

**PPGEO**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM GEOGRAFIA



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
**INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS**  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

KAROLLINY TOBIAS OLIVEIRA

**O PAPEL DOS REARRANJOS DE DRENAGEM PARA A EVOLUÇÃO  
GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA**

Goiânia - GO  
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

**Karolliny Tobias Oliveira**

#### 3. Título do trabalho

**“O papel dos rearranjos de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira”**

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Karolliny Tobias Oliveira, Discente**, em 23/03/2026, às 09:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andre Augusto Rodrigues Salgado, Professor do Magistério Superior**, em 23/03/2026, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6075090** e o código CRC **B5DBF3E7**.

---

Referência: Processo nº 23070.000787/2026-29

SEI nº 6075090

KAROLLINY TOBIAS OLIVEIRA

**O papel dos rearranjos de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira**

Texto de Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Geografia, do Instituto de Estudo Socioambientais - IESA, da Universidade Federal de Goiás, como requisito à obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Natureza e Produção do Espaço.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica.

Orientador: André Augusto Rodrigues Salgado.

Coorientador: Rodrigo Wagner Paixão.

Goiânia - GO

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Karolliny Tobias  
O papel dos rearranjos de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira [manuscrito] / Karolliny Tobias Oliveira. - 2026.  
LXIV, 64 f.: 2026

Orientador: Prof. Dr. André Augusto Rodrigues Salgado; co-orientador: Dr. Rodrigo Wagner Paixão

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2026.

Bibliografia.

Inclui: mapas, lista de figuras.

1. Morfogênese. 2. Captura Fluvial. 3. Bacia Hidrográfica. 4. Evolução do Relevo.

I. Salgado, André Augusto Rodrigues, orient. II. Paixão, Rodrigo Wagner, co-orient. III. Título.

CDU 911.2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **03/2026** da sessão de Defesa de Dissertação de **Karolliny Tobias Oliveira**, que confere o título de **Mestra em Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

**Aos dezenove dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e seis**, a partir das **09:00** horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“O papel dos rearranjos de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **André Augusto Rodrigues Salgado - (PPGEO/IESA)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Marcio Henrique de Campos Zancope (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Roberto Marques Neto - (UFJF - ICH)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **André Augusto Rodrigues Salgado - (PPGEO/IESA)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, **aos dezenove dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e seis**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Andre Augusto Rodrigues Salgado, Professor do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Henrique De Campos Zancope, Professor do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 11:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Marques Neto, Usuário Externo**, em 19/02/2026, às 13:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5943363** e o código CRC **C8A43E4A**.

*“É necessário calar sobre as grandes coisas ou falar delas com grandeza.”  
Dedico as obras da natureza, todas as minhas obras.*

## **Agradecimentos**

Agradeço a minha mãe, e a todas as mulheres da minha família, por terem me mostrado que preciso voar, e sou capaz de alçar o lugar que eu quiser. Por todo apoio incondicional e pela construção da minha obstinação.

Agradeço aos meus avôs e avós por todo conhecimento e admiração acerca da natureza e do ato de ensinar, a mim transmitidos e confiados; e pela confiança de existir no mundo. E a minha tia, por todo carinho diário.

Agradeço as políticas públicas por viabilizarem a minha família uma perspectiva de futuro em meio ao abandono e ao desespero. A isso, devo a continuidade da minha existência no mundo como aquela criança cientista, artista e filósofa. Por isso também, agradeço a UFG e ao IESA por todo apoio e senso de comunidade que me abraçaram desde o primeiro momento. E a CAPES pelo financiamento que permitiu essa pesquisa em seus detalhes.

Agradeço infinitamente a espiritualidade por ter me encaminhado e me sustentado nesse caminho, me reservando oportunidades e circunstâncias das quais eu nunca poderia ter imaginado. Por isso, posso dizer que tenho a melhor orientação. Agradeço ao professor André Salgado pela paciência, pela amizade, pelo cuidado, pela sensibilidade, pela expertise, pela ética intocada, e pelo prazer de compartilhar seu fino conhecimento conosco. De certo, eu não teria escolhido tão assertivamente e estou sob ombros de gigantes.

Prova disso também, é a orientação de minha graduação por Andrelisa de Jesus e de tantos outros professores e professoras, que me permitiram fortalecer minhas bases e me prepararam com tudo que puderam.

Aos meus colegas, da graduação ao mestrado, e ao meu coorientador, agradeço os apoios técnicos, interpretativos, e mesmo emocionais, nessa jornada intensa e muitas vezes solitária. Aos meus amigos, os momentos de apoio e descontração que me permitiram colocar a cabeça no lugar, tantas vezes.

Ao meu marido e minha sogra, agradeço o infinito apoio, bondade e paciência para tudo que peço e quero. Em especial, ao meu marido, agradeço pelo amor incondicional, e por me lembrar com um carinho que eu desconhecia, quem sou todos os dias.

A todos citados, agradeço por me darem os meios materiais, institucionais, intelectuais e psicoemocionais de chegar onde cheguei, pois é uma luta incessante e além de uma construção profissional, é muito pessoal, e por isso também, agradeço a mim mesma.

## Resumo

Os rearranjos de drenagem constituem processos fundamentais na evolução dos sistemas fluviais e do relevo continental, caracterizando-se pela transferência total ou parcial de áreas e fluxos entre bacias hidrográficas ao longo do tempo geológico. Inserida no contexto morfotectônico do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), a Serra da Mantiqueira apresenta condições particularmente favoráveis à ocorrência desses processos, em função da compartimentação do relevo, da presença de escarpas, dos distintos degraus planálticos e de um substrato geológico movimentado. Neste contexto, a presente dissertação objetiva analisar os processos de rearranjo de drenagem na alta Serra da Mantiqueira, a partir de uma abordagem geomorfológica integrada entre análise morfológica, morfométrica e interpretação evolutiva do relevo. A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas metodológicas, incluindo levantamento bibliográfico, mapeamento geomorfológico e hidrográfico, seleção de áreas-chave com base em sinais de rearranjo, trabalhos de campo e análise e tratamento dos dados em ambiente SIG. Os resultados, apresentados em dois artigos científicos, evidenciam elevada diversidade e recorrência de feições associadas aos rearranjos de drenagem, como cotovelos de captura, baixos divisores, vales secos e superdimensionados, drenagens barbeladas, knickpoints e knickzones. A análise integrada demonstra que os rearranjos de drenagem na Serra da Mantiqueira operam em múltiplas escalas espaciais e temporais, refletindo tanto o avanço erosivo das bacias associadas ao rifte sobre o planalto adjacente quanto disputas entre bacias do reverso controladas por zonas de fraqueza estrutural. Observa-se, que toda a rede hidrográfica, inclusive o recuo de escarpa da Serra da Mantiqueira, evolui principalmente por meio dos processos de rearranjo de drenagem. Portanto, conclui-se que esses processos desempenham papel central na evolução geomorfológica regional, configurando-se como mecanismos fundamentais na evolução da paisagem regional.

**Palavras-chave:** Morfogênese, Captura fluvial, Bacia hidrográfica, Evolução do relevo.

## **Abstract**

Drainage rearrangements constitute fundamental processes in the evolution of fluvial systems and continental relief, being characterized by the total or partial transfer of areas and flows between drainage basins over geological time. Inserted within the morphotectonic context of the Continental Rift of Southeastern Brazil (RCSB), the Serra da Mantiqueira presents particularly favorable conditions for the occurrence of these processes, due to relief compartmentalization, the presence of escarpments, distinct planaltic steps, and a geologically active substrate. In this context, the present dissertation aims to analyze drainage rearrangement processes in the upper Serra da Mantiqueira through an integrated geomorphological approach combining morphological and morphometric analyses with evolutionary interpretation of the relief. The research was developed in five methodological stages, including a literature review, geomorphological and hydrographic mapping, selection of key areas based on rearrangement indicators, fieldwork, and data analysis and processing in a GIS environment. The results, presented in two scientific articles, reveal a high diversity and recurrence of landforms associated with drainage rearrangements, such as capture elbows, low divides, dry and oversized valleys, barbed drainages, knickpoints, and knickzones. The integrated analysis demonstrates that drainage rearrangements in the Serra da Mantiqueira operate across multiple spatial and temporal scales, reflecting both the erosive advance of rift-associated basins over the adjacent plateau and disputes between reverse-slope basins controlled by zones of structural weakness. It is observed that the entire hydrographic network, including the escarpment retreat of the Serra da Mantiqueira, evolves primarily through drainage rearrangement processes. Therefore, it is concluded that these processes play a central role in regional geomorphological evolution, constituting fundamental mechanisms in the evolution of the regional landscape.

**Keywords:** Morphogenesis, River capture, Watershed, Relief evolution.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> processos ascendentes de reorganização fluvial. Fonte: Marent et al., 2023.....	7
<b>Figura 2:</b> mapa de ocorrência e setores da Serra da Mantiqueira. Fonte: Marques Neto, 2017. ....	11
<b>Figura 3:</b> ocorrência do RCSB. Fonte: Zálán e Oliveira, 2005. ....	11
<b>Figura 4:</b> mapa de localização da área de estudo. ....	18
<b>Figura 5:</b> mapa geológico simplificado da área de estudo. ....	19
<b>Figura 6:</b> A: Vale superdimensionado muito próximo a sua nascente (Ponto de interesse 6 na Figura 4A). B: Baixo divisor nas cabeceiras do vale superdimensionado (ponto de interesse 5 na Figura 4A). ....	23
<b>Figura 7:</b> Área com geofomas típicas de captura fluviais e perfis topográficos do Ribeirão Pacau e do divisor hidrográfico. A: mapa topográfico com as geofomas e pontos de interesse plotados; B: perfil longitudinal do Ribeirão Pacau, desde sua nascente até alguns metros após a cachoeira; C: perfil altimétrico do divisor hidrográfico das bacias do Paraíba do Sul e do Grande na área de trabalho, com os trechos de baixo divisor destacados. ....	24
<b>Figura 8:</b> Foto tirada exatamente sobre o anômalo baixo divisor entre as bacias hidrográficas dos Rios Grande e Paraíba do Sul no alto da Serra da Mantiqueira (ponto 5 da Figura 3). Nota-se que o divisor se assemelha a um paleovale e graças a essa característica é aproveitado como percurso para a rodovia. ....	25
<b>Figura 9:</b> A: Cachoeira do Pacau (ponto 3 da Figura 4); B: Cachoeira pronunciada de afluente do Ribeirão Pacau que deságua nele à jusante da Cachoeira do Pacau, (ponto 1 da Figura 4); C: Foto tirada na parte superior da escarpa no ponto 4 da Figura 4, visando o sentido sudeste, mirando o gráben do Paraíba do Sul e destacando o vale do Ribeirão Pacau à jusante de sua principal cachoeira; D: corredeira localizada a jusante da Cachoeira do Pacau, ilustrando a alta energia de toda a rede de drenagem (ponto 2 da Figura 4). ....	26
<b>Figura 10:</b> Modelo evolutivo simplificado para a alta Bacia do Ribeirão Pacau. A configuração mais antiga é representada pelo mapa 1 e a configuração atual pelo mapa 4. ....	28
<b>Figura 11:</b> Mapa topográfico e de localização da área de estudo. ....	32
<b>Figura 12:</b> Mapa geológico simplificado da área de estudo. ....	33
<b>Figura 13:</b> Mapa das principais anomalias do tríplice divisor de drenagem Aiuruoca–Grande–Preto. ....	36
<b>Figura 14:</b> O vale superdimensionado do alto Rio Grande: (A) mapa, (B) perfil topográfico e (C) fotografia. ....	38
<b>Figura 15:</b> Modelo evolutivo dos rearranjos de drenagem na área de estudo. ....	41
<b>Sumário</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 REARRANJOS DE DRENAGEM: UMA BREVE REVISÃO</b> .....	3
<b>1.2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	11
<b>2. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	13
<b>2.1 A INFLUÊNCIA DOS REARRANJOS DE DRENAGEM PARA A EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA</b> .....	13
<b>2.1.1 Introdução</b> .....	13

2.1.2 Área de trabalho .....	15
2.1.3 Materiais e métodos .....	18
2.1.4 Resultados e discussões .....	20
2.1.5 Conclusões .....	27
2.1 O PAPEL DOS REARRANJOS DE DRENAGEM PARA A EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ALTA BACIA DO RIO GRANDE (BACIA DO RIO PARANÁ) NA SERRA DA MANTIQUEIRA-MG .....	28
2.2.1 Introdução .....	28
2.2.2 Área de estudo.....	29
2.2.3 Materiais e métodos.....	31
2.2.4 Resultados .....	35
2.2.5 Discussões.....	36
2.2.6 Conclusões .....	40
3. CONCLUSÕES .....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

#### Lista de anexos

1. Artigo: A influência dos rearranjos de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira .....	51
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

Rearranjos de drenagem são processos naturais, que se desenvolvem através de um tempo geológico considerável, e se caracterizam pela transferência total ou parcial de área e fluxo entre bacias e cursos d'água (Bishop, 1995). A ocorrência destes processos se dá, sobretudo, pela diferença da taxa erosiva entre bacias vizinhas, ou seja, pela discrepância na agressividade de uma bacia em relação a outra. A diferença entre os níveis de base, clima, estruturas, substrato geológico e relevo, são fatores responsáveis pela configuração energética de uma bacia. Bacias mais agressivas tendem a incorporar (ou "piratear") áreas de drenagem e/ou canais de bacias vizinhas, menos agressivas. Estes são processos que desencadeiam grandes mudanças nas configurações geomorfológicas e ecológicas de regiões afetadas (Marent et. al, 2022).

