R.S. Tectonic Geomorphology. **Blackwell Science**. Malden, Massachusetts. 2001. 274 p. ISBN: 978-1-444-33887-4

COX, R. T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin** - Geological Sciences Building, University of Missouri, Columbia, Missouri, v. 106, p. 571-581, 1994. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1994\)106%3C0571:AODBSA%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106%3C0571:AODBSA%3E2.3.CO;2)

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, região ocidental paulista, mediante aplicação de índices RDE (relação declividade-extensão) em segmentos de drenagem. **Revista Geociências**, UNESP – São Paulo, v. 25, ed. 3, p. 271-287, 2006 ISSN: 0101-9082.

FERREIRA, F. L. D; SILVA, T. P. Avaliação morfotectônica com base em assimetria de bacias de drenagem em um setor da depressão topográfica do rio Pomba (Palma/MG – RJ). **Mundo Livre: Revista Multidisciplinar**, V. 5, n. 2, p. 132-147, 2020.

GONZÁLEZ, O. I. R; LIMA, C. C. U; Modelagem espacial da neotectônica na costa do descobrimento, sul do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.22, n. 2, p. 235-353, 2021.

GONZALEZ, V. S; BIERMAN, P. R; FERNANDES, N. F; ROOD, D. H. Long-term background denudation rates of southern and southeastern Brazilian watersheds estimated with cosmogenic ¹⁰Be. **Geomorphology**, v. 268, p. 54-63, 2016.

HACK, J. T. Stream-Profile analysis and Stream-Gradient index. *Journal of Research of the U.S.: Geological Survey*, Reston, VA, v. 1, ed. 4, p. 421-431, 1973.

HARE, P. W.; GARDNER, T. W. Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism along Converging Plate Margins, Nicoya Peninsula Costa Rica. In: MORISAWA, M. ; HACK, J. T. **Tectonic Geomorphology: Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium**. Boston: Allen and Unwin, 1985. p. 123-134.

HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. Análise morfotectônica da região da Serra dos Órgãos, Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 11, n. 1, 2010. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i1.137>

HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.U.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.J.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBÁ, M. From collision to extension: The roots of the southeastern continental margin of Brazil <https://doi.org/10.1029/GM115p0001>. In: W. U. MOHRIAK & M.

TALWANI (Eds), **Atlantic Rifts and continental margins – Geophysical Monograph**. American Geophysical Union, 2000. p. 1-32. DOI:10.1029/GM115

HEILBRON, M; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. C. H. Mapa geológico Geológico e de recursos Recursos minerais Minerais do estado Estado do Rio de Janeiro. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Mapa digital. Escala 1:400.000.

HEILBRON, M; VALERIANO, C; VALLADARES, C; MACHADO N. A orogênese Brasileira no segmento Central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4. p. 249-266, 1995.

HIRUMA, S. T; RICCOMINI, C. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do planalto de Campos do Jordão, SP. **Revista do Instituto Geológico – IG**, São Paulo, n. 20 (1/2), p. 5-19, 1999.

HOWARD, A. D. Drainage Analysis analysis in Geologic geologic Interpretation: a Summation. **American Association of Petroleum Geologist Bulletin**, Stanford, California., v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967. <https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>

IBGE – INSTITUTE BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Bases cartográficas contínuas – Rio de Janeiro. Escala 1:25.000. Versão 2018. Acesso ao produto:< <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15807-estados.html?edicao=16037&t=acesso-ao-produto>>.

International Commission on Stratigraphy (ICS) – International Chronostratigraphic chart – Versão: 2023/06. Disponível em:< : <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-06.pdf><

MAGALHÃES JR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia - Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1. ed. Rio de Janeiro.: Bertrand Brasil, 2020. 417 p. ISBN: 9788528624618

MARÇAL, M. S.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, v. 84, p. 23-41. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.04.008>

MARÇAL, M. S.; RAMOS, R. R. C.; SESSA, J. C.; FEBRIERF, P. V. R. Sedimentação fluvial quaternária no vale do alto curso do rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 449-467, 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i3.614>.

MEIS, M. M.; MACHADO, M. A morfologia de rampas e terraços no planalto do sudeste do Brasil - Médio Vale do Rio Doce. **Finisterra**, v. 13, n. 26, 1978. <https://doi.org/10.18055/Finis2248>.

MELLO, C. L. **Sedimentação e tectônica cenozóicas no Médio Vale do Rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas Implicações na evolução de um sistema de lagos**. 1997. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. doi:10.11606/T.44.1997.tde-22122015-102604. Acesso em: 2023-04-03.

MELLO, C. L.; METELO, C. M. S.; RODRIGUES, L. F. & CARMO, I. O. Controles neotectônicos na evolução de sistemas de capturas fluviais no médio vale do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, São Pedro, **Boletim de Resumos**, São Pedro, SBG/ UNESP, 1999.

