

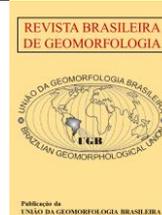


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, n° 4 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i4.2348>



Artigo de Pesquisa

Perfis de relevo e índices geomorfométricos na análise evolutiva do escarpamento da Serra dos Órgãos (RJ)

Relief profiles and geomorphometric indices in the evolutionary analysis of the Serra dos Órgãos escarpment (RJ)

Rodrigo Wagner Paixão¹; Telma Mendes da Silva²; Patrick Calvano Küchler³

- ¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia Física, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: rodrigowpp1@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2640-7138>
- ² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: telmageo@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-6158>
- ³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia Física, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: geocalvano@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0886-2900>

Recebido: 26/12/2023; Aceito: 14/11/2023; Publicado: 13/12/2023

Resumo: O presente artigo tem por objetivo investigar a evolução do escarpamento da Serra dos Órgãos nos últimos milhares de anos através de análises morfológicas e geomorfométricas, realizadas por meio de perfis topográficos, mapeamento de níveis de base locais (*knickpoints*), perfis longitudinais de drenagem e cálculos do fator Chi (χ). Estas análises buscaram avaliar o grau de "instabilidade" dos canais de drenagem e da direção de migração dos divisores de drenagem. Ao todo foram identificados 130 *knickpoints*, sendo boa parte deles, 67 ao todo, associados à unidade Suítes Graníticas, tanto para a vertente escarpada quanto para o Planalto Reverso. Além disso, estes *knickpoints* são encontrados nas porções mais elevadas da área de estudo, podendo ser identificados acima dos 1.000 m de altitude. A distribuição altimétrica das unidades litológicas indica controle dos granitos na manutenção das porções mais elevadas, podendo atingir 2.200 m de altitude, assim como nos perfis de relevo elaborados indicam controle litológico dos granitos na manutenção da morfologia escarpada e do divisor hidrográfico da Serra dos Órgãos. Os perfis de relevo e longitudinais aos canais fluviais realizados apontam que bacias que drenam para o planalto interiorano possuem maior número de níveis de base locais, 101 ao todo, e foram interpretados como encontrando-se em estágio de maior "desequilíbrio" erosivo do que as bacias da frente escarpada, que apresentou apenas 29 *knickpoints*. Eventos tectônicos recentes podem ser sugeridos a partir dos perfis elaborados, influenciando diretamente nas características geomorfológicas e geomorfométricas da área de estudo. Os perfis de canais situados na vertente oceânica da Serra dos Órgãos sugerem canais fluviais em graus avançados de processos erosivos, dados pela conformação côncava dos perfis típicos de rios "equilibrados"; no entanto, pelos valores do fator Chi (χ) estas drenagens permanecem apresentando maior potencial erosivo das cabeceiras frente às bacias voltadas para o planalto reverso indicando, portanto, mecanismos de rearranjos de drenagem e de migração do divisor.

Palavras-chave: Índices geomorfométricos, Perfis de relevo, Fator χ , Serra dos Órgãos.

Abstract: This article aims to investigate the evolution of the Serra dos Órgãos escarpment over the past millennia through morphological and geomorphometric analyses. These analyses were conducted using topographic profiles, mapping of local base levels (*knickpoints*), longitudinal drainage profiles, and calculations of the Chi factor (χ). The objective of these analyses was to assess the level of "instability" in the drainage channels and the direction in which the drainage dividers have migrated.

In total, 130 knickpoints were identified, with the majority—67 in total—associated with the Granite Suites unit, present on both the escape slope and the Reverso Plateau. These knickpoints are predominantly located at the highest elevations of the study area, often exceeding 1,000 meters in altitude. The distribution of lithological units according to elevation indicates that granites play a significant role in maintaining the highest portions of the landscape, with elevations reaching up to 2,200 meters. Additionally, the detailed relief profiles also highlight the influence of granites in shaping the steep morphology and hydrographic divide of the Serra dos Órgãos. The relief and longitudinal profiles of the river channels reveal that basins draining into the interior plateau exhibit a larger number of local base levels—101 in total. These basins are interpreted to be in a state of greater erosional "imbalance" compared to the other basins, which only feature 29 knickpoints. Recent tectonic events are inferred from the detailed profiles, directly impacting the geomorphological and geomorphometric characteristics of the study area. The profiles of the channels situated on the oceanic slope of the Serra dos Órgãos suggest advanced erosion processes, indicated by the concave shape of typical profiles found in "balanced" rivers. However, considering the values of the Chi factor (χ), these drainage pathways continue to exhibit a higher potential for erosion at their headwaters in comparison to the basins facing the reverse plateau. This observation indicates mechanisms of drainage rearrangements and the migration of the watershed divider.

Keywords: Geomorphometric indices, Relief profiles, χ Factor, Serra dos Órgãos.

1. Introdução

A dinâmica de evolução do relevo e seus processos associados têm sido objeto de estudo de diferentes pesquisas geomorfológicas, com destaque para as regiões de grandes escarpamentos. Dentre as abordagens adotadas, destacam-se a análise de mecanismos de (re)arranjos de drenagem, capturas fluviais e migração de divisores, que promovem alteração na conformação do sistema hidrográfico e na dinâmica erosiva do relevo (SUMMERFIELD, 1991; BISHOP, 1995; CHEREM *et al.*, 2012; SALGADO *et al.*, 2016).

Em geomorfologia, a utilização de índices geomorfométricos na análise da paisagem têm sido cada vez mais recorrentes, devido ao avanço de *softwares* de geoprocessamento e da existência de bases cartográficas de boa resolução espacial. A análise da superfície, através de extração de dados quantitativos em modelos digitais de elevação permite inferir mecanismos de evolução da paisagem, tais como: (re)arranjos de drenagem, migração de divisor, capturas fluviais, grau de incisão dos vales, dentre outros (REZENDE *et al.*, 2013; WILLET *et al.*, 2014; STRUTH *et al.*, 2019). Também é possível, através de técnicas específicas de reconstituição da paleotopografia da superfície, através de processamento e análise de dados, criar cenários da evolução do relevo e de sistemas de drenagem de forma a subsidiar a reconstituição evolutiva (NETO *et al.*, 2019).

Dentre os parâmetros geomorfométricos utilizados, destaca-se, recentemente, a utilização do fator Chi (χ) que avalia o potencial erosivo dos rios e a migração de divisores hidrográficos, sendo uma ferramenta bastante útil para analisar a evolução dos sistemas de drenagem. Os resultados do fator χ permitem inferir canais de drenagem e divisores hidrográficos que estão em estágios de "equilíbrio dinâmico", onde há ocorrência de valores de χ muito semelhantes entre pares de bacias analisadas, ou então ambientes em "estágio de desequilíbrio" que ocorre quando os valores do fator χ são distintos entre pares de bacia investigadas (PERRON; ROYDEN, 2013; WILLET *et al.*, 2014). O fator χ avalia características topológicas e geométricas dos sistemas de drenagem, que possibilita, por sua vez, identificar bacias com maior potencial de promover capturas fluviais e de incorporar áreas de bacias adjacentes dada pela migração do divisor de drenagem (WHIPPLE *et al.*, 2017). O uso deste parâmetro tem sido aplicado na análise de pares de bacias em áreas de divisores de grandes escarpamentos, como no caso da Serra Geral (SORDI *et al.*, 2018), no divisor entre as bacias do rio Douro e rio Ebro na península ibérica (STRUTH *et al.*, 2019), dentre outros.

No sudeste do Brasil, os principais divisores de drenagem são constituídos por grandes escarpamentos, tendo sua gênese associada ao tectonismo Cenozoico que promoveu o soerguimento e abatimento dos blocos crustais (RICCOMINI, 1989; ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). A morfologia escarpada do relevo nesta região é marcada por diferenças topográficas de níveis de base locais das bacias hidrográficas que possuem suas nascentes nestes grandes divisores. Tais diferenças são observadas entre bacias que drenam a frente escarpada do relevo, geralmente com nível de base mais baixo, e as bacias que drenam para o planalto interiorano, com nível de base local mais elevado (CHEREM *et al.*, 2012; REZENDE *et al.*, 2013; PAIXÃO *et al.*, 2019). Apesar do processo descrito, poucos estudos foram desenvolvidos no escarpamento da Serra dos Órgãos no estado do Rio de Janeiro que investiguem mecanismos de reordenamento de drenagem, capturas fluviais e migração de divisor. Alguns

trabalhos abordam mecanismos de reordenamento fluvial, captura de drenagem e evolução de escarpamentos ao longo da Serra do Mar, mais especificamente na Serra da Bocaina, tais como Salgado *et al.* (2016) e Souza *et al.*, 2019. Para o trecho da Serra dos Órgãos, poucos trabalhos analisam a evolução do escarpamento e dos sistemas de drenagem, Aires *et al.* (2012) apresentam uma proposta para o recuo do escarpamento na região de Teresópolis, contudo, não abordam os mecanismos de capturas fluviais e migração do divisor.

Na Serra dos Órgãos as evidências dos rearranjos não são tão evidentes e/ou preservadas. Acredita-se que os processos que ocorrem na área de estudo é um mecanismo de decapitação de cabeceiras de drenagem, como observado por Gomes *et al.* (2022) na Serra do Mar em São Paulo. Diante disso, o presente artigo tem por objetivo analisar a morfogênese do escarpamento da Serra dos Órgãos, através da utilização de índices geomorfométricos de bacias de drenagem, tais como: fator Chi (χ); construção e análise de perfis de relevo e perfis longitudinais de drenagem; e identificação de controles geológicos nos perfis topográficos e longitudinais, bem como, na morfologia do escarpamento. O trabalho busca ainda identificar e caracterizar feições típicas de capturas fluviais, tais como, cotovelos de drenagem, divisores rebaixados e vales superdimensionados. Tendo, portanto, como meta avaliar o grau de “estabilidade” ou “instabilidade” do divisor de drenagem e da direção de migração, reconhecendo mecanismos de reordenamento fluvial e de evolução de escarpamentos em margens continentais do tipo rifte.

2. Área de Estudo

A área investigada compreende o divisor hidrográfico da Serra dos Órgãos, localizada no estado do Rio de Janeiro, abrangendo parte dos municípios de Miguel Pereira, Itaipava, Petrópolis, Teresópolis, Magé, Nova Friburgo, Itaboraí, Rio Bonito e Guapimirim (Figura 1). Este trecho serrano possui elevações que atingem até 2.200m de altitude e, em linhas gerais, a vertente voltada para o mar, a sul, apresenta amplitude altimétrica elevada marcando uma feição morfológica bastante escarpada, em contraste com o reverso, marcado por um planalto nivelado e controlado pela existência de níveis de bases locais (HARTWIG, 2006; HARTWIG; RICCOMINI, 2010). A área insere-se no contexto do Grande Escarpamento Oriental do Brasil (MARENT, 2016) – Figura 2 – cujas feições morfológicas observadas correspondem a serras escarpadas, isoladas e locais, morros, colinas, planícies fluviais e fluviomarinhas (SILVA, 2002).