Como outros processos geomorfológicos, os rearranjos também são indicados por formas. Cachoeiras, "cotovelos" de drenagem, "knick points", vales secos (paleovales) e vales suspensos, são feições comuns de serem encontradas em drenagens que estão passando, ou passaram por reorganizações (Rezende et al. 2020). As pesquisas a respeito dos rearranjos, portanto, voltam-se para as anomalias e excepcionalidades observadas na geomorfologia fluvial. Busca-se interpretá-las evidenciando seu caráter dinâmico, mesmo que pouco observáveis em uma escala de tempo humana (Dal Pai, et al. 2021).

Os rearranjos de drenagem constituem processos muito importantes para a compreensão acerca da evolução do relevo continental e de sua rede de drenagem. Começaram a ser investigados na academia brasileira com força significativa a partir de 2015, portanto, ainda há muitas lacunas de pesquisa (Marent et. al, 2022). De fato, no contexto do território brasileiro, devido a sua grande extensão territorial, sua diversidade de ambientes, densidade hidrográfica e de grandes exemplos já investigados, o cenário para pesquisas relacionadas ao tema é bastante fértil.

Devido a algumas configurações geomorfológicas regionais, padrões nas dinâmicas de reorganização já são identificados e foram sistematizados cientificamente. É o caso da margem passiva do continente, a porção leste que acompanha a faixa litorânea do Brasil. Esta margem do continente se formou em um processo de rifteamento iniciado há mais de 100 milhões de anos, durante o Cretáceo,

sendo responsável pela separação da América do Sul e da África, no evento sul-atlântico.

Posteriormente, já no início do Cenozóico, há cerca de 60 milhões de anos, um segundo processo de rifteamento, aproveitando-se em partes do processo anterior já iniciado, deu origem ao Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, 1989). Este rifte amalgama diversas estruturas com a mesma gênese e forma, sendo preenchido por formações sedimentares e margeado, a sudeste e a noroeste, por montanhas que constituem as ombreiras, ou seja, os horsts (Riccomini, 1989; Riccomini, et al., 2004). Estas montanhas são a Serra do Mar a sudeste e a Serra da Mantiqueira a noroeste.

Na região da Serra da Mantiqueira, a instalação de um rifte margeado por horsts garante uma configuração típica e muito ativa entre bacias agressoras e vítimas, onde as bacias voltadas para o rifte são mais agressivas, e as vítimas localizam-se na face oposta dos horsts. Na região entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, há a formação de “degraus” por planaltos com diferentes cotas altimétricas, que margeiam o RCSB. Esta geomorfologia potencializa a dinâmica já supracitada, pois as bacias interplanálticas (com diferentes níveis de base) tornam-se numerosas, e também suas interações.

A Serra da Mantiqueira, ombreira de um dos horsts do RCSB, possui parte considerável das principais nascentes de duas importantes bacias hidrográficas. Uma das bacias é a bacia do rio Grande, principal formador do rio Paraná, que corre sobre o reverso horst (sobre o planalto mais elevado), e outra é a bacia do Paraíba do Sul, que corre encaixada no rifte em patamares mais baixos e em relevos escarpados. Pelo sistema já observado, uma forte hipótese a respeito de rearranjos na região, seria de que a bacia do Paraíba do Sul está, aos poucos, roubando área e volume da bacia do rio Grande (Cherem, 2012; Cherem et al. 2013).

Um pilar de sustentação desta hipótese pode ser observado nas investigações acerca da bacia do rio Preto (sub bacia do Paraíba do Sul). Em sua alta bacia, o rio Preto corre em um vale suspenso, correndo em cotas altimétricas muito mais elevadas do que o restante de sua bacia (Rezende e Salgado, 2020). Apesar de se localizar na borda do rifte, sua configuração aparentemente se dá por um controle erosivo, e não estrutural, indicando um papel já muito ativo da denudação. Este vale suspenso é marcado por um declive abrupto passando de sua alta para média bacia, formando um knickpoint com aproximadamente 200 metros de queda. Associando

outros diversos sinais anômalos na bacia, formam-se indícios de que inicialmente o rio Preto pertencia a bacia vizinha, a do rio Grande, indicando uma grande captura fluvial (Rezende e Salgado, 2020).

Embora Rezende e Salgado (2020) já tenham afirmado que a alta Bacia do rio Preto conteve no passado parte significativa das nascentes do rio Grande/Paraná, transferidas para a Bacia do rio Paraíba do Sul por meio de processos de captura fluvial, uma série de outras anomalias fluviais em seu interior e entorno imediatos permanecem sem terem sido investigadas. Estas anomalias podem explicar melhor a dinâmica evolutiva da Serra da Mantiqueira, bem como contar em maiores detalhes a história geomorfológica da Bacia do rio Preto e, principalmente do rio Grande, o principal formador do rio Paraná e o papel dos rearranjos de drenagem para a evolução do relevo regional.

Para além do contato entre compartimentos geomorfológicos muito distintos, Bishop (1995) descreve que, principalmente as falhas e fraturas geológicas, são componentes de influência para os processos de rearranjo de drenagem, atribuindo vantagem e orientando drenagens que fluem por estas zonas, dinâmica já identificada em setores do reverso da Mantiqueira (Cruz et al., 2025). As estruturas herdadas do processo de orogenia, e posteriormente reativadas no rifteamento, que também dá origem a novas estruturas, forma um substrato geológico jovem e intensamente movimentado. A este fato, atribui-se uma busca de equilíbrio por parte da drenagem que flui sobre este substrato, caracterizando assim uma drenagem dinâmica e influenciada também por fatores litoestruturais.

Neste contexto, o presente trabalho busca investigar o papel dos rearranjos de drenagem na evolução geomorfológica da alta Serra da Mantiqueira, bem como analisar a interação entre diferentes mecanismos de reorganização fluvial atuantes na região. Parte-se da seguinte questão: de que maneira, em um contexto morfotectônico favorável à reorganização fluvial, a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira tem sido condicionada? A partir de análise morfológica de geformas anômalas identificadas nas altas bacias dos rios Aiuruoca, Grande e Preto (um tríptico divisor hidrográfico), este estudo objetiva interpretar sua gênese e trajetória evolutiva, contribuindo para a compreensão da evolução geomorfológica regional e para as discussões acerca dos processos de rearranjo de drenagem.

## 1.1 REARRANJOS DE DRENAGEM: UMA BREVE REVISÃO

A partir de diferentes cosmologias e da própria Ciência moderna, é possível conceber a natureza como um grande sistema — ou mesmo como um organismo (Lovelock, 1987) — no qual seus elementos se integram e evoluem de forma simultânea. Essa concepção tornou-se relativamente comum nas Ciências da Terra, especialmente a partir da consolidação das abordagens sistêmicas ao longo do século XX. No entanto, é necessária cautela para que tal perspectiva não incorra em interpretações místicas ou não científicas no âmbito da produção acadêmica (Capel, 1981). Nesse sentido, a análise dos fenômenos naturais exige a mensuração das cadeias de espaços, componentes e cronologias envolvidas, de modo a integrar sua complexidade sem abdicar da objetividade científica (Morin, 2005). Isso implica realizar recortes analíticos que aprofundem o conhecimento sem torná-lo excessivamente fragmentado ou desvinculado dos métodos geográficos (Schaefer, 1977; Bertrand, 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho mobiliza bases teóricas fundamentadas nas noções de sistema e complexidade. Morin (2005) destaca a necessidade do desenvolvimento do pensamento complexo no âmbito científico e filosófico, relacionando-o diretamente às leituras sistêmicas. Para o autor, a complexidade constitui-se como “um tecido de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados”, evidenciando o paradoxo entre o uno e o múltiplo. Desse tecido emerge o sistema, que pode ser construído a partir de qualquer objeto ou campo de análise, desde que consideradas as inter-relações entre seus componentes.

A Geomorfologia, essencialmente, insere-se diretamente nessa perspectiva. Compreendida como o estudo das formas do relevo, de sua gênese, dinâmica, evolução e de suas interações com elementos naturais e antrópicos, essa disciplina demanda uma abordagem sistêmica (Casseti, 2005). Assim, a leitura geomorfológica requer múltiplos prismas analíticos, capazes de considerar a atuação conjunta — ainda que em diferentes intensidades — de diversos agentes e fatores (Christofolletti, 1979; Summerfield, 1991).

Entre as noções sistêmicas mais relevantes para a Geomorfologia, destaca-se o conceito de equilíbrio, amplamente utilizado por autores como Tricart (1977) e Ross (1990). Embora a ideia de que os sistemas naturais tendem ao equilíbrio seja antiga, sua interpretação pode ser equivocada quando associada a uma visão estática, linear

e previsível da natureza. Na realidade, os sistemas naturais são complexos, dinâmicos (Morin, 2005; Sochava, 1977) e não lineares, ainda que apresentem certos uniformitarismos em seus processos (Phillips, 1992). Assim, o equilíbrio não deve ser entendido como um estado final ou permanente, mas como uma condição transitória, constantemente rompida e reorganizada ao longo do tempo, dando origem a novos arranjos morfológicos e hidrológicos. Ao reconhecer que todo modelo constitui uma generalização e abstração da realidade, torna-se possível aplicar as leis da geomorfologia de forma compatível com o pensamento complexo e sistêmico.

Essa perspectiva dinâmica contribui para compreender por que os processos de rearranjo de drenagem foram conceituados e aprofundados de forma relativamente tardia na Geomorfologia. Apesar de sua relevância para a compreensão da evolução do relevo e dos sistemas ambientais, esses processos desafiam interpretações simplificadas do comportamento hidrográfico, ao evidenciarem descontinuidades, assimetrias espaciais e reorganizações tanto abruptas quanto graduais das redes de drenagem (Bishop, 1995; Summerfield, 1991). Tais processos revelam uma natureza em constante transformação, não acabada e marcada pela interação contínua entre seus componentes.

Nesse sentido, os rearranjos de drenagem não devem ser compreendidos como anomalias, mas como elementos constitutivos da dinâmica evolutiva do relevo e da hidrografia, especialmente em contextos morfotectônicos ativos ou herdados (Bishop e Goldrick, 2000). Morin (2005) reforça essa interpretação ao destacar que a maioria dos sistemas é essencialmente aberta, dependendo de trocas com outros sistemas para garantir sua existência e evolução — como é o caso das bacias hidrográficas. Assim, os rearranjos de drenagem podem ser entendidos como parte do próprio funcionamento e da busca por equilíbrio desses sistemas, e não como desvios de sua dinâmica.

Sob essa ótica, tais processos não ocorrem de forma isolada nem se restringem a uma única escala espaço-temporal. Ao contrário, manifestam-se como respostas integradas do geossistema, envolvendo desde processos locais — como migração de cabeceiras, interceptação de canais e reorganização do nível de base — até reconfigurações regionais de longa duração, com implicações geomorfológicas, ambientais e ecológicas amplas (Phillips, 2011; Marent et al., 2023). Bishop (1995) também alerta para o risco de limitar esses estudos à mera identificação de processos, em detrimento de sua compreensão como chave interpretativa da

evolução geomorfológica e ambiental. Dessa forma, o estudo dos rearranjos de drenagem configura-se não apenas como uma abordagem de relevância empírica, mas como um campo fértil para o desenvolvimento do pensamento geográfico sistêmico e para a reflexão sobre suas bases epistemológicas.