MELLO, C. L.; METELO, C. M. S.; SUGUIO, K.; KOHLER, H. C. Quaternary sedimentation, neotectonics and the evolution of the Doce river middle valley lake system (Southeastern Brazil). **Revista do Instituto Geológico – IG**, São Paulo, V. 20 (1/2), p. 29-36, 1999.

MENDES, L. D.; FERNANDES, N. F.; GONTIJO-PASCUTTI, A. H. F. Morfotectônica da Bacia Hidrográfica hidrográfica do rio Bonito, Petrópolis, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 63-77, 2007. <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i1.86>

NETO, R. B.; MOREIRA, J. A.; SILVA, F. P. Evolução de escarpamentos em margens Rifte: uma discussão sobre soerguimento e desnudação na Mantiqueira meridional a partir de mapas paleotopográficos e parâmetros geomorfométricos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 20, n. 4, p. 877 – 890, 2019.

NETO, R. B.; PEREZ FILHO, A. Análise morfoestrutural e morfotectônica da bacia do rio Capivari, sul de Minas Gerais: a neotectônica e as superfícies geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 14, n. 4, p. 271 – 277, 2013.

PAES, T. V.; SILVA, T. M. Indicadores geomorfológicos de controles litológicos e/ou estruturais - bacia do rio Guapi-Açu, Cachoeiras de Macacu (RJ). **Revista de Geografia – PPGeo - UFJF**, Juiz de Fora - MG, v. 7, n. 2, p. 107-123, 2017. <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2017.v7.18061>

PLANTZ, J. B.; CARELLI, T. G.; BORGHI, L.; RAMOS, R. R. C.; MELLO, C. L. Sequências Depositionais da Porção Central do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (RJ, Brasil). **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Vol. 42, p. 254-273, 2019.

POEPPL, R. E.; FRYIRS, K. A.; TUNNICLIFFE, J.; BRIERLEY, G. J. Managing sediment (dis)connectivity in fluvial systems. **Science of the total environment**, v. 736, p.1-19. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139627>

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E.R. Knickpoint finder: A software tool that improves neotectonic analysis. **Computers & Geosciences**, The Federal University of Paraná, Neotectonics Research Group, Curitiba, PR, Brasil, v. 76, n. 2, p. 80-87, 2015 . <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.11.004>

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. (orgs). **Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, São Paulo, p. 647. pp. 383-405, 2004. ISBN: 8587256459

SALVADOR, E. D.; RICCOMINI, C. Neotectônica da região do alto estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**. v. 25, n. 3, p. 151-164, 1995.

SCHUMM, S. A; DUMONT, J. F.; HOLBROOK, J. M. **Active tectonics, and alluvial rivers**. Cambridge University Press, Cambridge, 401 pp. 2000. ISBN: 9780521890588

SEEBER, L.; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, v. 92, n. 4 p. 335-367, 1983. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(83\)90201-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(83)90201-9).

SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S. Geologia do Estado do Rio de Janeiro. **CPRM**, Brasília. 94 p, 2001.

SILVA, M. C. L; BRICALLI, L. L; Padrões de Lineamentos e Controle Estrutural, Tectônico e Neotectônico no Relevo da Região de Pancas (Espírito Santo, Sudeste do Brasil). **Soc. Nat. Uberlândia – MG**, v.35, p.1-20, 2023.

SILVA, R. V. M. A; FERNANDES, N. F; MELLO, C, L. Drainage network rearrangement during the formation and segmentation of a Paleogene intraplate half-graben: Insights from fluvial captures records and longitudinal profiles. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 127, p. 2-14, 2023.

SILVA, T. P.; MELLO, C.L. Reativações Neotectônicas neotectônicas na Zona de Cisalhamento do rio Paraíba do Sul (Sudeste do Brasil). **Geologia USP - Série Científica**, v. 11, n. 1, p. 1-20, 2011. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2011000100006>

SILVA, T.M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 263p, 2002.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms**. Department of Geography, University of Edinburgh. Routledge, New York. 1. Ed 560 p., 1991. ISBN-9780582301566

SUMMERFIELD, M. A. Tectonic Geomorphology: macroscale perspectives. **Progress in Physical Geography**. v. 10, n. 2, p.227-238, 1986. <https://doi.org/10.1177/030913338601000205>

WEST, D. C; MELLO, C. L. Distribuição da formação Barreiras na região sul do Espírito Santo e sua relação com a deformação neotectônica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.21, n.1, p.155-170, 2020.

ZALÁN, P. V; OLIVEIRA, J. A. B. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 13, n. 2, p. 269-300. 2005.