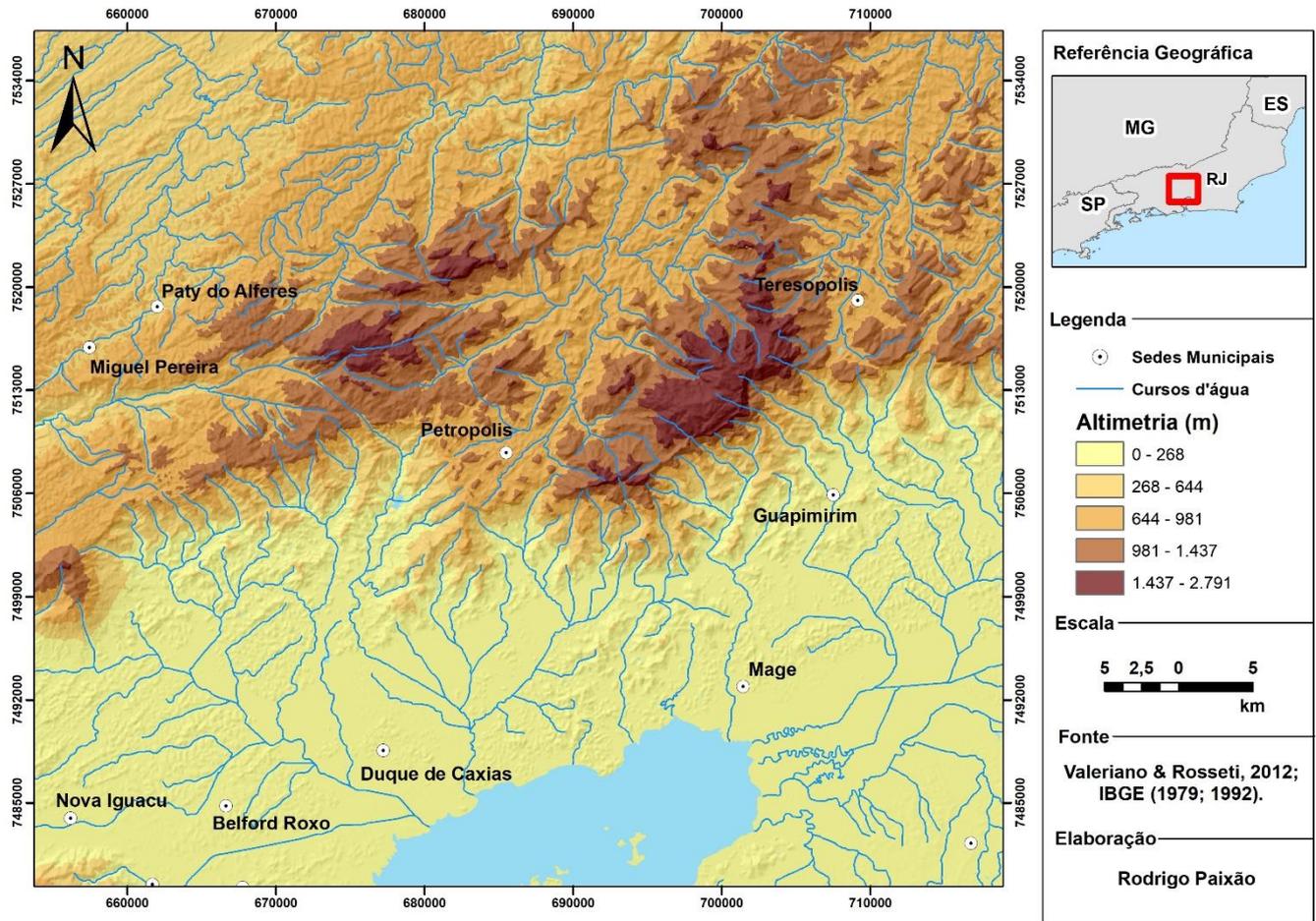


Figura 1. Mapa hipsométrico do escarpamento correspondente à Serra dos Órgãos e áreas adjacentes. A área traçada por uma linha contínua na cor vermelha no mapa dos estados da Federação corresponde a localização das cartas topográficas utilizadas no trabalho.

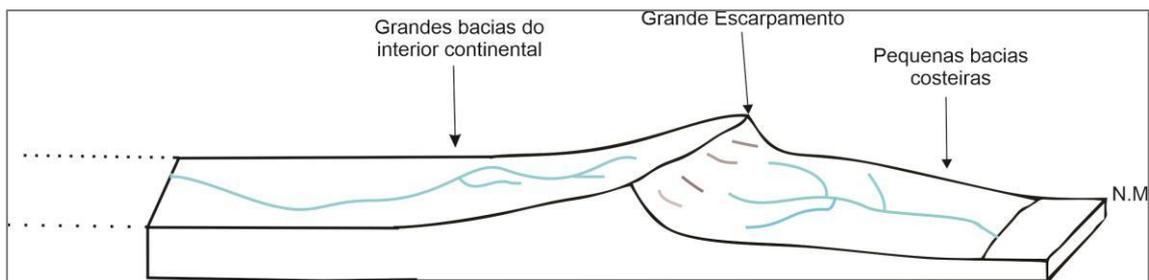


Figura 2. Modelo esquemático clássico de Grande Escarpamento do sudeste brasileiro. Modificado de: Marent (2016).

Geologicamente, a área elevada situa-se no segmento central da Faixa Móvel Ribeira, que corresponde a um cinturão orogênico Neoproterozoico, marcado por uma sucessão de colagens continentais durante o ciclo Brasileiro (HEILBRON *et al.*, 2016) e que apresenta rochas associadas ao domínio costeiro do Terreno Oriental, caracterizado por rochas ortoderivadas do Complexo Rio Negro e rochas graníticas da Suíte Serra dos Órgãos (HEILBRON *et al.*, 2016) (Figura 3). No sopé da vertente oceânica, voltada para a Baía de Guanabara, pode ser identificado depósitos aluvionares nas porções mais rebaixadas do terreno e que, por vezes, acabam por recobrir a falha extensional da frente escarpada da Serra dos Órgãos (HEILBRON *et al.*, 2016).

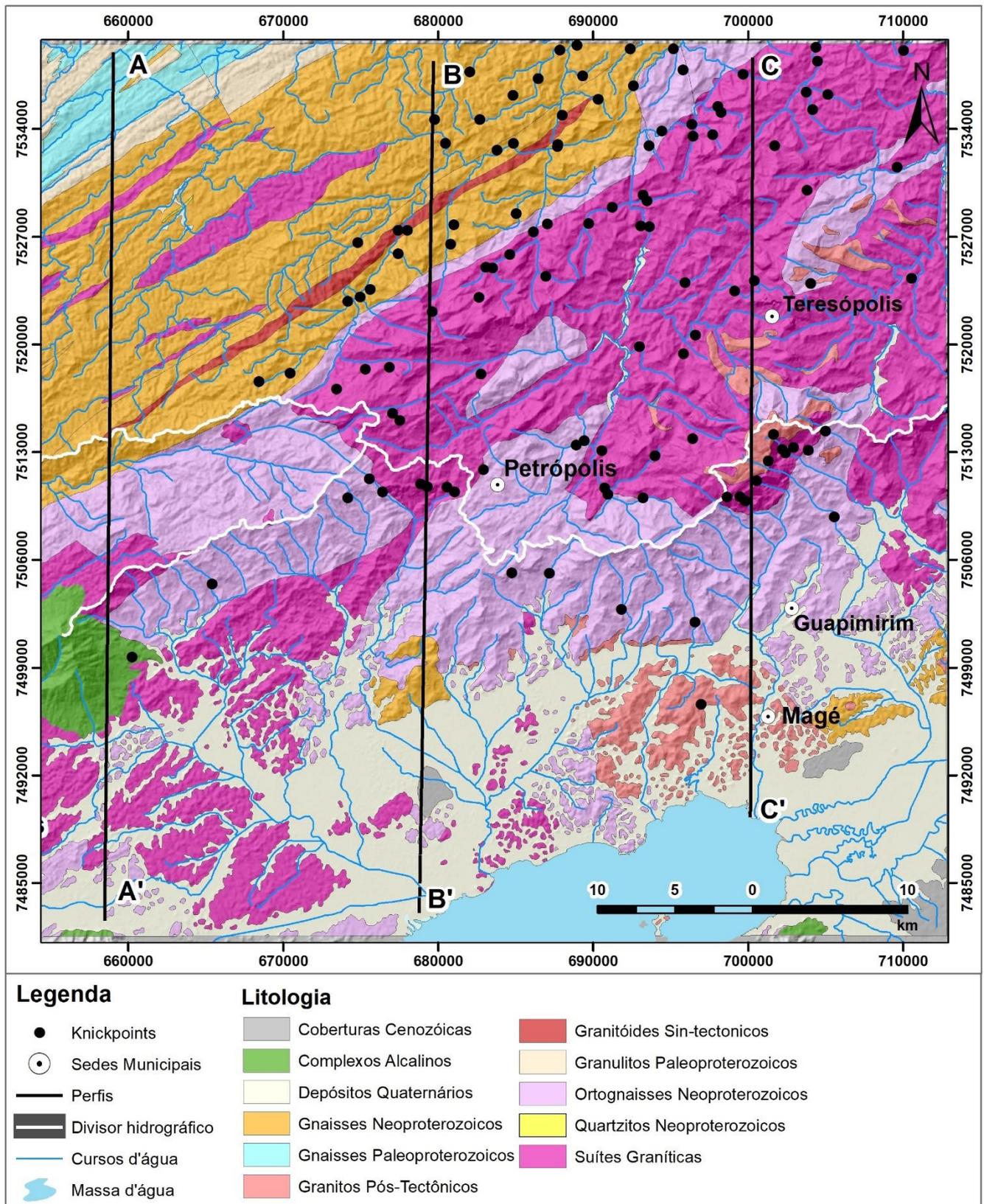


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo - Fonte: Adaptado Heilbron *et al.* (2016). A-A', B-B' e C-C' correspondem à localização do eixo dos perfis de relevo realizados.

Como característica dos macrocompartimentos do relevo, esta área caracteriza-se pela ocorrência de três compartimentos topográficos: planalto serrano - situado na porção norte no reverso da escarpa, nivelado à

aproximadamente 800m de altitude e marcado pela ocorrência de planícies de soleira de conformação alveolar e vales estreitos, circundados por morros relativamente íngremes pela erosão diferencial dos litotipos existentes (AB'SABER, 1957; AIRES et al., 2012); a sul, tem-se terrenos fluviais e flúvio-marinhos correspondentes à Baixada Fluminense, constituída por relevo de colinas dissecadas de baixa amplitude e espesso manto de alteração; e, ainda, a frente escarpada ou vertente íngreme caracterizada pela elevada amplitude altimétrica e dissecação vertical dos vales (Figura 4).