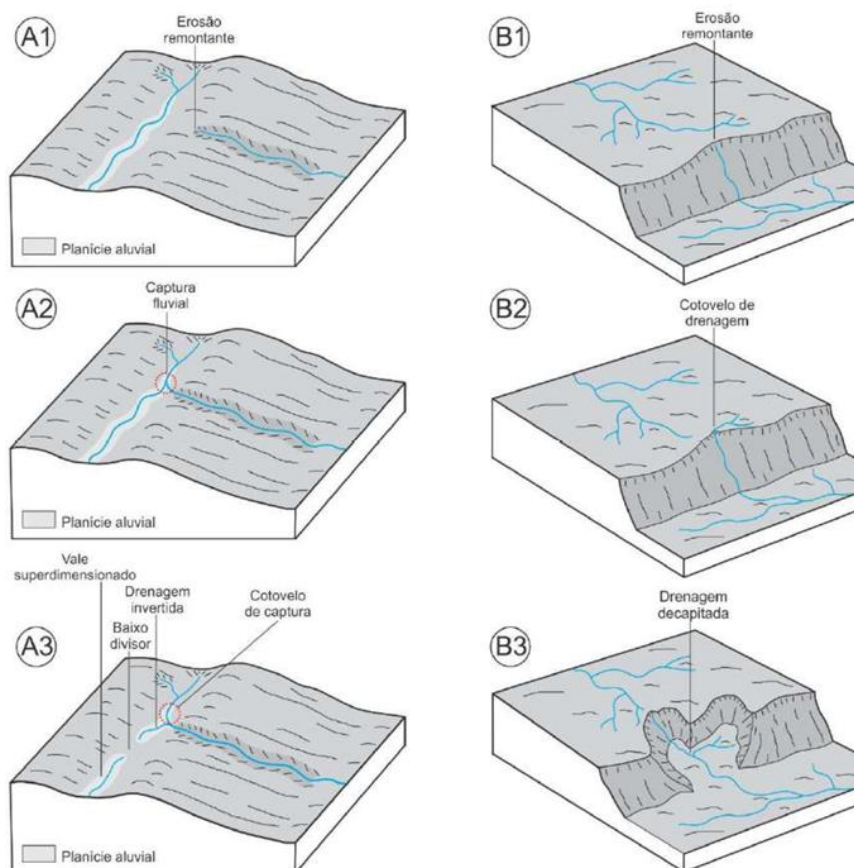
As pesquisas dentro do tema de rearranjos de drenagem são relativamente recentes, principalmente se pensadas no cenário nacional, tendo pouca força e dispersão no século XX, com alguns destaques para as obras de Ab'Saber concentradas em grandes exemplos como o caso da captura do Tietê pelo Paraíba do Sul (Ab'Saber, 2017), e outras similares. Devido a grande densidade de drenagens, e sistemas fluviais de grande vazão e dimensão do Brasil; somado a discussão dos exemplos de grande magnitude observados no país, a discussão começa a ganhar força. No entanto, ainda no século XXI, apesar da discussão fomentada nacionalmente, ainda há muito a desenvolver a respeito dos rearranjos em território nacional, o que torna o cenário para pesquisas propício (Marent et al., 2023; Salgado et al., 2019).

Os primeiros trabalhos de maior volume e destaque, se originam na região da Serra do Mar, entre os anos de 2000 e 2010. Isso porque, seu contexto morfotectônico, a sua proximidade com o mar e casos de rearranjo próximos já relatados, formaram um cenário propício para pesquisas, as quais de fato revelaram a ocorrência de processos de rearranjo a nível local, e regional (Oliveira e Queiroz Neto, 2007). Conforme os trabalhos avançam, diversos contextos geomorfológicos passam a ser investigados, incluindo diversas regiões do país nas pesquisas do tema. Se desdobram, então, estudos no norte amazônico (Nascimento et al., 2019; Salgado et al., 2021a; 2021b), no planalto central (Cherem et al., 2014), e também no semiárido nordestino (Rodrigues et al., 2022; 2023; 2024; Sordi et al., 2022).

Apesar desta diversificação, atualmente, a região da Serra da Mantiqueira se destaca na quantidade de pesquisas e exemplos envolta dos rearranjos de drenagem (Cherem et al., 2012; 2013; Rezende e Salgado, 2020; Paixão et al., 2019; 2020). Existem trabalhos nomotéticos, relativos a dinâmicas regionais (Cherem et al., 2012; 2013), e também variadas pesquisas ideográficas, se voltando mais para estudos de caso. Mesmo diante do alto número de produção, na região ainda existem muitas questões pouco desenvolvidas ou sequer levantadas, tornando propícia a continuidade de pesquisas a respeito dos processos de rearranjo e gênese e evolução do relevo.

Processos de rearranjo de drenagem se referem a reorganizações de uma drenagem, no caso, a transferência de fluxo e área entre bacias e/ou cursos d'água, em diferentes escalas espaciais e temporais. Isto impacta significativamente em mudanças ambientais, principalmente para ictiofauna, na taxa de denudação, no processo de sedimentação e outros aspectos da evolução do relevo nas áreas afetadas (Marent et al., 2023). Em suma: o processo se caracteriza pelo fato de que canais ou cursos pertencentes a uma bacia, por variados motivos, passam a pertencer a outra bacia.

Os três principais tipos ou mecanismos de rearranjo são captura fluvial, desvio ou decapitação. De modo geral, podem ser organizados em duas categorias: processos ascendentes (“de baixo pra cima”) e descendentes (“de cima para baixo”) (Bishop, 1995). Processos ascendentes são aqueles que ocasionam a interceptação direta de um canal, como o caso das capturas, e das decapitações (Figura 1), enquanto os descendentes se enquadram na migração, em grande parte das vezes lateral, de um canal. Estas migrações laterais podem ocorrer por várias razões como tectonismo e outros eventos intensos que obriguem o fluxo a encontrar outro caminho (Marent et al., 2023).



**Figura 1:** processos ascendentes de reorganização fluvial. Fonte: Marent et al., 2023

As capturas ocorrem quando um canal intercepta outro canal, desviando o curso “original”, normalmente por erosão remontante, e pode ocorrer entre canais de uma mesma bacia ou entre bacias diferentes. Nestes casos também é comum o uso do termo “pirataria fluvial” ou simplesmente pirataria. Já as decapitações, se assemelham ao processo de captura, mas ocorrem especificamente nas cabeceiras localizadas nos divisores hidrográficos, quando uma cabeceira rompe o divisor “decapitando” outra cabeceira, sendo atribuído diretamente a disputa de área por bacias (Bishop, 1995; Marent et al., 2023).

Além disso, esses processos podem desencadear ou ser desencadeados por mudanças na dinâmica das águas subterrâneas (Oliveira, 2010), as quais são sensíveis e um tanto imprevisíveis, ocasionando principalmente a migração de nascentes e alterando os processos de erosão e distribuição dos canais fluviais. As cabeceiras são peças chave para a denudação do relevo, pois pela quantidade de águas disponíveis em sua porção, e sua localização normalmente sobre altitudes mais elevadas e declives um tanto mais acentuados, tendem a ter amplo potencial erosivo (Felippe et al., 2024).

Os rearranjos podem ocasionar em mudanças nas áreas das bacias, ou somente nos canais. Os tipos de rearranjo distinguem-se entre dois grupos: entre transferência de área entre bacias, ou de área e canais. A transferência de áreas se refere a invasão progressiva de uma bacia sobre outra, sem necessariamente conservar os canais afetados, esculpindo novos canais para comportar o novo fluxo. Enquanto a transferência de áreas e canais permite que além desta incorporação de área, os canais afetados sejam preservados, tendo somente o curso desviado para a “nova” bacia (Bishop, 1995).

Ao ocorrer um processo de rearranjo, evidências morfológicas serão impressas no relevo, deixando geformas típicas (Figura 1), servindo como indicadoras para a leitura da evolução do relevo a partir da reorganização da drenagem. As principais geformas são: cotovelos de captura, paleovales, baixos divisores, knickpoints, drenagens farpadas e wind gaps (Summerfield, 1991). Relevos com maior energia e taxa de denudação tendem a apagar e dificultar a identificação das geformas. No entanto, a associação das feições, e o contexto geomorfológico, servem de apoio para uma leitura assertiva.

Cotovelos de captura são mudanças abruptas no canal de um curso, com ângulos no entorno dos 90 graus ou superiores, e indicam reajuste da direção da

drenagem. Quando uma drenagem apresenta muitos cotovelos e semelhantes, ou entram em sentidos opostos na drenagem principal, ela pode ter um padrão chamado de drenagem farpada, indicando que o processo de rearranjo afetou diversos canais de uma drenagem, ou toda ela, redirecionando os fluxos (Bishop, 1995).

O termo paleovale faz referência a vales antigos, os quais podem ainda receber algum curso associado ou não, mas como um todo, são vales incompatíveis com a “função” atual do relevo em questão. Estas geoformas podem ser vales superdimensionados, ou vales secos. Os superdimensionados são vales de tamanho incompatível com o fluxo atual do curso fluvial, apresentando uma dimensão muito grande, onde normalmente correm canais ou cursos estreitos. Enquanto os vales secos são vales abandonados, por onde é possível observar as estruturas, ao menos parcialmente, de um canal fluvial como depósitos e terraços fluviais, mas sem indícios recentes ou presente de fluxo d’água (Bishop, 1995; Rezende et al., 2018).

Os baixos divisores são trechos de um divisor hidrográfico, seja entre bacias ou internamente em uma mesma bacia, que se apresenta com pouco destaque na paisagem, pouco elevados, sendo até difícil de identificar como divisor a depender da análise. Eles são esculpidos por meio das capturas ou decapitações, e também são um tipo de paleovale (Rezende et. al, 2018), pois ocorrem a partir do momento em que um curso d’água consegue romper uma abertura no divisor, transferindo área e/ou fluxo, erodindo o trecho rompido do divisor, e muitas vezes conservando as paleoformas dos canais. Uma associação comum de encontrar nestes casos, são de cotovelos e drenagens farpadas próximas.

Já os knickpoints, são quebras abruptas no perfil longitudinal de um curso d’água. São bem visíveis pois costumam formar cachoeiras, cascatas e semelhantes, podem indicar processo de rearranjo a depender de outras geoformas associadas e do contexto da drenagem como um todo. Knickpoints indicam reajuste no nível de base hidrográfico, e demonstram que o curso ainda está erodindo o canal, principalmente se acompanhado de cursos d’água pouco entalhados e rochosos (Marent et al., 2023).

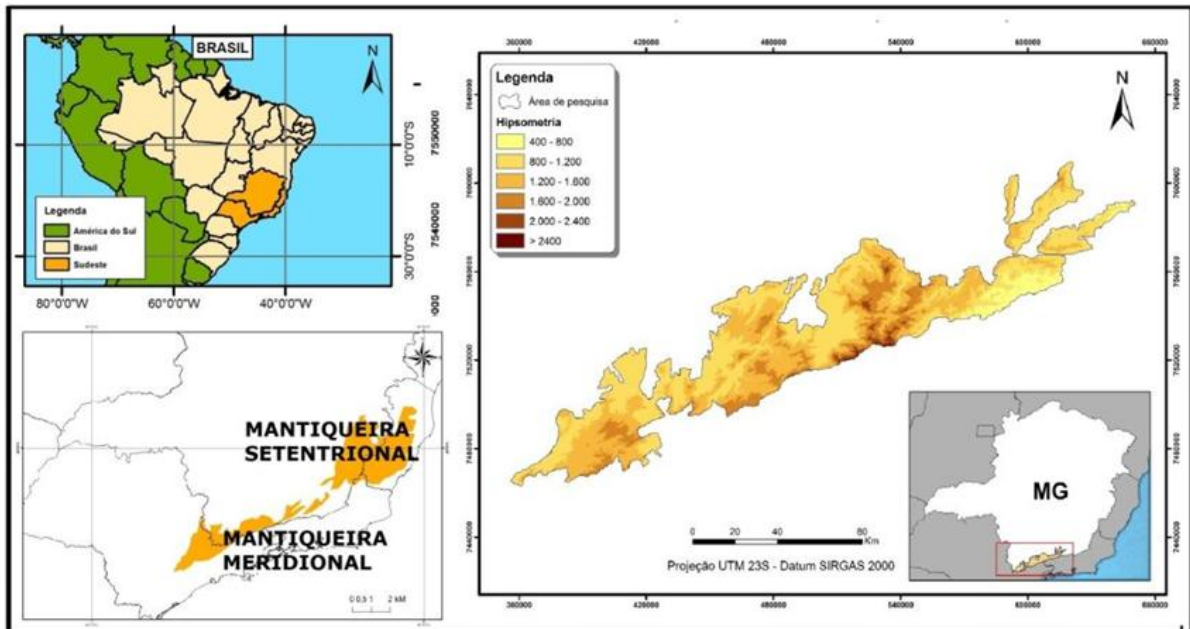
Normalmente, alguns contextos geomorfológicos favorecem mais os processos de rearranjo, principalmente as capturas, decapitações e outros mecanismos que dependem da erosão. De todo modo, eles podem ocorrer em diversos contextos, não faltando exemplos na literatura. Há ocorrência de processos de rearranjo por captura e decapitação entre bacias de perfil energético semelhante ou menor discrepância

morfométrica, em paisagens não tão movimentadas (Salgado et al., 2021; Nascimento, 2020). Há também casos onde uma bacia assume um duplo papel, de “agressora” e “vítima” a depender de seu trecho (Pai et al., 2023).

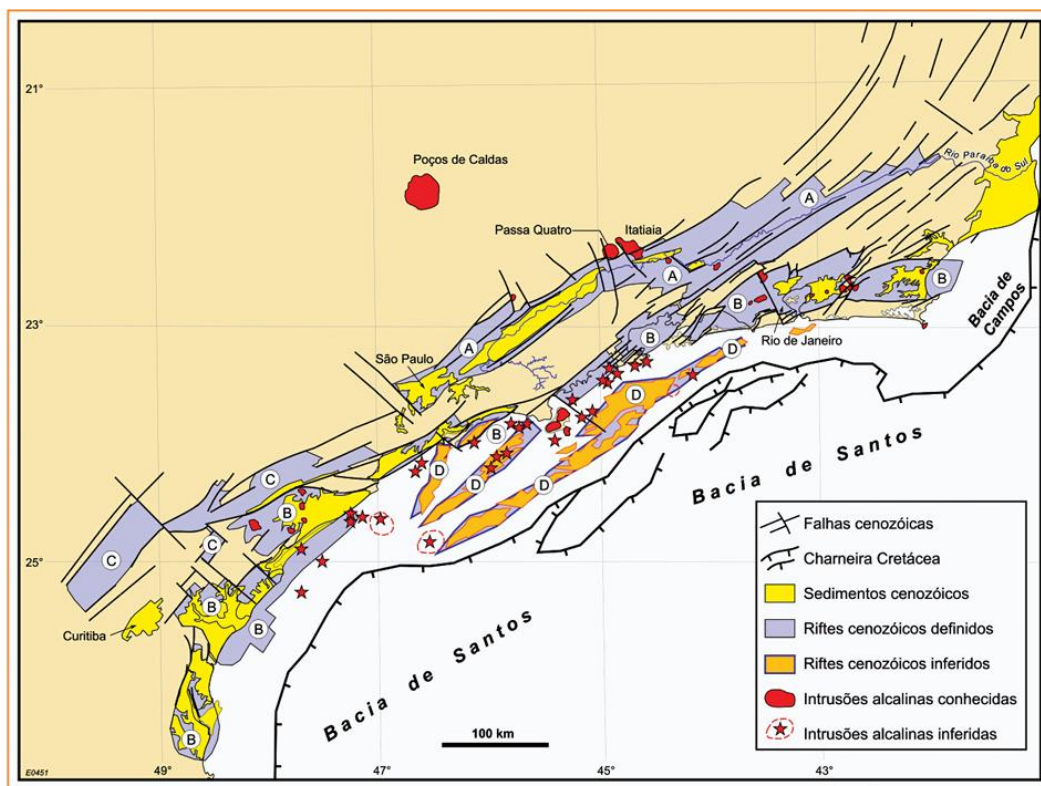
Em específico, as capturas e decapitações são ocasionados por diferenças erosivas e enérgicas entre bacias, ou seja, bacias menos “agressivas” (enérgicas), se vizinhas a bacias mais agressivas com vantagem erosiva, se tornam vulneráveis a processos de rearranjo. A ocorrência desta dinâmica depende fortemente das configurações do relevo, seja por controle estrutural ou erosivo, pois ainda que a rede de drenagem se aproveite de estruturas geológicas, isto por si só não anula, e pode até justificar, a ocorrência de uma reorganização (Bishop, 1995).

Os contextos de borda continental passiva são bem favoráveis aos rearranjos em macroescala. Isso porque normalmente, bordas passivas mediam o encontro entre bacias de interior continental, e bacias da faixa oceânica, com grande diferença enérgica (Bishop, 1995; Sordi, 2018). No caso do Brasil, boa parte de sua borda continental está sob um grande rifte, margeado por sistemas orogênicos que compõem suas ombreiras, denominando Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini et al., 2004).

O processo de rifteamento que dá origem ao atual RCSB se inicia ainda no Cretáceo, com a separação do paleocontinente Gondwana e abertura do oceano Atlântico, no evento sul atlântico. Neste momento inicial, a Serra do Mar surge como uma ombreira do grande rift, enquanto a outra fica no continente africano. Já na era cenozóica, ocorrem outros eventos geológicos que reativam parte das estruturas geológicas do grande rift no continente sul americano, mas desta vez, o processo de rifteamento se desenvolve mais a oeste, tendo a Serra do Mar como sua ombreira leste, e surgindo a Serra da Mantiqueira (Figura 2) como sua ombreira mais a oeste (Riccomini 1989; Riccomini et al., 2004). O processo não chega a ser concluído, mantendo unida ainda esta parte do continente (Figura 3).



**Figura 2:** mapa de ocorrência e setores da Serra da Mantiqueira. Fonte: Marques Neto, 2017.



**Figura 3:** ocorrência do RCB. Fonte: Zálán e Oliveira, 2005.

Os grábens foram parcialmente preenchidos por bacias sedimentares, acentuando o processo de compensação entre seu afundamento, e o soergimento das ombreiras inicialmente soergidas e delimitadas por falhas (Riccomini 1989; Zálán e Oliveira, 2005). A este conjunto de estruturas constituída pelos grabens

margeados por montanhas, originados desta sucessão de eventos, chama-se Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004).

O RCSB se caracteriza morfológicamente por ser uma depressão alongada, de aproximadamente 900 quilômetros de extensão, não se distanciando muito mais que 70 quilômetros do oceano. Longitudinalmente, se estende do Rio de Janeiro até o estado do Paraná. Sua expressão é muito visível na paisagem, principalmente na bacia de Resende e Volta Redonda na divisa de Minas Gerais e do Rio de Janeiro, no entorno das bacias hidrográficas dos rios Paraíba do Sul e Paraná (Riccomini et al., 2004).

Esta configuração geomorfológica favorece a ocorrência de processos de rearranjo, pois além da localização em borda continental, estabelece grandes diferenças enérgicas e erosivas entre as bacias (Cherem et al., 2012). Na Serra do Mar, o processo erosivo em sua face leste, voltada para o oceano, evolui de forma mais intensa do que em sua face oposta, voltada para o graben. Já na Serra da Mantiqueira, sua face voltada para o gráben é a mais intensamente erodida (Salgado et al., 2016). Apesar desta diferença entre as duas ombreiras, é fato que a instalação delas rente ao gráben garantem grande energia e diversidade enérgica a suas drenagens.

A Serra da Mantiqueira em específico, é caracterizada por sua face sudeste/leste, direcionada ao gráben, constituída de uma grande escarpa, em partes alinhada a estruturas geológicas de falhas, e em partes já sob controle erosivo (Marques Neto, 2017). Esta porção é composta por diferentes degraus altimétricos, acentuando ainda mais as diferenças e intensidade das taxas erosivas e energia entre as drenagens (Cherem et al., 2013). Já sua face noroeste/oeste, termina em um reverso que apesar de estar em grandes altitudes, tem menor movimentação no relevo. Isto garante vantagem erosiva à hidrografia que drena a face sudeste/leste da Serra da Mantiqueira, voltada para suas maiores escarpas e também para o graben. Enquanto as drenagens localizadas no reverso ficam vulneráveis ao avanço destas bacias mais “agressivas” e assim, os processos de rearranjo de drenagem ocorrem (Cherem et al., 2012).

A “recente” configuração morfotectônica da região (referida por alguns autores como eventos neotectônicos), e a quantidade de estruturas geológicas presentes na área, denotam que a rede hidrográfica ainda está se ajustando a esta movimentação. Isto é outro fator que favorece a ocorrência de processo de reorganização de

drenagem na região. Portanto, além da dinâmica de reorganização entre as bacias da escarpa e do reverso, desencadeada principalmente pela diferença de energia, os processos de rearranjo na Serra da Mantiqueira também são desencadeados por fatores litológicos e estruturais (Cruz et al., 2025).

De todo modo, as principais bacias ao longo da divisa entre Minas Gerais e Rio de Janeiro, da Serra da Mantiqueira, são as bacias do rio Paraná (que na porção da serra ainda chama-se rio Grande) localizada no reverso da serra, e a Bacia do rio Paraíba do Sul, localizada nas escarpas e no gráben. É comum em diversos trabalhos que estas bacias sejam apresentadas por meio de suas bacias de menor ordem, de suas sub bacias, como é o caso da Bacia do rio Preto, sub bacia do rio Paraíba do Sul. Como a bacia do Paraná encontra-se sobre relevo menos declivoso e enérgico, esta bacia perdeu área para a Bacia do Paraíba do Sul (Rezende e Salgado 2020).

Este é o caso do vale suspenso do rio Preto. A alta Bacia do rio Preto flui por cotas altimétricas incompatíveis com a configuração altimétrica do restante da bacia e do curso principal, correndo em altitudes muito elevadas em perfil altimétrico similar ao da bacia vizinha, do Paraná. Isto sustentou a conclusão de que esta porção da bacia foi capturada, e por isso ainda não se ajustou ao seu novo nível de base (Rezende e Salgado, 2020). Há também outros estudos demonstrando o avanço de bacias da escarpa sobre as bacias do reverso da Serra da Mantiqueira (Paixão et al., 2019), e a associação do avanço da escarpa e dos degraus escalonados da serra e a evolução da margem passiva aos processos de rearranjo de drenagem (Cherem et al., 2012; 2013).

Diante desse conjunto teórico-conceitual e do contexto geomorfológico apresentado, torna-se evidente que a análise dos rearranjos de drenagem na Serra da Mantiqueira exige uma abordagem metodológica capaz de articular diferentes escalas espaciais e temporais, bem como integrar evidências morfológicas, estruturais e hidrográficas. Considerando os rearranjos como parte constitutiva da dinâmica evolutiva do relevo — e não como eventos excepcionais ou anômalos —, sua identificação e interpretação demandam uma leitura geomorfológica sistêmica, atenta às heranças morfotectônicas e estruturais, às assimetrias energéticas entre bacias e às geoformas indicadoras impressas na paisagem.

## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise do papel dos processos de rearranjo de drenagem para a evolução do relevo da alta bacia do rio Grande, compreende dois grupos de etapas, que se distinguem entre gabinete e campo. A etapa de gabinete é constituída de análise e levantamento bibliográfico sobre os processos de rearranjo e estudos locais, geoprocessamento, sensoriamento remoto, cartografia temática para leitura geomorfológica da área, e identificação prévia das geoformas anômalas. É constituída ainda pela fase posterior ao campo: a análise dos dados. E a etapa de campo objetiva-se a reconhecer in-situ as geoformas identificadas nas etapas de gabinete, na análise da paisagem, e no levantamento de dados. Portanto, esta metodologia volta-se para a análise dedutiva dos dados morfológicos.

Em ambiente SIG, utilizando o software QGis, versão 3.34.7, foi feito um levantamento, identificação e marcação prévia das geoformas anômalas. Para isso, foi elaborado o mapa de relevo, utilizando o modelo digital fornecido pela Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), com precisão de 30 metros. Primeiro, foi organizada a camada com os dados altimétricos, em 100 classes com intervalo igual, com interpolação em método discreto, e com a opacidade em 80%, de modo que permita uma leitura altimétrica compatível com a área e os objetivos. Esta camada sobrepôs a camada de sombreamento, também extraída do mesmo modelo, o que permitiu uma melhor visualização da profundidade, orientação e feições do relevo. A sobreposição de ambas camadas permitiu uma leitura mais aproximada das geoformas e do relevo como um todo.