Figura 4. Foto panorâmica da área de estudo onde pode-se observar a transição entre da baixada da Guanabara, as vertentes escarpadas da Serra dos Órgãos e o Planalto reverso na cidade de Petrópolis. Foto: T.M. Silva (set./2010).

3. Materiais e Métodos

Para elaboração desse estudo foram utilizadas cartas topográficas, em formato digital, de Miguel Pereira, Cava, Petrópolis e Itaipava, na escala de 1:50.000, em arquivos *shapefiles* disponibilizadas pelo IBGE, e o Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido a partir de imagens de SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e refinado através de informações obtidas a partir do projeto TOPODATA do Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais (INPE) (VALERIANO; ROSSETI, 2012).

As cartas topográficas foram utilizadas para delimitação das bacias hidrográficas da área de estudo, bem como, reconhecimento da linha do divisor hidrográfico da Serra dos Órgãos e identificação de informações referentes a toponímia do relevo e da rede de drenagem.

Os perfis topográficos foram realizados a partir do MDE, através da ferramenta *3D Analyst* do *ArGis 10.5*, sendo confeccionados os três perfis topográficos localizados na figura 4, onde o eixo X corresponde à altitude em metros e o eixo Y corresponde ao comprimento em quilômetros. Foi também feito o pareamento com as informações geológicas (litologias e estruturas), a partir dos dados disponibilizados pelo Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, na escala de 1:400.000 (HEILBRON *et al.*, 2016), sendo utilizados para isso os *softwares* *ArcGis 10.5* e *Excel*. O pareamento de informações foi possível ao se exportar uma tabela com todos os dados litológicos, presentes ao longo da linha do traçado do perfil topográfico, para o *Excel*, sendo estes organizados de

forma que às altitudes estivessem relacionadas as suas respectivas litologias e, assim, se criar um perfil topográfico associado com informações geológicas.

O objetivo da realização dos perfis longitudinais se ateve em analisar diferenças morfológicas existentes ao longo do traçado dos rios que drenam tanto na frente escarpada da Serra dos Órgãos, como aqueles que drenam para o planalto no reverso da escarpa. Para tanto, foram extraídos perfis longitudinais das drenagens da área de estudo e plotados os *knickpoints* através do *software MatLab* através do pacote *Topotoolbox* e da ferramenta *KnickpointFinder* (SCHWANGHART; SCHERLER, 2014). Ao serem analisados em conjunto com os perfis topográficos, auxiliaram na compreensão da organização morfológica da paisagem com indicação de divisores rebaixados e de possíveis capturas fluviais.

Com base nas informações altimétricas, extraídas das imagens SRTM no *Software ArcGis 10.5*, foram, ainda, elaborados perfis topográficos transversais ao divisor hidrográfico da Serra dos Órgãos, possibilitando uma melhor compreensão das características topográficas da área em estudo. Os dados foram extraídos a partir do mapeamento geológico mencionado anteriormente e sobreposto com os valores altimétricos da imagem de radar SRTM.

O fator Chi (χ), que como já dito busca avaliar o potencial erosivo dos rios e a migração de divisores hidrográficos, é uma ferramenta bastante útil para investigar a dinâmica evolutiva atual dos sistemas de drenagem, permitindo, assim, inferir canais de drenagem e divisores topográficos que estão em estágios distintos de trabalho erosivo (setores de maior ou menor instabilidade erosiva atual). Divisores de bacias hidrográficas que não apresentarem variação significativa entre valores de χ , indicaria situação de maior “estabilidade”, enquanto aqueles em que os valores de χ são distintos indicariam bacias em estágio atual de maior poder erosivo, definindo situações de “instabilidade” ou “desequilíbrio” (PERRON; ROYDEN, 2013; WILLET *et al.*, 2014). Com isso, possibilita inferir para onde se dá a migração de divisores hidrográficos, indicando rios que poderão ser capturados (WILLET *et al.*, 2014). Para extração dos valores do fator χ foi utilizado o modelo de cálculo proposto por Willet *et al.* (2014) que se baseia na topologia do sistema de drenagem, dado pela relação entre a área situada à montante do trecho de drenagem e valores de declividade e , ainda, à associação a geometria dos perfis de drenagem, para, assim, indicar o grau de “estabilidade” ou não do divisor de drenagem. Nesta etapa, foi utilizado o MDE como base para o cálculo dos valores do fator χ , a partir de uma sequência códigos da ferramenta *TopoTool Box* no *software MatLab* (SCHWANGHART; SCHERLER, 2014).

4. Resultados

Relações entre geologia e altimetria

A partir da análise dos dados de distribuição altimétrica e dos perfis topográficos, juntamente com os dados litológicos, foi possível analisar e interpretar alguns fatores controladores da morfologia do relevo, do grau de dissecação do relevo e no posicionamento do divisor hidrográfico em relação à escarpa da Serra dos Órgãos. Na figura 5, podem ser observadas a distribuição altimétrica das unidades litológicas da área de estudo.

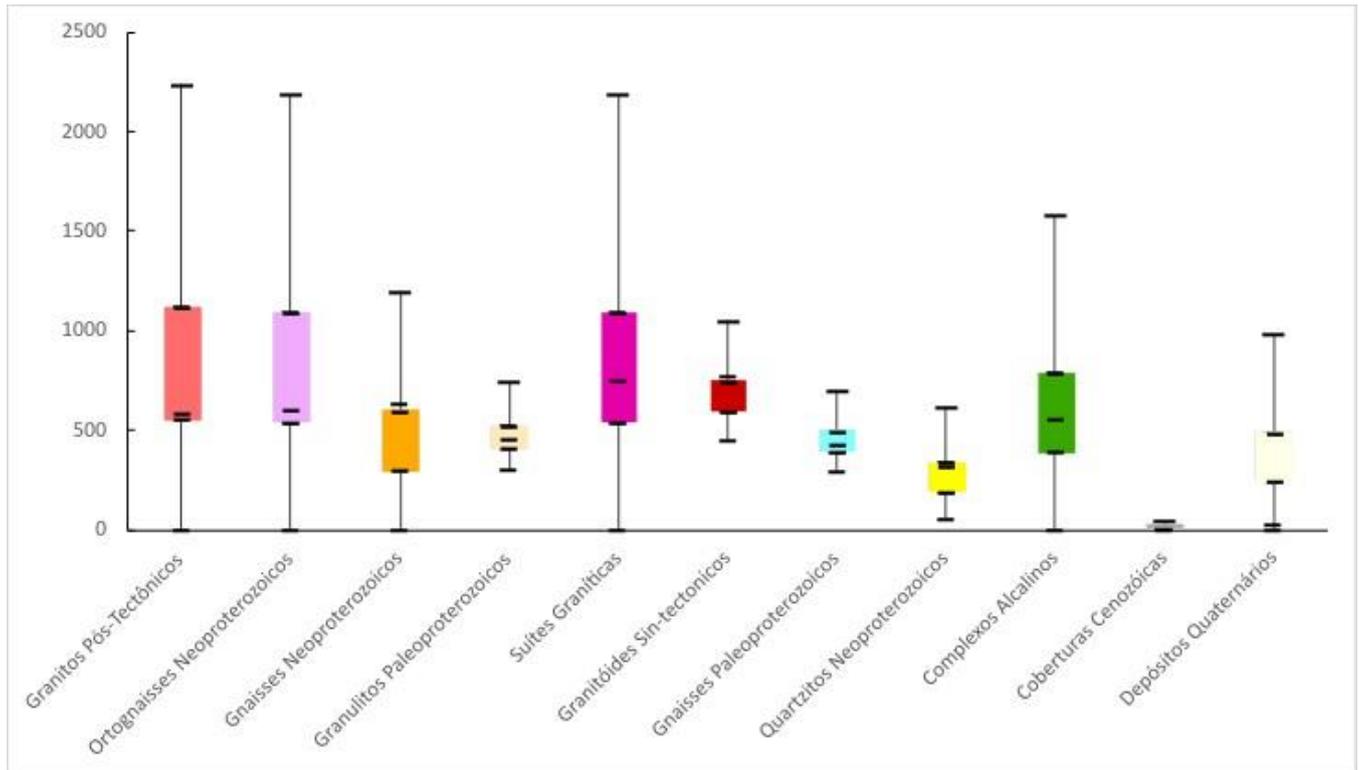


Figura 5. Distribuição altimétrica das unidades litológicas da área de estudo.

Ao analisar os dados da figura 5, observa-se que os Granitos pós-tectônicos apresentam a maior variação altimétrica na área de estudo, apresentando as maiores elevações em 2.237m e as menores ocorrem a 5m de altitude seguido pelas Suítes Graníticas (2.187m – 5m) e pelos Ortognaisses Neoproterozoicos (2.188m – 5m). Além disso, os Granitos Pós-tectônicos apresentam as maiores elevações dentro dos quartis, 1.119m para o quartil superior e 560m para o quartil inferior, o que pode sugerir controle litológico devido à maior resistência intempérica dos granitos em relação às demais litologias identificadas na área de estudo. Entre os gnaisses, destaca-se que os gnaisses neoproterozoicos variam entre 1.197m e 4m, enquanto os gnaisses paleoproterozoicos entre 702m e 297m. Os complexos alcalinos que ocorrem na área de estudo, variam entre 1.581m e 2m, isto pode ser explicado pela localização geográfica à frente escarpada da Serra dos Órgãos. Os depósitos quaternários podem ser encontrados em altitudes que variam de 985m a 1m de altitude, ou seja, em áreas de retenção da sedimentação quaternária, em altitudes controladas por níveis de base locais, e em planícies fluviais.

Ressalta-se, que valores altimétricos mais baixos encontrados para algumas unidades litológicas, pode ser explicado pela influência do tectonismo Mesozoico-Cenozoico que promoveu o basculamento dos blocos para norte e formou uma porção abatida conhecida com Gráben da Guanabara (ALMEIDA, 1976).

Na figura 6, podem ser observados os perfis topográficos com as variações altimétricas correlacionadas com as unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo.

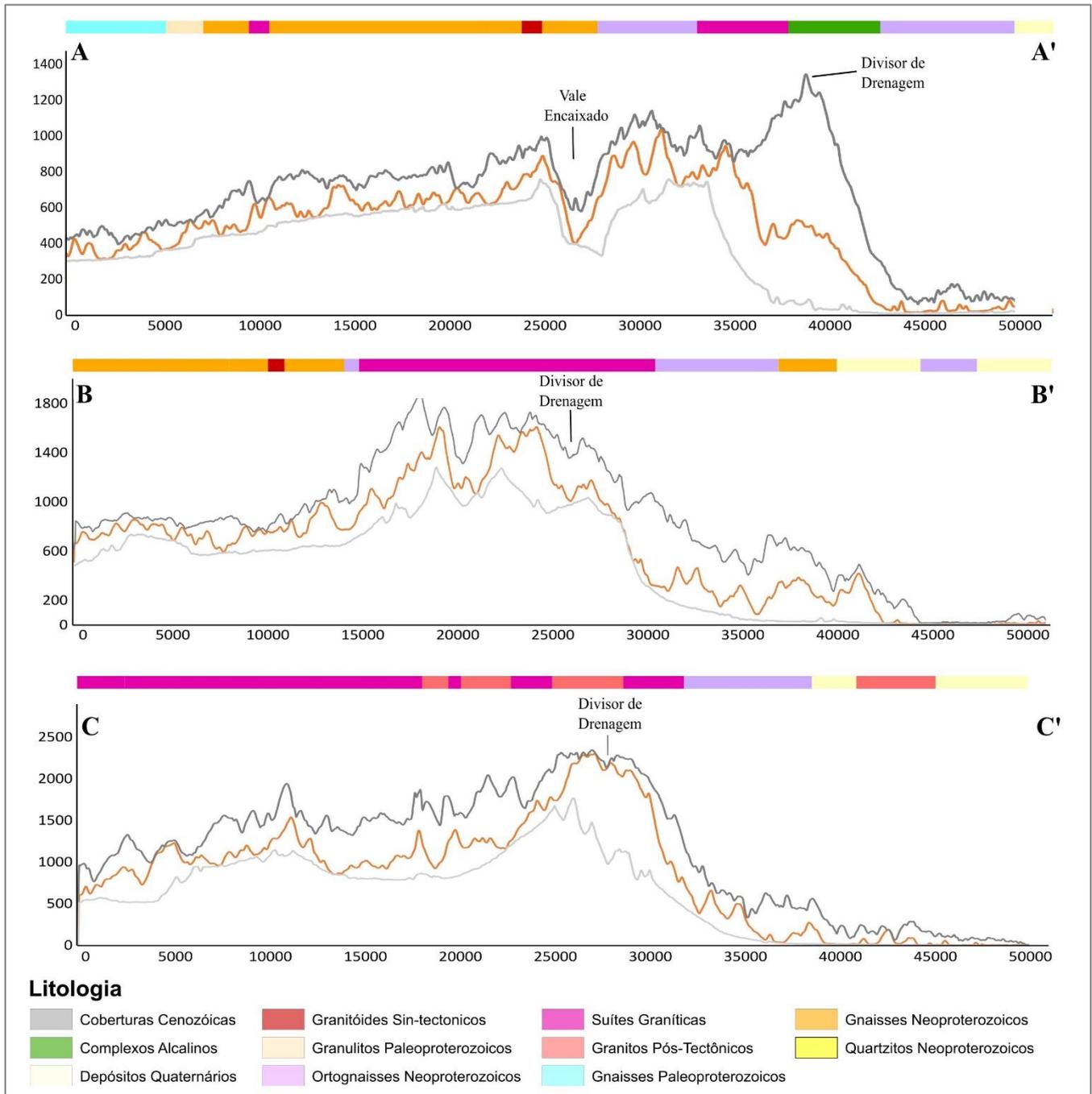


Figura 6. Perfis topográficos *Swath*, de orientação N-S, elaborados para a área de estudo. A localização dos mesmos pode ser observada nas figuras 3 e 4. As linhas demonstram as elevações máximas (linha cinza escura), elevação normal (linha laranja) e elevações mínimas (linha cinza clara) em uma janela de 5km do eixo central do perfil para cada lado.

De maneira geral, os perfis topográficos apresentam características morfológicas e altimétricas distintas. O perfil topográfico A-A' (Figura 6A) apresenta as menores elevações, tendo seus topos mais altos atingindo 1.100m aproximadamente, enquanto os perfis B-B' e C-C', atingem 1.800m e 2.200m, respectivamente. Deste modo, pode-se dizer que na porção oeste da área de estudo, localização do perfil A-A', a escarpa da Serra dos Órgãos está mais rebaixada/dissecada em comparação com a porção leste e, conseqüentemente, o divisor hidrográfico também se encontra mais rebaixado. Ao observar as variações entre as altitudes máximas e mínimas dos perfis *Swath*, o perfil A-A' apresenta as maiores variações altimétricas próximo da escarpa da Serra dos Órgãos, situado no trecho entre 35 e 40km no perfil A-A', o que pode indicar uma maior dissecção do relevo neste trecho.

O perfil topográfico **A-A'** apresenta unidades litoestratigráficas distintas, com destaque para a unidade Fácies Conservatória associada ao Grupo Andrelândia, Complexo Paraíba do Sul e o Complexo Rio de Negro. Na vertente oceânica da Serra dos Órgãos as menores elevações estão próximas ao nível do mar e associadas aos depósitos aluvionares quaternários; enquanto que no planalto reverso, as menores altitudes situam-se um pouco acima de 200m associadas a coberturas sedimentares quaternárias nos fundos de vale, bem encaixados, recobrendo rochas do Complexo Paraíba. Maiores elevações do perfil estão associadas a litologias granítico-gnáissico das unidades Complexo Rio Negro e Suíte Serra dos Órgãos, cujas altitudes atingem 1.100m aproximadamente. A escarpa da Serra dos Órgãos, neste trecho, se dá na transição entre as rochas alcalinas do Corpo Tinguá e a Suíte Serra dos Órgãos, sendo o divisor hidrográfico situado nesta última unidade. A conformação do divisor hidrográfico está recuada em direção ao planalto reverso, o que sugere processos de reordenamento fluvial por meio de capturas fluviais (Figura 6A). Também é observado um vale encaixado na unidade Arcádia Areal em contato com rochas do Complexo Rio Negro, o que pode indicar controle litológico e/ou tectônico-estrutural do relevo (Figura 6^a).

O perfil topográfico **B-B'** apresenta morfologia típica de ambientes escarpados, com uma vertente oceânica íngreme e um planalto interiorano suspenso (Figura 6B). As altitudes variam em torno de 1.700m, estando as porções mais elevadas do relevo associadas às rochas da Suíte Serra dos Órgãos, que configuram, em sua maioria, granitos isotrópicos relativamente mais resistentes ao intemperismo do que rochas mais anisotrópicas. Observa-se que tanto a escarpa quanto o divisor hidrográfico situam-se na unidade Suíte Serra dos Órgãos, e o posicionamento da linha do divisor está localizado no limite da escarpa, o que sugere que não tenha ocorrido reordenamento da drenagem recentemente. Na vertente interiorana, as menores elevações atingem aproximadamente 600m e ocorrem sobre a unidade Fácies Conservatória do Grupo Andrelândia. Cabe destacar, a variação altimétrica na porção do planalto reverso, sugerindo maior dissecação do relevo; enquanto a porção da vertente escarpada esta variação é menos significativa (Figura 6B).

Já o perfil **C-C'** é constituído, em sua maioria, pela unidade Suíte Serra dos Órgãos (Figura 6C). Este perfil apresenta as maiores elevações da área de estudo, atingindo 2.200m de altitude, com destaque para elevações que ocorrem sobre a unidade Corpo Andorinha, destacando por mecanismos de erosão diferencial. Neste trecho, a escarpa da Serra dos Órgãos é mais íngreme em comparação aos perfis **A-A'** e **B-B'** e situa-se na transição da unidade Complexo Rio Negro e Suíte Serra dos Órgãos. O divisor hidrográfico situa-se no interior do planalto reverso, desconectado do limite atual da escarpa, o que sugere mecanismos de captura fluvial por meio de decapitação e recuo de cabeceira (Figura 6C). Este processo é observado em escarpamentos litorâneos na região sudeste do Brasil, no qual o posicionamento do divisor hidrográfico, localizado no planalto interiorano dos escarpamentos, sugerem mecanismos de reordenamento de drenagem através de captura fluvial (REZENDE *et al.*, 2015; PAIXÃO *et al.*, 2019).

Ainda a partir dos perfis topográficos, pode-se ressaltar os principais controles litológicos e/ou tectônico-estruturais observados. Nota-se, um basculamento topográfico para norte, bem como, diferenças altimétricas significativas de leste para oeste, sendo as cotas mais elevadas concentradas a oeste. Soma-se a isso, a vertente escarpada preservada nos três perfis analisados (Figura 6). Esta característica pode ser explicada pelos esforços distensivos ocorridos no Paleógeno, demonstrando controle tectônico no relevo (ASMUS; FERRARI, 1978; ZÁLAN; OLIVEIRA, 2005). Além disso, a ocorrência de unidades litológicas em diferentes cotas altimétricas, como as unidades Corpo Andorinha e Complexo Rio Negro, reforçam a atividade distensiva e a movimentação de blocos tectônicos. No perfil **B-B'** pode-se observar rochas do Complexo Rio Negro ocorrendo a 1.400m no planalto interiorano e em 500m na vertente escarpada (Figura 6B). Já no perfil **C-C'**, a Unidade Corpo Andorinha é identificada nas cotas 2.200m no topo da escarpa e em 1.200m no planalto interiorano (Figura 5C).

Em termos litológicos, destaca-se o papel das unidades Suiútes Graníticas (representados pelos granitos da Suíte Serra dos Órgãos) e Gnaisses Neoproterozoicos (representados pelas rochas do Complexo Rio Negro) na manutenção da morfologia escarpada. Outra característica importante, é a conformação do divisor hidrográfico em relação ao limite superior da escarpa que indica mecanismos de reordenamento fluvial e capturas de drenagem nas cabeceiras. Em escarpamentos de margem do tipo rifte, de maneira geral, o posicionamento do divisor hidrográfico entre as drenagens da vertente escarpada e o planalto interiorano, coincide com o limite da escarpa. Contudo, pode ocorrer a migração do divisor em direção ao planalto interiorano por meio de capturas fluviais promovida pelas drenagens da vertente escarpadas (GILCHRIST *et al.*, 1994). Dentro deste contexto, Paixão *et al.* (2020) demonstraram a influência dos granitos do Corpo Andorinha em perfis longitudinais de drenagem na Serra dos Órgãos e que marcam evidências de capturas fluviais.

Níveis de base locais (*knickpoints*) e unidades litológicas

Ao todo foram identificados 130 níveis de base locais (*knickpoints*) na área de estudo, sendo 29 localizados nas bacias que drenam a vertente escarpada e 101 situados nas bacias que drenam para o planalto reverso (Figura 3). Os *knickpoints* situados na vertente escarpada encontram-se entre 84m e 1.951m de altitude, já os *knickpoints* no planalto reverso foram identificados variando entre 503m e 1.467m de altitude.

Em relação à litologia, observa-se a ocorrência de maior quantidade de *knickpoints*, 51% do total, associadas às suítes graníticas com destaque para a os Leucogranitos da Suíte Serra dos Órgãos. Também foi identificada boa quantidade de *knickpoints* associados aos Gnaisses Neoproterozoicos (29%) e Ortognaisses Neoproterozoicos (14%). Em outras unidades litológicas da Serra dos Órgãos também foram identificados *knickpoints*, contudo, em menor quantidade, como no caso dos Granitos Pós-tectônicos (2%), Granitoides Sin-Tectônicos (1,5%) e dos Complexos Alcalinos (0,8%) (Figura 3).