Sobre a camada de relevo, foi inserida em formato shapefile, a rede de drenagem extraída da base de metadados da Agência Nacional das Águas (ANA), em escala 1:25000. Somente após a inserção da camada com a hidrografia, é que foi possível fazer a leitura das geoformas e relacioná-las à dinâmica dos processos de rearranjo na área. Após isso, com as ferramentas de vetorização avançada, foi criada uma nova camada shapefile em modo de edição, para traçar o divisor hidrográfico, e outras marcações feitas manualmente, no caso as geoformas e suas distinções. As geoformas identificadas na área foram cotovelos de captura, drenagens farpadas ou truncadas, knickpoints, baixos divisores e paleovales, com destaque, para o até então suposto, vale superdimensionado do alto rio Grande.

Inicialmente, este mapa foi projetado para a etapa de campo, então foram inseridas rodovias estaduais e federais, bem como as manchas e sedes urbanas com suas respectivas identificações, para auxiliar na navegação em campo. Posteriormente, em outros usos, estas camadas foram retiradas, a fim de dar ênfase ao relevo e às geoformas e marcações.

Ainda em campo, o mapa foi inserido no aplicativo Avenza, o qual possibilitou acompanhar o trajeto e a localização em tempo real, bem como plotar fotos, marcar coordenadas de paradas, e recolher dados com maior precisão, como altitude, medir distâncias e recolher a orientação das paradas e pontos de interesse fotografados. Isto permitiu maior organização, assertividade e riqueza de informações no momento da análise de dados posterior, realizada em gabinete.

Na etapa de análise de dados pós-campo, os pontos marcados foram descarregados em ambiente SIG, e plotados com suas respectivas coordenadas como pontos de interesse. Com o auxílio do complemento Profile Tools, dados morfométricos correspondentes a perfis longitudinais, largura de vales, distâncias de nascentes e outros foram gerados, de forma a confirmar quantitativamente a caracterização das geoformas. Esta ferramenta foi utilizada principalmente para a confirmação do vale superdimensionado do rio Grande, visto que permite comparar a dimensão do canal fluvial ativo com seu vale, e até mesmo traçar comparações entre as configurações de outros canais semelhantes. O cruzamento destas informações com as fotografias e os dados recolhidos por meio do Avenza, permitiram confirmar as geoformas pré-identificadas, adquirir novas noções a seu respeito, e até mesmo identificar novas geoformas.

## **2. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A presente Dissertação foi redigida na forma de artigos e seus resultados são constituídos por dois trabalhos: um já publicado na Caderno de Geografia e outro já finalizado, mas ainda não submetido. Neste contexto, o subcapítulo 2.1 refere-se ao texto publicado na Caderno de Geografia da PUC/MG, e o subcapítulo 2.2 ao texto ainda não submetido a nenhum periódico.

### **2.1 A INFLUÊNCIA DOS REARRANJOS DE DRENAGEM PARA A EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA MANTIQUEIRA**

#### **2.1.1 Introdução**

Rearranjos de drenagem se referem a reorganização na configuração da drenagem de determinado relevo, e se caracterizam pela transferência total ou parcial de fluxo d'água entre canais e/ou bacias (Bishop, 1995). Quando há a ocorrência deste processo, são impressas na paisagem geofomas típicas, como cotovelos de captura, baixos divisores, drenagens farpadas, knickpoints e paleovales. Dois dos principais tipos de rearranjo, são as capturas fluviais e as decapitações, que evoluem por meio de erosão remontante, e são impulsionados principalmente pela diferença de energia entre bacias hidrográficas vizinhas. Neste contexto, as drenagens com maior energia tendem a avançar sobre drenagens menos enérgicas (Marent et al., 2023).

Apesar de sua extensão continental e de sua alta densidade hidrográfica, no Brasil, salvo o estudo isolado sobre a captura do Guararema (Ab'Saber, 1957), investigações sobre os rearranjos de drenagem só ganharam força a partir do início deste século (Salgado et al., 2019; Marent et al., 2023). Inicialmente, os estudos sobre rearranjo de drenagem se concentraram em pesquisas acerca de decapitações na Serra do Mar (Oliveira e Queiroz Neto, 2007). Porém, com o passar do tempo, os trabalhos foram sendo diversificados e começam a surgir investigações em várias regiões do país, como no norte amazônico (Nascimento et al., 2019; Salgado et al., 2021a; 2021b), no planalto central (Cherem et al., 2014) e na região semiárida (Rodrigues et al. 2022; 2023; 2024). Atualmente onde há maior ocorrência de investigações é na região da Serra da Mantiqueira, variando de estudos de caso até sistematizações de grandes dinâmicas envolvidas nos processos de rearranjo (Cherem et al., 2012; 2013; Paixão et al., 2019; 2020; Rezende e Salgado, 2020).

Dado o contexto morfotectônico do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, et al., 2004), composto por degraus morfológicos (escarpas) de diferentes cotas altimétricas, há significativas diferenças de energia entre as drenagens da região da Serra da Mantiqueira. Os rios que drenam a Serra da Mantiqueira e que estão voltados para o Rio Grande (Rio Paraná) tendem a ter menos energia que os rios que drenam para o degrau inferior do RCSB, sentido Rio Paraíba do Sul. Isto ocorre, pois a declividade e a amplitude do relevo é muito maior na vertente voltada para o interior do RCSB.

De fato, os fronts dos escarpamentos de margem passiva tendem a evoluir pelo recuo da escarpa em direção ao interior continental (Summerfield, 1991). No entanto,

o recuo da escarpa pode ocorrer tanto por retração lateral — sobretudo por movimentos de massa (Gomes et al., 2022) — quanto por capturas fluviais e decapitação de cabeceiras (Marent et al., 2023). O processo predominante depende, entre outros fatores, da resistência litológica do substrato da escarpa (Haag et al., 2025)

Na Serra da Mantiqueira, o recuo da escarpa em direção ao interior continental é significativo, pois as vertentes voltadas para o RCSB e que drenam para a Bacia do Rio Paraíba do Sul, apresentam taxas de denudação/erosão aproximadamente 1,5 vezes superiores do que as voltadas para o interior continental, drenadas para a Bacia do Rio Grande (Rezende et al., 2013; Salgado et al., 2016). Entretanto, ainda não está clara a importância dos processos de rearranjo de drenagem neste recuo, visto que movimentos de massa também são recorrentes na Serra da Mantiqueira (Mendes e Filho, 2015).

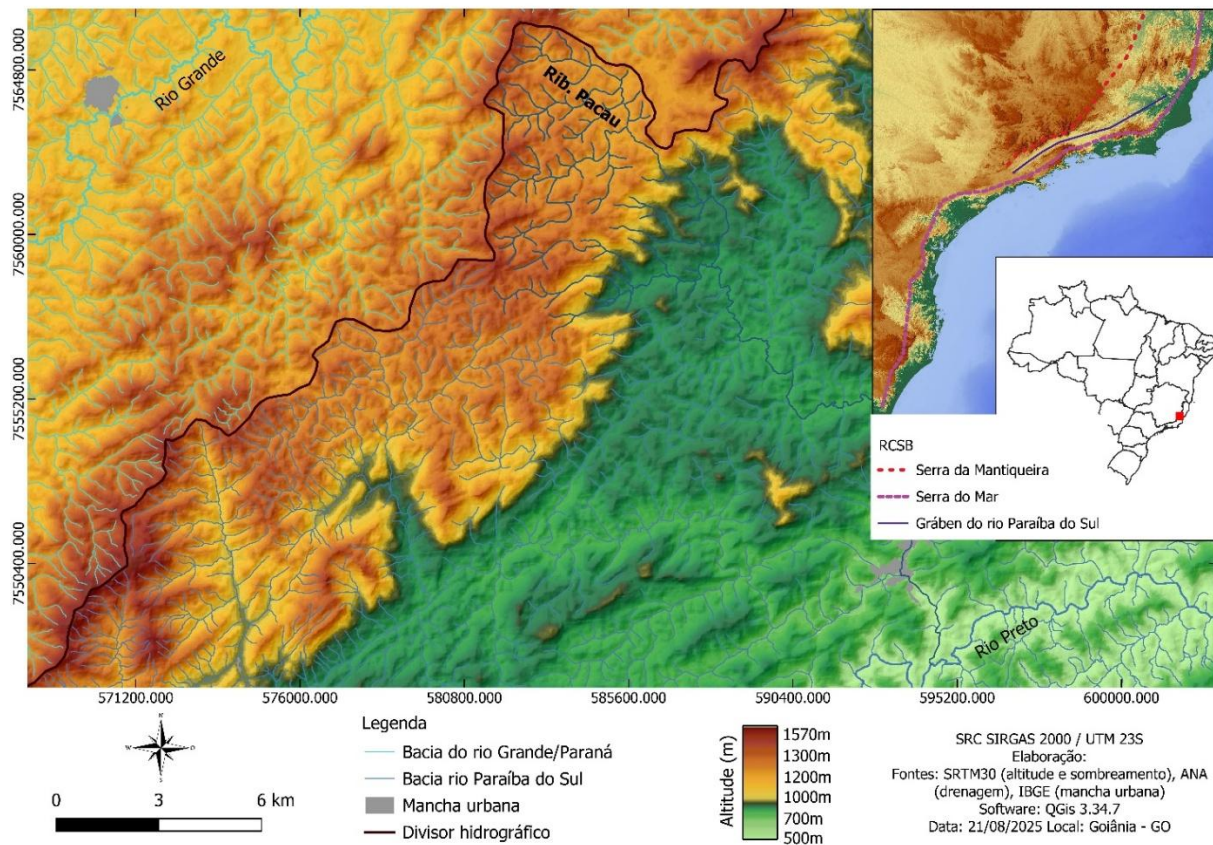
Apesar disso, há evidências sólidas de que os rearranjos de drenagem são centrais no recuo da escarpa e na evolução do relevo da Serra da Mantiqueira. Isso se apoia (1) em estudos que documentam o processo em bacias de cabeceira (Cherem et al., 2012; 2013; Salgado et al., 2012; Paixão et al., 2019) e (2) na identificação de mudanças de bacia em setores elevados da serra, que é o caso do Vale Suspenso do Rio Preto, no Parque Nacional do Itatiaia, que antes drenava para o Rio Grande e hoje verte para o Rio Paraíba do Sul (Rezende e Salgado, 2020).

Este trabalho investiga se a alta bacia do Ribeirão Pacau, afluente do Rio Preto a jusante de seu vale suspenso, também sofreu processos de rearranjo de drenagem e antes fluía em direção ao Rio Grande, confirmando assim a importância dos rearranjos na evolução do relevo da Serra da Mantiqueira. Para cumprir tal objetivo, este trabalho foi organizado em três etapas: a) geoprocessamento, sensoriamento remoto e cartografia temática como ferramentas para a identificação e seleção de geoformas típicas de captura fluvial; b) trabalho de campo para reconhecimento e validação dos dados e; c) análise dos dados aferidos nas etapas posteriores.

### **2.1.2 Área de Trabalho**

O Ribeirão Pacau e suas drenagens tributárias localizam-se na Serra da Mantiqueira, no sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais, próximo à divisa com o estado do Rio de Janeiro. A bacia do Ribeirão Pacau pertence a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, de forma mais precisa, a sub-bacia do Rio Preto, convergindo

para ela à jusante do seu trecho suspenso. A bacia de drenagem em questão se encontra em áreas elevadas, no divisor hidrográfico com a bacia do Rio Grande (Figura 1).