Os *knickpoints* que situam-se nas porções mais elevadas da área de estudo, acima dos 1.000m de altitude, estão associados às unidades dos Granitos Pós-Tectônicos e Suítes Intrusivas. Apenas três *knickpoints* acima dos 1.000m de altitude estão associados a unidade Ortognaisses Neoproterozoicos (Figura 1).

Diante dos dados apresentados, pode-se dizer que ocorre um controle litológico na localização de *knickpoints* na área de estudo, associadas às unidades graníticas que afloram na Serra dos Órgãos. Isto pode ser explicado pela anisotropia dos granitos, configurando uma maior resistência ao intemperismo em comparação às demais litologias. Este comportamento é observado tanto para as bacias que drenam a frente escarpada, quanto para as bacias que drenam o planalto reverso. No entanto, em relação à densidade de *knickpoints*, pode-se observar que bem na área central do planalto reverso tem-se uma maior quantidade de *knickpoints*, conseqüentemente, maior adensamento (Figura 7). Para a frente escarpada, a densidade concentra-se, principalmente, em duas localidades do divisor de drenagem próximo às cabeceiras de drenagem. Logo, a densidade de *knickpoints* sugere que bacias voltadas para a frente escarpada foram extremamente dissecadas pelos mecanismos erosivos e de recuo das cabeceiras de drenagem, gerando perfis em conformação mais côncava e que demonstram área de dissecação mais madura dos sistemas de drenagem.

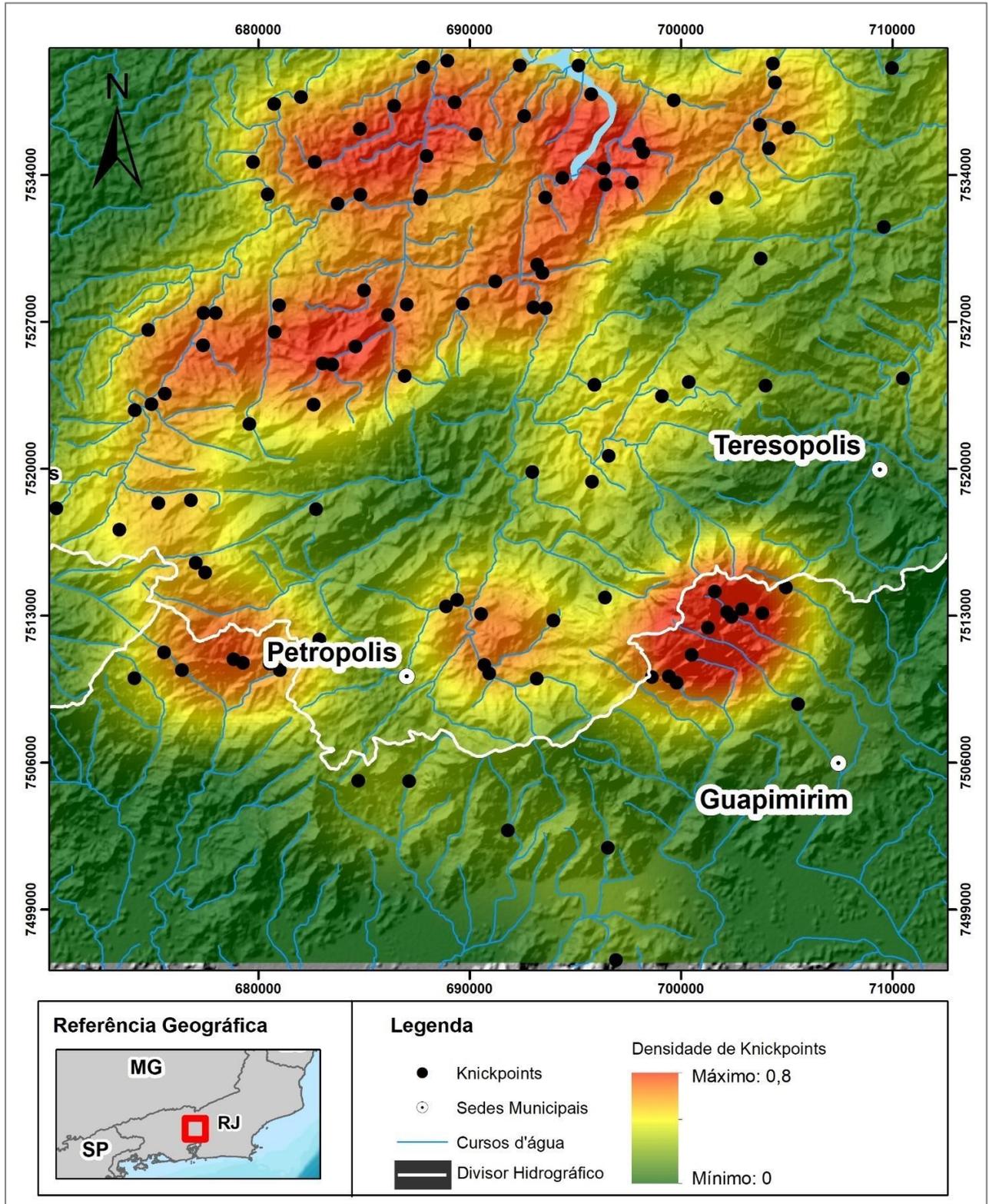


Figura 7. Mapa de densidade de *knickpoints*.

Fator χ e dinâmica erosiva distinta de bacias de drenagem

Em relação ao fator χ , os resultados obtidos demonstram que as drenagens situadas na vertente escarpada da Serra dos Órgãos, em sua maioria, apresentam maior potencial erosivo do que as bacias voltadas para o planalto reverso. Estas bacias apresentam valores elevados do fator χ , enquanto que bacias situadas na frente escarpada possuem valores menores (Figuras 8A, 8B e 8C). Essa diferença significativa entre valores do fator χ indica uma situação atual de “instabilidade” ou “desequilíbrio” do divisor, levando a mecanismos de migração do divisor e (re)arranjo da drenagem. As drenagens que apresentam menores valores (frente escarpada) são capazes de promover capturas de drenagem e, assim, fazer com que ocorra migração do divisor em direção às drenagens que apresentam valores mais elevados (Planalto reverso), fazendo com que as mesmas percam segmentos de drenagem. Este mecanismo de rearranjo de drenagem e migração do divisor, promove mudanças nos valores do fator χ , uma vez que a área da bacia e o comprimento do canal de drenagem mudam. Deste modo, as drenagens responsáveis pela captura fluvial e migração do divisor aumentam a área de drenagem e, por conseguinte, a diferença altimétrica, aumentando assim o valor do fator χ . Em contrapartida, a bacia que sofre a captura diminui sua área de drenagem e seu gradiente topográfico, diminuindo o valor do fator χ . Logo, este mecanismo de migração do divisor de drenagem, em sua maioria, promove o ajuste de valores do fator χ de bacias de drenagem adjacentes levando a um estado “momentâneo de equilíbrio” nesse trecho do divisor de drenagem.

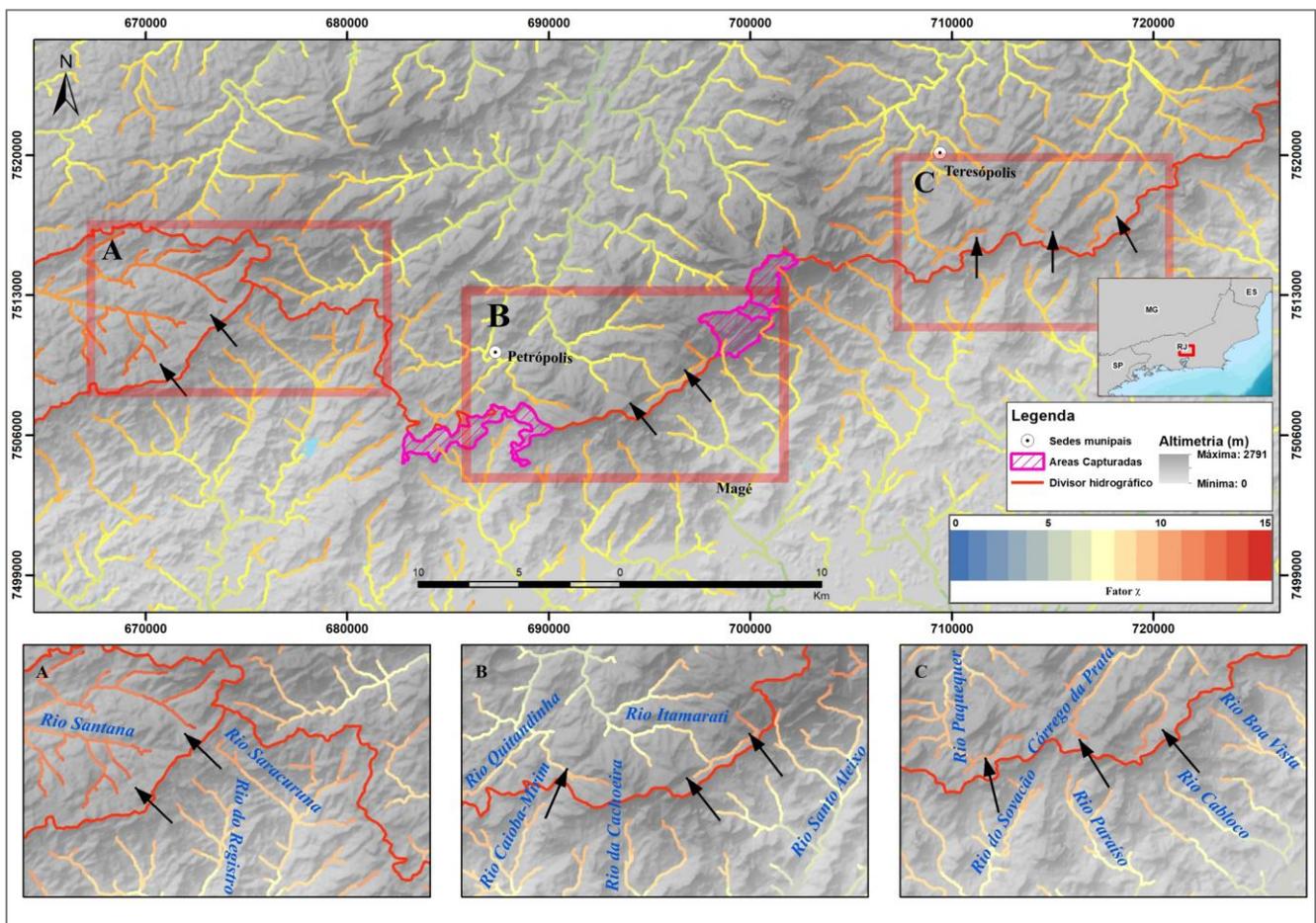


Figura 8. Localização do trecho leste do divisor hidrográfico da Serra dos Órgãos (linha contínua em cor vermelha): I – Mapa com representação dos valores distintos de fator χ encontrados para os canais fluviais e destacados em A, B e C; II – Mapa com representação de áreas de captura, com setas indicando a direção de migração do divisor baseada nos valores de fator χ obtidos.

Também foram identificados trechos cujos valores do fator χ não apresentaram diferença significativa, podendo ser considerados áreas em situação de maior “estabilidade” de ocorrência atual de processos erosivos entre cabeceiras de drenagem distintas. Esta característica pode ser observada entre as cabeceiras afluentes do rio da Cachoeira e do rio Caióba-Mirim (frente oceânica escarpada) e as cabeceiras afluentes dos rios Itamaraty e Quitandinha (Planalto Reverso) (Figura 8B) e entre cabeceiras afluentes do rio Saracuruna e do rio da Cidade (Figura 8A). Este estágio próximo ao que se pode compreender como de provável “equilíbrio erosivo” pode ser explicado pela ocorrência de cabeceiras de drenagens que apresentam gradientes topográficos e distâncias da linha de divisor semelhantes entre bacias adjacentes e pode ter sido alcançado a partir de uma captura fluvial pretérita, que promoveu a migração do divisor e *feedback* positivo na bacia captadora em que, ao longo do tempo, o segmento capturado se ajustou a nova situação nível de base local. Com este ajuste, o gradiente e encaixamento dos canais são suavizadas e os valores do fator χ entre as bacias tende a ficar com valores próximos.

Em algumas áreas foram observados valores muito elevados do fator χ em cabeceiras de drenagem localizadas na vertente escarpada oceânica, como o caso do rio Santo Aleixo (Figura 8B) e rio do Sovação (Figura 8C). Isto, talvez, possa ser explicado pelas áreas capturadas ainda não estarem totalmente ajustadas ao nível de base atual e, assim, ainda apresentarem características dos rios que drenam para o planalto reverso. Outra possibilidade que pode explicar esta característica é a possível existência de controle litológico local, caracterizado pela ocorrência da unidade geológica Granito Andorinha, que pode estar relacionado a preservação de áreas elevadas em morfologia planáltica.

Análise de Perfis Longitudinais

Ao analisar os perfis longitudinais dos rios da área de estudo, pode-se observar características distintas marcantes no que diz respeito à conformação dos perfis (Figura 9). Os rios que drenam a frente escarpada apresentam, em sua maioria, morfologias abruptas com poucas áreas suavizadas, denotando relevo íngreme de elevada amplitude altimétrica (Figura 9b). Os perfis longitudinais destes rios apresentam forma côncava para cima, o que pode indicar estágio de equilíbrio do canal fluvial e de provável “estabilidade” do divisor. Contudo, não é possível afirmar tal estabilidade, uma vez que os dados do parâmetro χ demonstram maior potencial erosivo destas drenagens em função do nível de base mais baixo em comparação com as bacias do reverso da escarpa. Gomes *et al.* (2022) identificaram que os mecanismos de evolução da escarpa na Serra do Mar ocorrem por meio de grandes movimentos de massa promovendo a decaptação da cabeceira e migração do divisor. Já os perfis longitudinais dos rios que drenam o planalto interiorano apresentam morfologia íngreme nas áreas próximas às cabeceiras, contudo, tendem a diminuir sua inclinação em direção à foz. É possível, ainda, observar patamares escalonados na altura das cotas 800, 600 e 200, tendo amplitude altimétrica variando entre 1.800m e 200m, aproximadamente (Figura 9a).

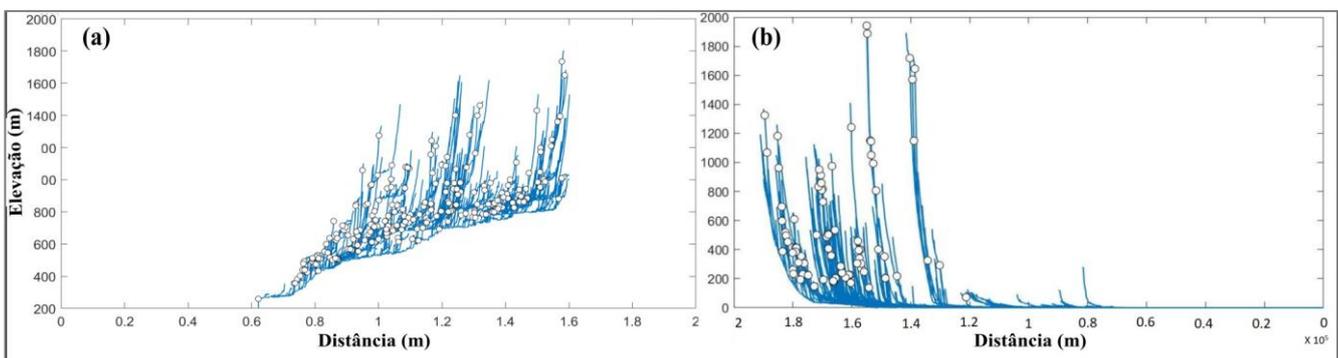


Figura 9. Perfis longitudinais de todos os canais de drenagem do trecho da Serra dos Órgãos analisado. Os círculos brancos representam a localização dos níveis de base locais (*knickpoints*). (a) canais de drenagem do planalto reverso; (b) canais de drenagem da frente escarpada.

A associação dos perfis longitudinais com os valores do fator χ demonstra, em sua maioria, que próximo às cabeceiras, os rios que drenam a frente escarpada apresentam valores menores deste fator quando comparados aos rios do planalto reverso (Figura 9). Este resultado evidencia o maior potencial erosivo associado aos rios da frente escarpada, que promovem mecanismos de captura fluvial e migração do divisor de drenagem. Em alguns casos, pode-se observar valores muito próximos do fator χ entre as drenagens da frente escarpada e do planalto reverso, indicando um estágio de relativa “estabilidade”, como já dito anteriormente. Também são observados, morfologias suaves próximas às cabeceiras de drenagem marcadas por baixa amplitude altimétricas, podendo que podem estar associadas a capturas fluviais recentes, cujo potencial erosivo ainda não foi suficiente para (re)afeiçoar o segmento capturado.

Mecanismos de capturas fluviais

Ao analisar as feições geomorfológicas da área de estudo, foram identificadas feições típicas que fazem referência à ocorrência de capturas fluviais, tais como, cotovelos de drenagem e divisores rebaixados (Figura 10). Além disso, ao se analisar os perfis longitudinais dos canais fluviais que drenam a vertente oceânica escarpada, observa-se trechos próximos à cabeceira de drenagem que apresentam morfologias planas à montante da ruptura de declive para a escarpa. Paixão *et al.* (2020) já haviam identificado áreas de capturas fluviais na Serra dos Órgãos e demonstraram o controle exercido pelos granitos pós-tectônicos na manutenção da morfologia planáltica em cabeceiras de bacias localizadas na vertente escarpada voltada para a Baía de Guanabara.

Foi possível identificar ainda áreas com morfologias típicas de captura através da análise conjunta dos sistemas de drenagem com as curvas de nível, perfis topográficos e resultados obtidos através do fator χ . Próximo à cidade de Petrópolis, são sugeridos mecanismos de rearranjo de drenagem entre o rio Caioba-Mirim, que drena a vertente escarpada, e o rio Quitandinha, que drena o planalto interiorano (Figura 10A). Neste trecho foi reconhecida a presença de divisores rebaixados, que certamente compunham áreas de morfologia planáltica, e que atualmente drenam para a vertente escarpada. Além disso, este trecho capturado apresenta elevados valores de fator χ , o que sugere que as drenagens ainda não se ajustaram ao novo nível de base. Também foram identificados trechos capturados entre o rio do Pico (vertente escarpada) e o rio Itamarati (Planalto reverso) (Figura 10B). Neste trecho, nota-se uma área com potencial para ocorrência de captura fluvial entre os rios mencionados. Observa-se que as cabeceiras do rio do Pico estão muito próximas de atingir o divisor e, assim, capturar a drenagem do planalto reverso (setas amarelas na Figura 10B), processo este que já ocorreu em outro local em destaque na Figura 10B. Os valores do fator χ indicam que as drenagens do rio Pico têm maior potencial erosivo em relação às drenagens do rio Itamarati neste trecho, podendo levar à ocorrência de reordenamento da drenagem por captura fluvial futuramente. Este mecanismo promoveria a migração do divisor hidrográfico que está situado próximo ao limite da escarpa. Quando comparado com as áreas já capturadas, percebe-se que o divisor hidrográfico já encontrasse recuado para o interior do planalto no topo da Serra dos Órgãos (Figura 10A e 10B).