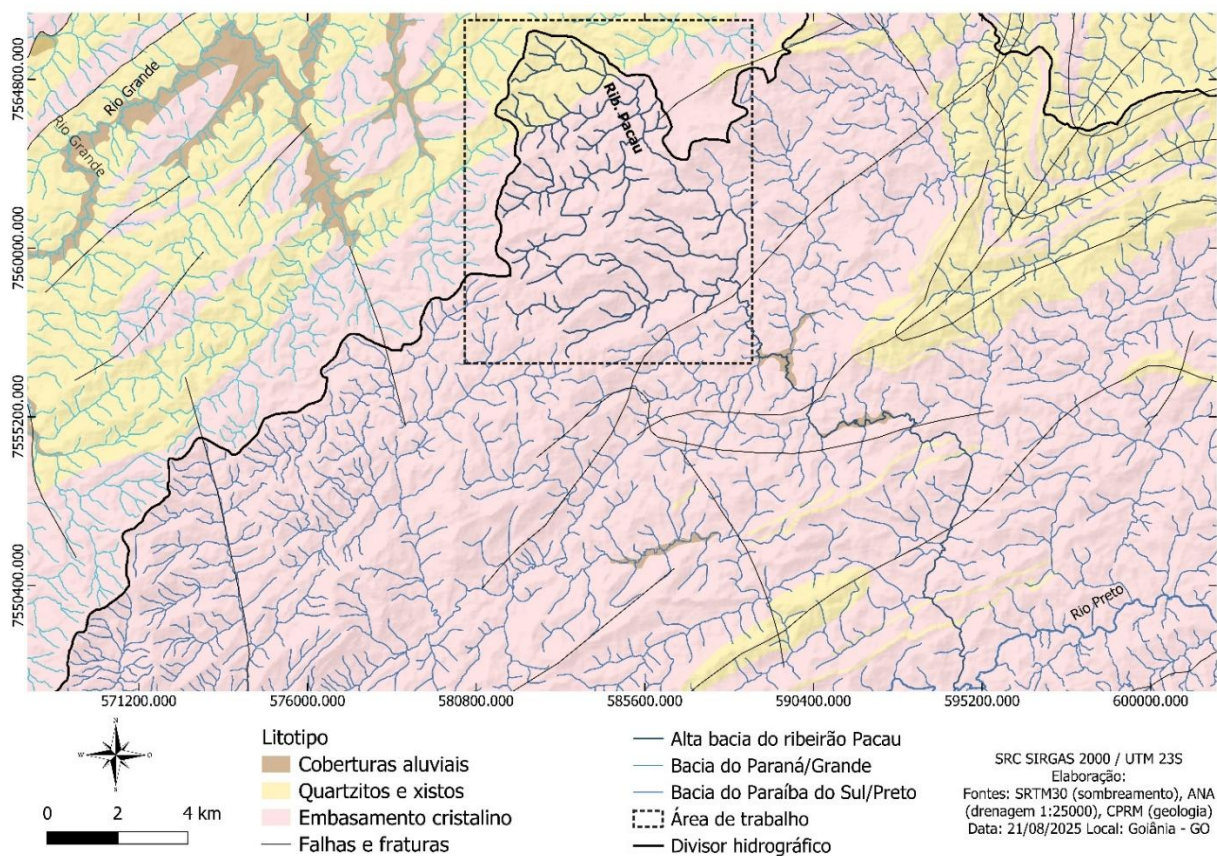
**Figura 4:** mapa de localização da área de estudo.

A Serra da Mantiqueira é o mais alto sistema orogênico brasileiro (Marques Neto, 2021) e está inserida no contexto morfotectônico do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). O RCSB é uma estrutura de idade Paleogenica, e se caracteriza pela forma de depressão alongada flanqueada por horsts. Se estende por cerca de 900 km margeando a costa brasileira, do estado do Paraná ao do Rio de Janeiro (Riccomini, 1989). O rift recebe esta denominação por amalgamar vários grabens com a mesma genética na região (Riccomini et al., 2004), relacionadas mais recentemente ao evento sul-atlantiano, e aproveitando-se, em partes, de estruturas mais antigas (Hasui, 2010).

O rift é parcialmente preenchido por bacias sedimentares, o que contribuiu para o afundamento dos grabens, resultando em uma dinâmica de compensação com os sistemas orogênicos soerguidos antes mesmo da instalação do atual rift, constituintes de suas ombreiras (Riccomini et al., 2004). Na área em questão, a Província Serra da Mantiqueira constitui a ombreira noroeste do rift, e a Serra do Mar a sudeste

(Heilbron et al., 2004). O recuo erosivo das escarpas segue paralelamente a estruturas geológicas. No entanto, não segue mais exatamente sobre a linha de falha, pois encontra-se recuado sob controle erosivo (Cherem et al., 2013).

A litologia da área de estudo é constituída, essencialmente, de rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, como granitos e gnaisses da Faixa Móvel Ribeira. Também são identificadas faixas quartzíticas e xistosas associadas a rochas meta-siliciclásticas, bem como, coberturas sedimentares neogênicas. Em termos estruturais, a área de estudo possui falhas, zonas de cisalhamento e fraturas organizadas, preferencialmente, no eixo NE-SW (Figura 2) (Heilbron et al., 2004; Paixão et al., 2020).



**Figura 5:** mapa geológico simplificado da área de estudo.

Esta região encontra-se sob o domínio de Mata Atlântica, sendo marcada por um clima Subtropical Úmido (Cwa) na escala Koppen (Brasil, 2010). O efeito orográfico do relevo contribui diretamente para a configuração climática úmida e potencializa a alta pluviosidade em boa parte do ano. Há indícios de um paleoclima mais seco e frio entre o Mioceno e o Plioceno. Seco o suficiente para que boa parte

dos sistemas de drenagem do interior do rift fossem endorreicos (Paixão et al., 2020; Freitas et al., 2022).

É importante ressaltar que devido a geomorfologia movimentada e as Unidades de Conservação da região, mantém considerável grau de conservação, tornando a Serra da Mantiqueira uma das principais áreas de remanescente de Mata Atlântica, sendo uma região de altíssimo valor ecológico. A vegetação se organiza em fitofisionomias variadas, desde florestas ombrófilas e semidecíduais até campos de altitude nas porções mais elevadas do relevo, relevo este que determina algumas formações endêmicas (Marques Neto, 2021; Brasil, 2010).

As nascentes que alimentam a alta Bacia do Ribeirão Pacau, partem de altitudes médias de 1.400 metros. Os cursos fluviais correm por terrenos elevados, em média de 1.200 metros, até um declive abrupto de cerca de 100 metros. Este declive marca a Cachoeira do Pacau, ponto turístico da região, no limite entre os municípios de Bom Jardim de Minas e Santa Rita do Jacutinga, coincidindo com a escarpa da serra. A partir deste ponto, o curso recebe o nome de Ribeirão da Jacutinga, correndo em cotas altimétricas predominantemente situadas nas faixas dos 800 aos 600 metros. Após passar pelo perímetro urbano de Santa Rita do Jacutinga, o curso é denominado Rio Bananal, e deságua no Rio Preto a cerca de 500 metros de altitude (Figura 1). No entanto, o curso principal do Ribeirão Pacau não é o único a descer a escarpa. Alguns de seus afluentes possuem nascentes acima dos 1.200 metros, atravessam knickpoints destacados e deságuam no Ribeirão Pacau abaixo de sua principal cachoeira (figuras 1 e 2).

O relevo regional reflete as características da rede de drenagem. Na porção a montante da Cachoeira do Pacau prevalece um planalto dissecado entrecortado por alguns pontões graníticos. A cachoeira marca uma extensa e íngreme escarpa onde os afloramentos rochosos são comuns. A parte inferior da bacia encontra-se em terreno fortemente ondulado, que decresce em altitude até as proximidades do Rio Preto, que em suas margens construiu uma pequena várzea. Em mapeamentos de menor detalhe, os solos observados na região são predominantemente cambissolos, com associações de latossolos em manchas menores, menos recorrentes e com menor declive. A predominância de cambissolos reflete a alta declividade que impede o desenvolvimento mais profundo dos solos (Rezende, 2013).

### **2.1.3 Materiais e Métodos**

A análise dos processos de rearranjo de drenagem na alta Bacia do Ribeirão Pacau teve início com sensoriamento remoto (imagens SRTM 30) para o reconhecimento de geformas anômalas, potencialmente indicativas de rearranjos de drenagem, à exemplo de cotovelos de drenagem, baixos divisores, e paleovales (Bishop, 1995; Marent et al., 2023). As geformas foram mapeadas em ambiente SIG, utilizando o software QGis versão 3.34.7. O mapa do relevo foi elaborado utilizando o modelo digital gerado pela SRTM com precisão de 30 metros. A elaboração sobrepôs à camada de sombreamento em configuração padrão, com a camada de altitude em opacidade 80%. As classes altimétricas foram classificadas e divididas em 100 classes, com a interpolação em método discreto, e em modo de intervalo igual.

Após a elaboração da base de relevo, foi inserido o shapefile da rede de drenagem. Os arquivos utilizados foram extraídos da base de dados da Agência Nacional das Águas (ANA), referente a drenagem da Bacia do Rio Grande, e do Rio Paraíba do Sul. Ambos os arquivos estão disponíveis em escala de semidetalhe (1:25.000). Esta sobreposição da rede de drenagem com o relevo permitiu identificar as geformas anômalas, possivelmente relacionadas aos processos de rearranjo. Também foram inseridas estruturas geológicas em escala de reconhecimento a fim de identificar influências estruturais na gênese destas geformas, bem como sua influência nos processos de rearranjo.

O trabalho de campo foi orientado no sentido de visitar as geformas selecionadas como anômalas e típicas de rearranjo de drenagem. Com os dados coletados em campo, foi confirmada a presença das geformas, além da descoberta de outras, identificadas na leitura da paisagem. O banco de dados foi construído com o auxílio do aplicativo Avenza, que permitiu navegação por GPS no campo sobre o mapa de análise em tempo real, e documentar as fotografias e outras anotações com coordenadas, altitude, orientação e outras informações geográficas.

Posterior ao trabalho de campo, os dados foram tratados. Perfis topográficos e a metrificação de algumas geformas, como os vales superdimensionados e os baixos divisores, por exemplo, foram tratados utilizando o complemento Profile Tool para Qgis, para comparação e análise de parâmetros morfométricos. Para constatação morfométrica dos vales superdimensionados por exemplo, foram medidos outros canais de mesmas dimensões, ordem e perfil altimétrico a título de comparação.

Por fim, optou-se por não empregar nesta pesquisa nem modelagem numérica, nem proxies (indicadores indiretos). Embora eles estejam em voga, as feições morfológicas diagnósticas observadas por sensoriamento remoto e confirmadas em campo, em conjunto com registros sedimentares, constituem as evidências mais confiáveis para inferir a ocorrência de rearranjos de drenagem. Além disso, tais modelos só são adequados para explorar tendências presentes e futuras de migração de divisores, não devendo ser usados para reconstituir eventos pretéritos (Forte e Whipple, 2018; Pai et al., 2023). O uso acrítico de modelagem e de esquemas teóricos pode afastar a análise da realidade observada e, mesmo quando bem empregados, não substituem a evidência empírica — apenas a complementam (Popper, 1983; Salgado e Salgado, 2020). Quanto aos registros sedimentares, não foi possível investigá-los porque os baixos divisores da área foram cortados e aterrados para a implantação da rodovia, comprometendo sua leitura estratigráfica.

#### **2.1.4 Resultados e Discussões**

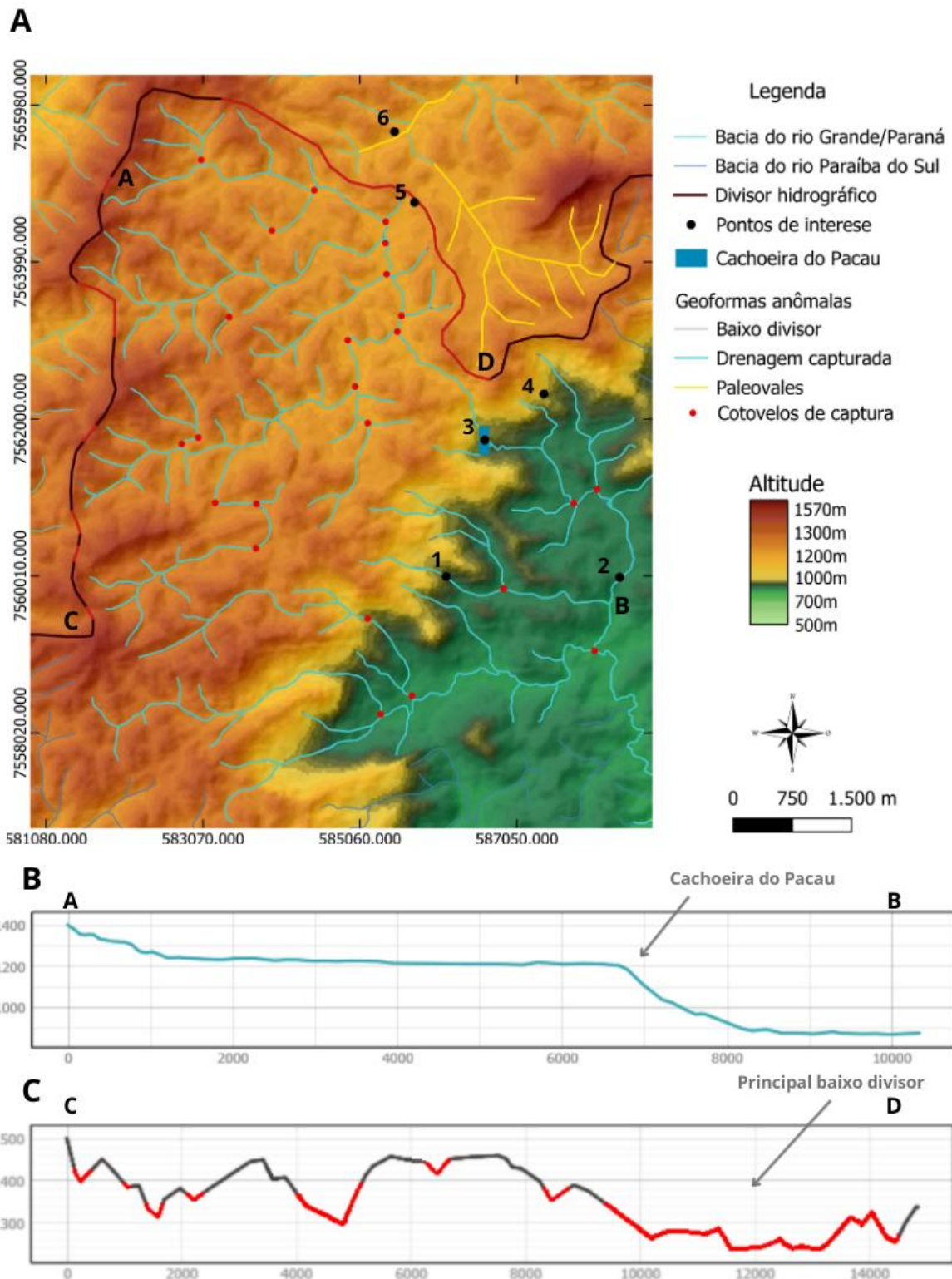
Para além da topografia, a primeira evidência da existência de sensível diferença de energia entre a Bacia do Ribeirão Pacau e a do Rio Grande, está no fato da preservação das coberturas aluvionares ser muito maior na bacia que drena em direção ao interior continental (Figura 2). Isto indica que provavelmente há mais energia nos canais fluviais que drenam em direção ao Rio Paraíba do Sul, interpretação que é reforçada pelos trabalhos que já mensuraram as taxas erosivas e denudacionais em outras porções deste divisor (Cherem et al., 2012, 2013; Rezende et al., 2013; Salgado et al., 2016).