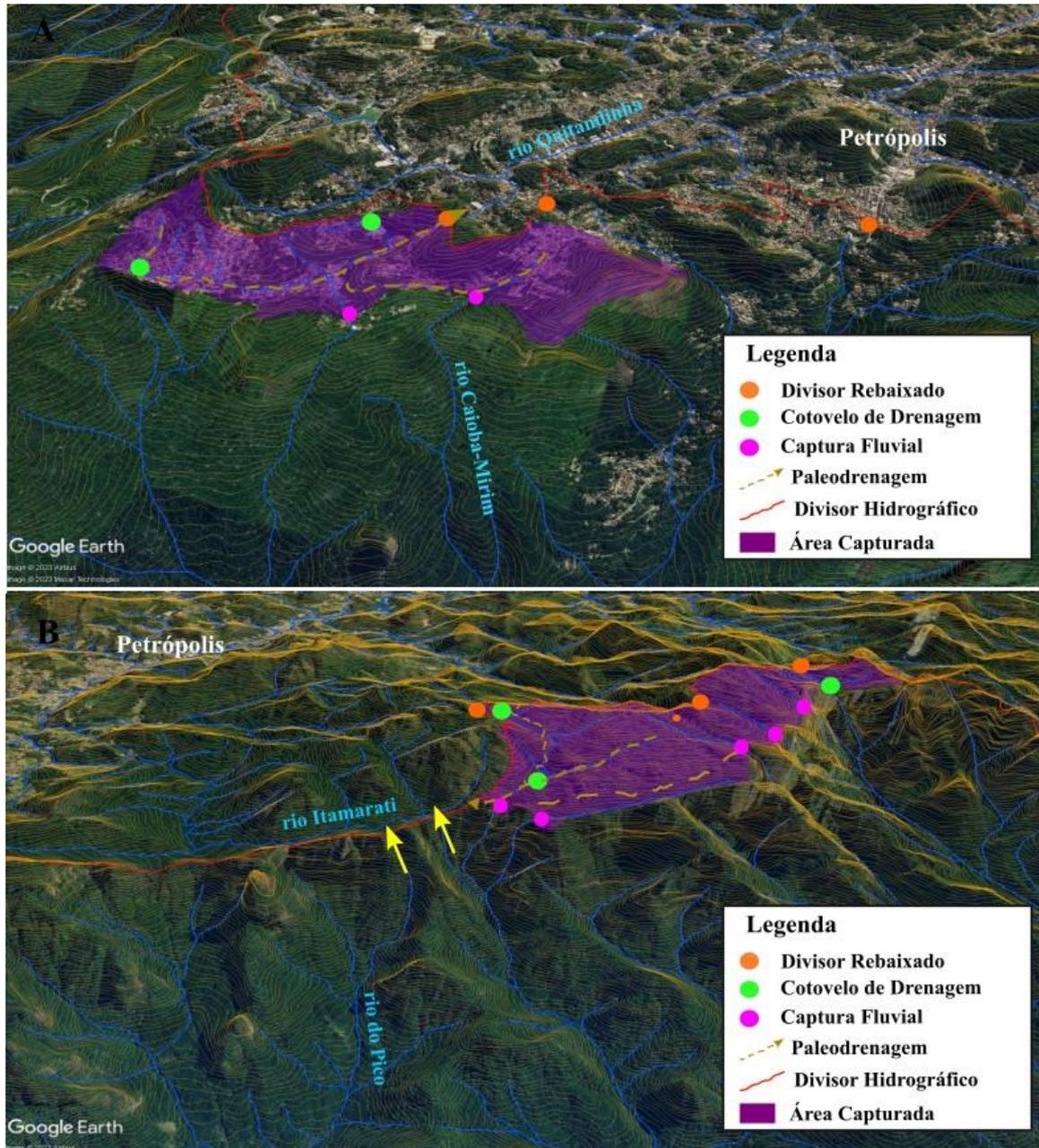


Figura 10. A e B - Localização de áreas de ocorrência de capturas fluviais no trecho da Serra dos Órgãos analisado: Linha contínua vermelha indica o divisor hidrográfico; hachura roxa áreas de capturas fluviais; linha tracejada em cor amarela indica a reconstituição da drenagem antes da captura; pequenos círculos em cor vermelha seriam divisores rebaixados. Fonte: Imagens Google Earth.

5. Discussão

Diante das informações coligidas, pode-se dizer que os eventos tectônicos Mesozoico-Cenozoicos influenciaram sobremaneira na dinâmica geomorfológica da área de estudo. Isto pode ser evidenciado por: (a) controles litológicos e estruturais no relevo observados nos perfis topográficos; (b) perfis longitudinais de drenagem indicando diferenças morfológicas entre bacias da frente oceânica escarpada e no reverso da Serra dos Órgãos; (c) a diferença entre a quantidade e a densidade de *knickpoints* identificados na área de estudo; e (d) valores de fator χ indicando mecanismos de rearranjos de drenagem e migração do divisor.

A análise dos perfis topográficos evidencia a influência dos domínios geológicos na morfologia do relevo, bem como, o condicionamento estrutural na compartimentação e basculamento dos blocos rochosos. Pode-se observar, também, a diferença altimétrica entre a escarpa oceânica e o planalto interiorano. Os perfis longitudinais de drenagem, destacam a diferença entre as bacias que drenam para a frente oceânica escarpada da Serra do Mar

e as bacias que drenam para o planalto interiorano. Nota-se uma diferença significativa na conformação dos perfis longitudinais de drenagem, nos quais a drenagem na frente escarpadas possuem perfis mais íngremes e mais próximos à feição côncava, típica de rios “equilibrados”, em comparação aos rios marcados pela ocorrência de inúmeros níveis de base locais dos rios que drenam para o reverso da serra. Esta característica pode ser explicada por dois fatores: (1) o tectonismo cenozoico e o soerguimento de blocos crustais que deram origem à morfologia escarpada (HARTWIG e RICCOMINI, 2010); (2) as diferentes litologias identificadas que possuem resistências distintas à ação de processos de intemperismo e erosão, com destaque para a maior resistência das suítes graníticas.

A diferença na conformação dos perfis longitudinais de drenagem pode ser estendida e notada pelo aspecto que o relevo local apresenta; este que é bem distinto na vertente escarpada voltada para o oceano versus vertente interiorana (Figura 11). Enquanto a vertente oceânica apresenta-se de forma bastante íngreme e abrupta (Figura 11A), o relevo no planalto reverso apresenta morfologias mais rebaixadas com vales fluviais que mergulham suavemente em direção à calha do rio Paraíba do Sul (Figura 11B).

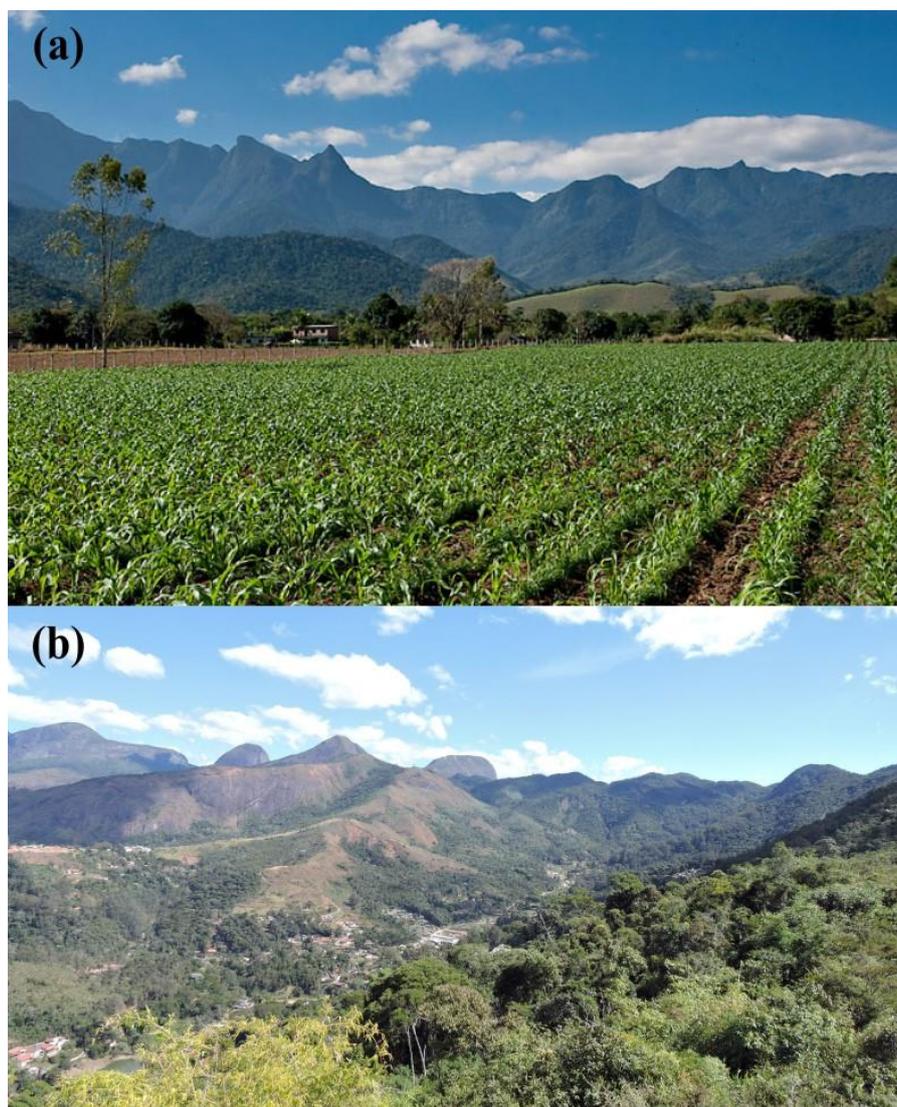


Figura 11. Aspecto morfológico das vertentes distintas da área serrana estudada: (a) vertente íngreme e escarpada oceânica em encontro com a baixada quaternária, observada da bacia do rio Guapiaçu (RJ); (b) vertente suavizada do planalto reverso no município de Teresópolis (RJ). Fotos: T.M. Silva ((a) jun//2010; (b) set./2017).

Na área estudada foram identificados ao todo 130 *knickpoints*. Contudo, ao contrário do encontrado em outros estudos, tais como Paixão et al. (2019), Sordi et al. (2018) e Salgado et al. (2016), a maior quantidade de *knickpoints* foi identificada na porção do planalto reverso. Contudo, observa-se que na vertente escarpada, a densidade de

knickpoints está concentrada justamente nas proximidades das cabeceiras, o que indicaria o deslocamento remontante dos *knickpoints* pelo maior pulso erosivo. Esta característica é explicada pela diferença altimétrica dos níveis de base das drenagens localizadas na frente escarpada em relação as drenagens do planalto reverso.

Em relação aos valores do fator χ , estes demonstram um maior potencial erosivo nas cabeceiras de drenagem das bacias que se situam na vertente escarpada, indicando a existência de processos atuais de rearranjo de drenagem e migração do divisor. Esta característica pode ser explicada pela diferença altimétrica do exutório dos níveis de base das bacias localizadas em diferentes setores da Serra dos Órgãos. As bacias da frente oceânica escarpada apresentam níveis de base locais, topograficamente, mais rebaixado do que as bacias que drenam para o reverso serrano; e, deste modo, promovem migração do divisor em direção ao planalto interiorano erosão remontante nas cabeceiras levando a capturas fluviais. Salgado et al. (2016) tratando dessa mesma temática, identificaram mecanismos de capturas fluviais e migração de divisor no escarpamento da Serra do Mar no setor localizado na Serra da Bocaina e associam essa evolução também a mecanismos de reordenamento fluvial promovido pelas drenagens associadas à vertente escarpada devido ao seu maior potencial erosivo.

Outras pesquisas recentes tratam do papel dos rios nos processos de denudação da paisagem, p.ex. Dal Pai et al (2023) e Silva et al. (2023). Ambos trabalhos fazem uso de parâmetros morfométricos na investigação evolutiva da paisagem, sendo destacados por Dal Pai et al. (2023) o fator χ e métricas de gradiente, relevo e elevação. Tais autores avaliaram os rearranjos de drenagem e a migração de divisores em área de estabilidade tectônica e relevo suave do planalto vulcânico interior do sul brasileiro, bem na área dos divisores entre os rios Uruguai e Paraná. Os resultados encontrados mostraram que divisores de drenagem em relevo suave e de características simétricas para ambos os lados apresentam comportamento migratório diferente de divisores assimétricos. No caso estudado, as condições de simetria de vertentes opostas do divisor de drenagem mostraram uma migração de cabeceiras que variam em direções distintas ao longo do divisor e que foram associadas a fatores locais, tais como presença de lineamentos estruturais levando a uma migração bidirecional. Já Silva et al. (2023) avaliaram as modificações e reorganização da rede de drenagem na região do Médio Vale do Paraíba do Sul (SP/RJ/MG), localizada no segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), uma feição tectônica proeminente. Nessa região registram-se ocorrência de capturas e rearranjos de drenagem recentes e estes autores procuraram investigar o poder erosivo dos rios em setores de falha e de borda flexurada do RCSB através de parâmetros geomórficos, sendo o fator χ um deles. Os resultados alcançados para as 21 bacias de drenagem analisadas demonstraram que a formação do rifte e consequente configuração do relevo conferiram maior poder erosivo para as bacias que drenavam a falha ativa do rifte e destacaram que o método χ apresentou-se como um parâmetro fundamental como indicador da tendência migratória dos divisores, interpretada pela diferença dos valores deste parâmetro em áreas opostas aos divisores de drenagem (localizados na área da escarpa de falha versus na área flexurada). Concluindo que a configuração geométrica imposta pelo gráben estabelece, desde o início da fase rifte, um importante controle sobre o potencial erosivo dos rios localizados nas bordas ativa e flexural. Esse controle resultou em capturas fluviais antigas, atualmente expostas como inflexões nos principais canais fluviais em direção aos depocentros locais, demonstrando que esse mecanismo tectônico gera perturbações no sistema fluvial que podem ser observadas ainda hoje, dezenas de milhões de anos depois do início do mecanismo de deformação regional. Acredita-se que processo similar tenha ocorrido na Serra dos Órgãos, contudo, as evidências os processos de capturas fluviais se dão de maneira um pouco diferente.

Apesar da análise das feições morfológicas, dos valores do fator χ e dos perfis longitudinais demonstrarem a ocorrência de mecanismos de rearranjos de drenagem por meio de capturas fluviais, o que chama atenção é que este mecanismo apresenta dinâmica diferente quando comparados com outros processos de captura em áreas de escarpamentos identificados por Cherem et al. (2012), Rezende et al. (2013), Sordi et al. (2018) e Paixão et al. (2019). No setor da Serra dos Órgãos aqui estudado, as capturas fluviais não preservam extensas áreas que drenam em direção ao planalto. Acredita-se que o mecanismo de captura fluvial nesta área ocorra por decaptação de cabeceiras, incorporando pequenos trechos da drenagem antes pertencentes ao planalto interiorano para a vertente escarpada oceânica. Este mesmo mecanismo foi reconhecido por Gomes et al. (2022) em trechos da Serra do Mar em São Paulo, configurando assim uma dinâmica que deve ser melhor estudada, uma vez que vem demonstrando a importância do tectonismo Cenozoico afetando de maneira diferenciada trechos dessa faixa serrana do Sudeste brasileiro.

6. Conclusões

Por meio dos perfis topográficos e longitudinais dos principais eixos de drenagem e índices morfométricos foi possível identificar mecanismos evolutivos recentes do escarpamento da Serra dos Órgãos; mais precisamente, a interpretação do parâmetro geomorfométrico “fator χ ”. Os resultados alcançados demonstraram o valor destes procedimentos para subsidiar a interpretação evolutiva local, podendo, portanto, serem considerados como de fundamental aplicação em estudos que versam sobre taxas de recuos de escarpas e de cabeceiras de drenagem.

É importante destacar que a utilização de perfis topográficos, transversais aos divisores de drenagem e correlacionados a informações geológicas, permitiu apreender a existência de controles litológicos e/ou tectônico-estruturais ao longo do escarpamento da Serra dos Órgãos. Além disso, os perfis longitudinais de drenagem juntamente com os resultados obtidos pelo fator χ demonstraram maior potencial erosivo das bacias da vertente escarpada em detrimento das bacias que drenam para o planalto interiorano. E, neste contexto, estas características resultaram na contextualização de mecanismos de reordenamento de drenagem e migração do divisor, bem como foram identificadas áreas cujo divisor de drenagem encontra-se em situação atual de “estabilidade”.

Pode-se, portanto, concluir que a evolução e a morfogênese do relevo dos divisores de drenagem no trecho analisado da Serra dos Órgãos se deram, preferencialmente, a partir de mecanismos de (re)ordenamento da rede de drenagem por meio da migração do divisor e recuo da escarpa levando a fenômenos de capturas fluviais. Acrescenta-se, ainda, o papel do controle litológico e tectônico-estrutural na conformação da compartimentação do relevo regional e na definição do potencial erosivo das distintas bacias de drenagem que se encontram distribuídas à frente da vertente escarpada em relação àquelas voltadas para o planalto interior.

Contribuições dos Autores: concepção, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; metodologia, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; software, Rodrigo Wagner Paixão e Patrick Kuchler; validação, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; análise formal, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; pesquisa, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; preparação dos dados, Rodrigo Wagner Paixão e Patrick Kuchler; escrita do artigo, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva; revisão, Telma Mendes da Silva; supervisão, Rodrigo Wagner Paixão e Telma Mendes da Silva.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

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

Referências

1. AB'SABER, A.N. O problema das conexões antigas e da separação da drenagem do Paraíba e do Tietê. *Geomorfologia*. n.26, p.38-49, 1957.
2. AIRES, J.R.; MOTOKI, A.; MOTOKI, K.F.; MOTOKI, D.F.; RODRIGUES, J.G. Análises Geomorfológicas do Platô de Teresópolis e da Serra do Mar, RJ, com o Auxílio de Seppômen e ASTER GDEM e sua Relação aos Tectonismos Cenozoicos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. v.35, n.2, p.105-123, 2012. DOI: 10.11137/2012_2_105_123
3. ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v.58 (suplemento), p.15-26, 1976.
4. ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*. v.28, n.2, p.135-150, 1998.
5. ASMUS, H.E.; FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo Cenozoico na região sudeste do Brasil. *Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste Brasileira*. Série Projeto REMAC, 4, p.75-88, 1978.
6. BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. *Progress in Physical Geography*. v.19, n.4, p.449-473, 1995.
7. CHEREM, L.F S.; VARAJÃO, C.A.C.; BRAUCHER, R.; BOURLÉS, D.; SALGADO, A.A.; VARAJÃO, A.C. Long-term Evolution of Denudational Escarpments in Southeastern Brazil. *Geomorphology*. v.173-174, p.118-127, 2012. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.06.002
8. DAL PAI, M.O.; SALGADO, A.A.R.; SORDI, M.V.; CARVALHO Jr., O.A.; PAULA, E.V. Comparing morphological investigation with χ index and gilbert metrics for analysis of drainage rearrangement and divide migration in inland plateaus. *Geomorphology*. n.423, 108554, 2023.

9. GILCHRIST A.R.; KOOI H.; BEAUMONT, C. Post-Gondwana geomorphic evolution of southwestern Africa: implication for the controls on landscape development from observations and numerical experiments. **Journal of Geophysical Research**. v.99, p.12.211–12.228, 1994.
10. GOMES, M.C.V.; VIEIRA, B.C.; SALGADO, A.A.R.; BRAUCHER, R.; TEAM, A. Debris flow and long-term denudation rates in a tropical passive margin escarpment in South America. **Geomorphology**. v.413, p.108333, 2022. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108333
11. HARTWIG, M.E. **Tectônica rúptil mesozóico-cenozóica na região da Serra dos Órgãos, RJ**. 2006, 117f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2006.
12. 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: 10.20502/rbg.v11i1.137
13. HEILBRON, M.; EIRADO, L.G.; ALMEIDA, J. (orgs.). **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM. 1 mapa. Escala 1:400.000. Programa geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. 2016.
14. MARENT, B.R. **Geomorfogênese dos degraus escalonados do Sudeste de Minas Gerais**. 2016, 189f. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Inst. Geociências, UFMG. 2016.
15. NETO, R.M.; 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. DOI: 10.20502/rbg.v20i4.1577
16. PAIXÃO, R.W.; SALGADO, A.A.R.; FREITAS, M.M. Morfogênese do divisor hidrográfico Paraná/Paraíba do Sul: O caso da sub-bacia do Paraibuna. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.20, n.1, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1498
17. PAIXÃO, R.W.; NUNES, R.S.; MEDEIROS, J.C.; SILVA, T.M.; FREITAS, M.M. Aspectos Morfogenéticos do Divisor de Drenagem da Serra dos Órgãos (RJ). **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, p. e52611-19, 2020.
18. PERRON, J.; ROYDEN, L. An integral approach to bedrock river profile analysis. **Earth Surface Process Landforms**. n.38, p.570–576, 2013. DOI: 10.1002/esp.3302
19. REZENDE, E.C.; SALGADO, A.A.R.; SILVA, J.R.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; LÉANNI, L. Fatores dos controladores da evolução do relevo no flanco NNW do Rift Continental do Sudeste do Brasil: uma análise baseada na mensuração dos processos denudacionais de longo-termo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 14, n. 2, p. 221-234, 2013. DOI: 0.20502/ rbg.v14i2.416
20. RICCOMINI, C.O. **Rift continental do sudeste do Brasil**. 1989, 256f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1989.
21. SALGADO, A.A.R.; REZENDE, E.A.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; SILVA, J.R.; GARCIA, R.A. Relief evolution of the continental rift of Southeast Brazil revealed by in situ produced ^{10}Be concentrations in river-borne sediments. **Journal of South America Earth Science**. v. 67, p. 89-99, 2016. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.02.002.
22. SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short Communication: TopoToolbox 2–MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, p. 1-7, 2014. DOI: 10.5194/esurf-2-1-2014
23. SILVA, R.V.M.; 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**. n.127, 104407, 2023.
24. SILVA, T.M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no estado do Rio de Janeiro**. 2002, 265f. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, IGEO-UFRJ, 2002.
25. SORDI, M.V.; SALGADO, A.A.R.; SIAME, L.; BOURLÈS, D.; PAISANI, J.C.; LAËTITIA, L.; BRAUCHER, R.; COUTO, E.V. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in Southern Brazil. **Geomorphology**. n. 306, p. 155-169, 2018. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.01.007.
26. STRUTH, L.; GARCIA-CASTELLANOS, D.; VIAPLANA-MUSZAS, M. VERGÉS, J. Drainage network dynamics and knickpoint evolution in the Ebro and Duero basins: From endorheism to exorheism. **Geomorphology**. n. 327, p. 554-571, 2019. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.11.033

27. SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. New York: John Wiley and Sons, 1991.
28. VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**. v. 32, p. 300-309, 2012.
29. WHIPPLE, K.X.; FORTE, A.M.; DIBIASE, R.A.; GASPARINI, N.M.; OUIMET, W.B. Timescales of landscape response to divide migration and drainage capture: Implications for the role of divide mobility in landscape evolution. **J. Geophys. Res. Earth Surf.** n. 122, p. 248–273, 2017. DOI: 10.1002/2016JF003973
30. WILLETT, S.D.; MCCOY, S.W.; PERRON, J.T.; GOREN, L.; CHEN, C.Y. Dynamic reorganization of river basins. **Science**. v. 343, issue 6175, p. 1117-1126, 2014. DOI: 10.1126/science.1248765
31. ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências Petrobras**. v. 13, n. 2, p. 269-300, 2005.



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.