Em paralelo, foram encontradas na área de trabalho diversas geformas típicas de processo de rearranjo de drenagem, estando todas elas associadas entre si. Na face da Serra da Mantiqueira drenada pela Bacia do Rio Grande, foram encontrados principalmente alguns vales secos e um vale superdimensionado (Figura 3A). Já ao longo do divisor hidrográfico foram identificados extensos e numerosos trechos de baixo divisor, geralmente localizados nas cabeceiras dos vales secos e do superdimensionado (figuras 3B, 4A e 5). Estes baixos divisores possuem altitude em torno dos 1.250 metros, enquanto o restante do divisor hidrográfico na região está em uma altitude que circula entre os 1.350 e os 1.600 metros. Em alguns casos o divisor hidrográfico é tão suave na paisagem que se assemelha muito mais a um vale que a

um divisor (Figura 5). Isto tanto é verdade que, parcialmente, esses divisores/vales secos foram utilizados para a passagem da estrada rodoviária que conecta as duas faces da Serra da Mantiqueira. Como dito anteriormente, a construção da estrada ao longo do baixo divisor e aproveitando os vales secos, não permitiu a pesquisa de sedimentos fluviais nos trechos mais interessantes para procura deste tipo de registro.



**Figura 6:** A: Vale superdimensionado muito próximo a sua nascente (Ponto de interesse 6 na Figura 4A). B: Baixo divisor nas cabeceiras do vale superdimensionado (ponto de interesse 5 na Figura 4A).



**Figura 7:** Área com geomorfias típicas de captura fluviais e perfis topográficos do Ribeirão Pacau e do divisor hidrográfico. A: mapa topográfico com as geomorfias e pontos de interesse plotados; B: perfil longitudinal do Ribeirão Pacau, desde sua nascente até alguns metros após a cachoeira; C: perfil altimétrico do divisor hidrográfico das bacias do Paraíba do Sul e do Grande na área de trabalho, com os trechos de baixo divisor destacados.



**Figura 8:** Foto tirada exatamente sobre o anômalo baixo divisor entre as bacias hidrográficas dos Rios Grande e Paraíba do Sul no alto da Serra da Mantiqueira (ponto 5 da Figura 3). Nota-se que o divisor se assemelha a um paleovale e graças a essa característica é aproveitado como percurso para a rodovia.

No que concerne às geformas existentes na face voltada para a Bacia do Rio Paraíba do Sul (Figura 6C), a presença de cachoeiras e corredeiras (Figura 6B) denota uma área de knickzone. Estas zonas indicam um processo relativamente recente de ajuste de nível de base, principalmente quando ocorrem associadas a outras geformas anômalas como os baixos divisores e paleovales (Bishop, 1995; Marent et.al, 2023). Neste contexto, ressalta-se a cachoeira do Pacau (Figura 6A), a cerca de 6 quilômetros de distância de sua nascente, coincidindo com a escarpa da serra, que marca uma ruptura no perfil longitudinal do ribeirão (figuras 4A (Ponto de interesse 3) e 4B). Após este ponto, o Ribeirão Pacau continua a correr sobre leito rochoso (Figura 6D), com corredeiras e quedas d'água de menor dimensão ao longo de todo o seu curso, mesmo em altitudes menos elevadas, comportamento replicado também por alguns afluentes. Isto confirma uma drenagem energética e a existência da knickzone (figuras 4A e 6B).

Entretanto, a geforma anômala mais recorrente na alta Bacia do Ribeirão Pacau são os cotovelos de captura. Todos com aproximadamente 90° e localizados nas confluências entre os tributários e o Ribeirão Pacau que, ele mesmo, também possui um pronunciado cotovelo em seu alto curso (Figura 4A). Chama atenção ainda na Figura 4A o fato de que, na ausência destes cotovelos, parte destes cursos fluviais

se direcionariam rumo aos baixos divisores e aos vales secos ou superdimensionado localizados já na Bacia do Rio Grande (figuras 3 e 4).



**Figura 9:** A: Cachoeira do Pacau (ponto 3 da Figura 4); B: Cachoeira pronunciada de afluente do Ribeirão Pacau que deságua nele à jusante da Cachoeira do Pacau, (ponto 1 da Figura 4); C: Foto tirada na parte superior da escarpa no ponto 4 da Figura 4, visando o sentido sudeste, mirando o gráben do Paraíba do Sul e destacando o vale do Ribeirão Pacau à jusante de sua principal cachoeira; D: corredeira localizada a jusante da Cachoeira do Pacau, ilustrando a alta energia de toda a rede de drenagem (ponto 2 da Figura 4).

A presença destas geoformas associadas entre si: (a) knickzone; (b) cotovelos de drenagem; (c) baixos divisores e vales secos ou superdimensionado (figuras 3, 4, 5 e 6), principalmente pensadas no contexto geomorfológico da região, reforça a hipótese de toda a alta Bacia do Ribeirão Pacau ter sua gênese associada a um processo de sucessivas capturas fluviais. Logo, a explicação mais provável para a atual configuração geomorfológica é a de várias capturas fluviais provocadas pelo Ribeirão Pacau sobre suas drenagens tributárias em um processo de “baixo para cima” (Bishop, 1995). Neste processo o recuo erosivo de uma paleocabeceira do antigo Ribeirão Pacau interceptou em sequência, um a um, cursos fluviais que

seguiram em direção a bacia do Rio Grande, e atravessavam os atuais baixos divisores para fluir pelos atuais vales secos ou superdimensionados (Figura 7).

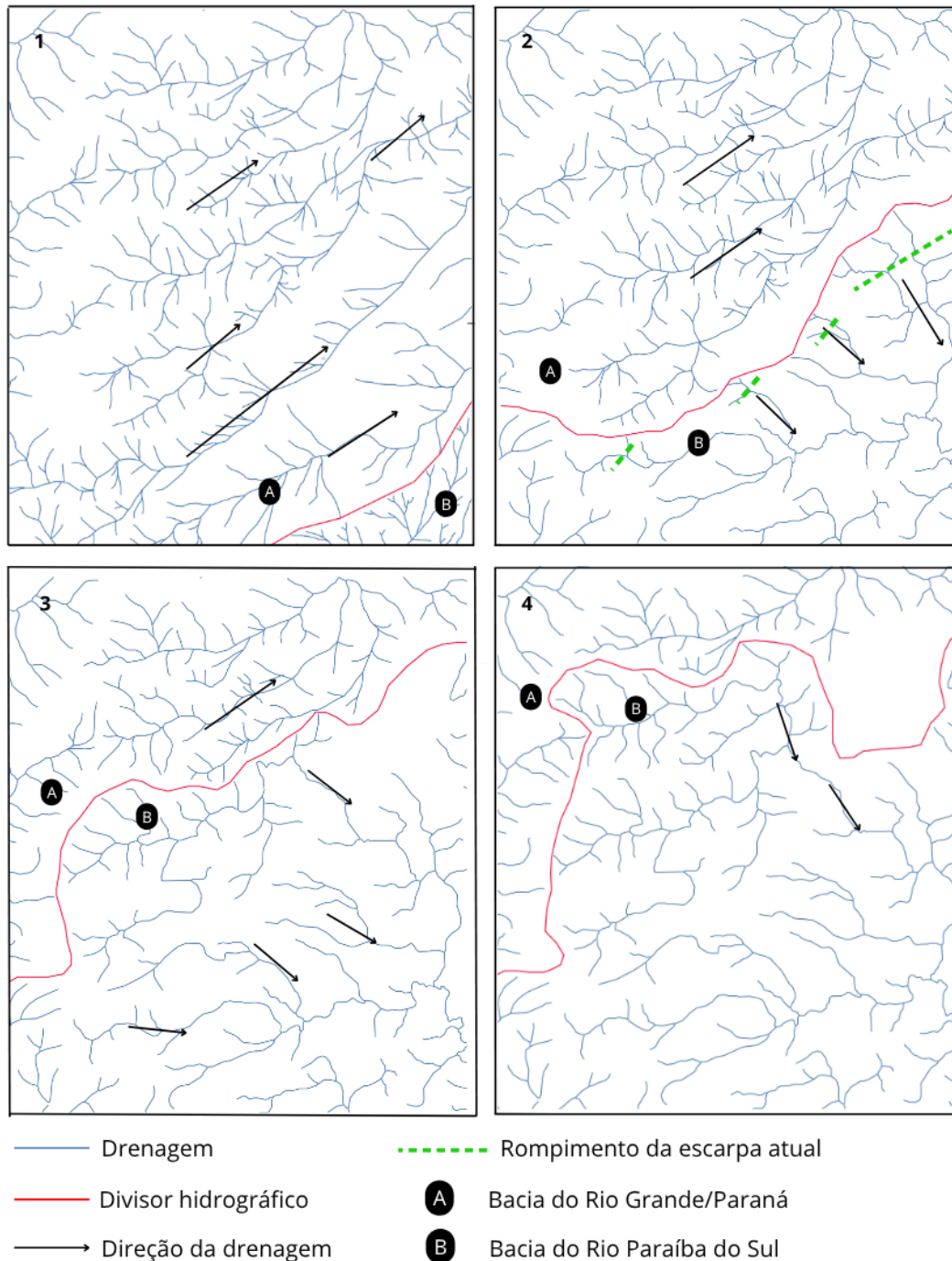
Este processo de sucessivas e progressivas capturas fluviais é o que melhor, senão o único, que pode explicar a associação entre os cotovelos, os baixos divisores e os paleovales (figuras 3, 4 e 5) existentes em um divisor hidrográfico que em uma face pode ser considerado uma knickzone (figuras 4 e 6) e em outra uma área de relativa baixa energia, capaz de acumular extensas coberturas aluvionares (Figura 2).

Deste modo, a hipótese mais provável é a de que um antigo ribeirão afluente do Rio Preto com sua nascente encaixada na escarpa e, conseqüentemente com maior energia e taxa erosiva (Paixão et al., 2019), foi recuando sua cabeceira até interceptar os outros cursos localizados no reverso e que drenavam em direção ao Rio Grande (Figura 7). Desse modo, as drenagens interceptadas ganharam mais energia, e passaram a replicar o processo de captura, e provavelmente, também de decapitação. Sendo assim, a Bacia do Rio Paraíba do Sul, através de pequenos canais de sua bacia afluente, a do Rio Preto, captura áreas da Bacia do Rio Grande, recuando pouco a pouco a escarpa da Serra da Mantiqueira para o interior continental.

Ressalta-se que Marques Neto (2017) observa que o poder erosivo das drenagens da Bacia do Rio Preto é grande, devido ao rebaixamento do relevo em pleno horst, de forma que um rebordo erosivo distinto do restante da Serra da Mantiqueira é formado em sua porção nordeste. De fato, mesmo sob as mesmas influências litológicas, esta porção da escarpa encontra-se mais desgastada e rebaixada. Observando as figuras 1, 2 e 4, é possível notar que a área de trabalho é como uma reentrância, que destoa do posicionamento do restante do divisor hidrográfico, projetando-se em maior área rumo a Bacia do Rio Grande. Esta reentrância do divisor hidrográfico não pode ser explicada pela litoestrutura, mesmo porque atinge áreas quartzíticas e quartzo-xistosas de maior resistência (Figura 2). Logo, estes fatos reforçam que processos de rearranjo estão ocorrendo na área, como uma resposta do relevo à diferença de nível de base e energia entre as bacias dos rios Grande e Paraíba do Sul.

Estes resultados corroboram com a hipótese de Paixão et al. (2020), que considera que a atual configuração da calha do Rio Paraíba do Sul é resultando de consecutivos processos de captura fluvial. Isso devido a um pulso erosivo que atingiu o planalto da Serra da Mantiqueira a partir de sua porção norte, inicialmente, e foi se

replicando ao sul. Isto também explicaria o motivo pelo qual o vale suspenso do Rio Preto (Rezende e Salgado, 2020) ainda é uma feição tão nítida e de tamanha dimensão, enquanto as geformas e outros indicativos localizados mais a jusante são mais sutis (apesar de numerosos).



**Figura 10:** Modelo evolutivo simplificado para a alta Bacia do Ribeirão Pacau. A configuração mais antiga é representada pelo mapa 1 e a configuração atual pelo mapa 4.

Sendo assim, a bacia do Paraíba do Sul ganha maior extensão e volume de água com esse processo, enquanto a bacia vizinha perde. Dessa forma, as drenagens

que antes corriam para a bacia do Rio Grande, deixam na paisagem os baixos divisores, os paleovales e os cotovelos, geoformas que indicam que ocorreram rearranjos de drenagem. Enquanto isso, na bacia do Rio Paraíba do Sul, em um primeiro momento, as cachoeiras, corredeiras e os cursos estreitos e rochosos caracterizam a tentativa de equilíbrio da drenagem a uma maior quantidade de água e a um novo nível de base. Porém, ao longo do tempo, a alta energia do sistema fluvial capturado desgasta o relevo, rebaixando-o até o nível da bacia captora. Como consequência, as geoformas que evidenciavam as capturas são progressivamente obliteradas e a escarpa recua para o interior (Cherem et al., 2012, 2013).

Deste modo, e considerando trabalhos anteriores (Rezende e Salgado, 2020), é possível imaginar que, em tempos passados, toda a bacia hidrográfica do Rio Preto escoava em direção à do Rio Grande e que o escarpamento da Serra da Mantiqueira localizava-se em posição bem menos recuada que a atual. Isto significa que os rearranjos de drenagem devem ser considerados como sendo um dos elementos essenciais para a compreensão da evolução geomorfológica e ambiental de toda a Serra da Mantiqueira.

Por fim, em margens passivas, o recuo de escarpas é preferencialmente por retração lateral quando o arcabouço é frágil e por capturas fluviais quando o substrato é resistente (Haag et al., 2025). Considerando: (1) a dominância de granitos e gnaisses na Mantiqueira; (2) a ocorrência documentada de capturas em outros trechos (Cherem et al., 2012, 2013; Salgado et al., 2012; Paixão et al., 2019; Rezende & Salgado, 2020); e (3) os achados desta pesquisa; infere-se que rearranjos de drenagem são mecanismo-chave na evolução do relevo da Serra da Mantiqueira.

### **2.1.5 Conclusões**

Devido à grande movimentação e energia do relevo regional, associado ao clima com alta umidade e pluviosidade, evidências morfológicas de rearranjo com boa conservação tendem a ser escassas. No entanto, na alta Bacia do Ribeirão Pacau elas estão presentes em profusão e logicamente associadas entre si, o que indica que esta área foi recentemente capturada. A variedade de cotovelos de drenagem associados a baixos divisores e a paleovales, bem como os knickpoints e os leitos rochosos, constituem um conjunto de fortes indícios de que toda a alta Bacia do Ribeirão Pacau drenava em direção ao Rio Grande e que, em passado recente,

provavelmente no Quaternário, foi capturada pela Bacia do Rio Preto, drenando atualmente para a Bacia do Rio Paraíba do Sul. Sendo assim, este estudo de caso, analisado em conjunto com investigações já realizadas ao longo da Serra da Mantiqueira e à luz do estado da arte sobre o recuo de escarpas em margens passivas, indica que os rearranjos de drenagem não são um processo geomorfológico acessório na Serra da Mantiqueira, mas um mecanismo-chave da sua evolução.

## **2.2 O PAPEL DOS REARRANJOS DE DRENAGEM PARA A EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ALTA BACIA DO RIO GRANDE (ALTA BACIA DO RIO PARANÁ) NA SERRA DA MANTIQUEIRA-MG**

### **2.2.1 Introdução**

Os processos de rearranjo de drenagem referem-se a reorganizações fluviais que ocorrem por meio da transferência total ou parcial de fluxo entre canais ou bacias de drenagem adjacentes (Bishop, 1995). A ocorrência desses rearranjos promove mudanças profundas e significativas nas bacias afetadas, incluindo variações nas taxas de denudação, na dinâmica de erosão e sedimentação e em alterações ecológicas, principalmente na ictiofauna (Bishop, 1995; Salgado e Salgado, 2020; Marent et al., 2023; Cassemiro et al., 2025), e, mais recentemente, têm sido exploradas inclusive alterações no equilíbrio e na compensação isostática (Haag et al., 2025).

A Serra da Mantiqueira destaca-se por sua relevância ambiental e geomorfológica e por constituir um importante corredor de conservação da Mata Atlântica, com elevado grau de endemismo e notável diversidade de geoformas e de geopatrimônio. O nome 'Mantiqueira', de origem tupi, refere-se à sua riqueza hidrográfica e, de fato, a serra abriga diversas cabeceiras de drenagem, com destaque para a do Rio Paraná, regionalmente conhecida como Rio Grande (Brasil, 2010; Marques Neto, 2024).

Inserida no Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), a Serra da Mantiqueira constitui sua ombreira ocidental, enquanto a Serra do Mar constitui a ombreira oriental (Riccomini, 1989). O RCSB é organizado em diferentes níveis topográficos escalonados e cria contrastes energéticos que favorecem a ocorrência de capturas fluviais e de decapitação fluvial por erosão remontante (Cherem et al., 2013). Tais condições são responsáveis pela ampla ocorrência de processos de rearranjo de drenagem na região (Paixão et al., 2019; Salgado et al., 2019; Rezende e Salgado,

2020; Oliveira et al., 2025), o que enfatiza a necessidade de investigar o papel dos processos de rearranjo de drenagem na evolução do relevo da Serra da Mantiqueira.

Em suas porções mais elevadas, parcialmente inseridas no Parque Nacional do Itatiaia, ocorre um tríplice divisor hidrográfico que delimita as bacias do Rio Grande, do Rio Aiuruoca — cabeceiras do Paraná — e do Rio Preto, sub bacia do Rio Paraíba do Sul. Nessa área são observadas anomalias morfológicas indicativas de reorganização fluvial, sugerindo interação entre as três cabeceiras. Apesar da recorrência de estudos sobre rearranjos de drenagem na região, ainda são escassas as investigações que abordam especificamente os processos atuantes no interior da área de cabeceiras do Rio Grande, particularmente no setor onde se estabelece o tríplice divisor e um vale superdimensionado muito expressivo (Rezende, 2013).

Portanto, este trabalho tem como objetivo investigar a ocorrência e o papel dos processos de rearranjo de drenagem na evolução do relevo na região do tríplice divisor hidrográfico, investigando a gênese das anomalias identificadas, e os condicionantes estruturais e topográficos associados. Dessa forma, busca-se avaliar de que modo se dão os processos de rearranjos de drenagem na área de estudo, e como eles contribuem para a compreensão da evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira.

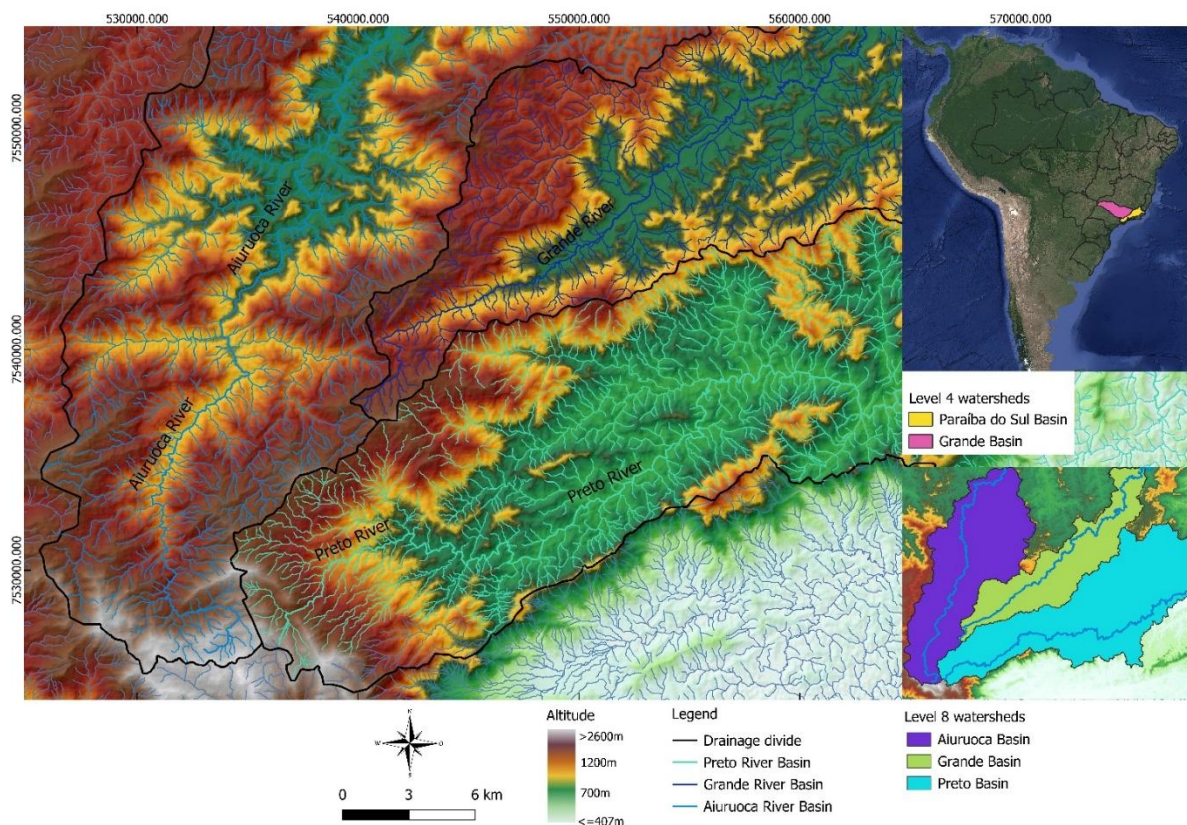
### **2.2.2 Área de Estudo**

A área de estudo abrange as altimetrias mais elevadas da Serra da Mantiqueira, entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (majoritariamente MG) estendendo-se desde o Parque Nacional do Itatiaia até os municípios de Bom Jardim de Minas (MG) e Santa Rita do Jacutinga (MG), a nordeste. As altitudes na área de estudo variam de aproximadamente 1.000 m a quase 3.000 m no Pico das Agulhas Negras.

Esse setor da Serra da Mantiqueira também compreende um importante divisor hidrográfico, pois separa a bacia do Rio Paraíba do Sul, que drena em direção ao interior do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) por meio de sua subbacia, o bacia do Rio Preto, da bacia do Paraná por meio de suas subbacias do Rio Grande e Rio Aiuruoca, que escoam para noroeste/oeste em direção ao Planalto Sudeste Brasileiro (Figura 8). A diferença altimétrica entre as duas bacias hidrográficas é notável, uma vez que a bacia do Paraíba do Sul drena localmente superfícies que se

encontram, em alguns trechos, abaixo de 400 m de altitude no assoalho do graben, enquanto a bacia do Rio Grande/Paraná, regionalmente, situa-se quase inteiramente acima de 1.000 m de altitude.

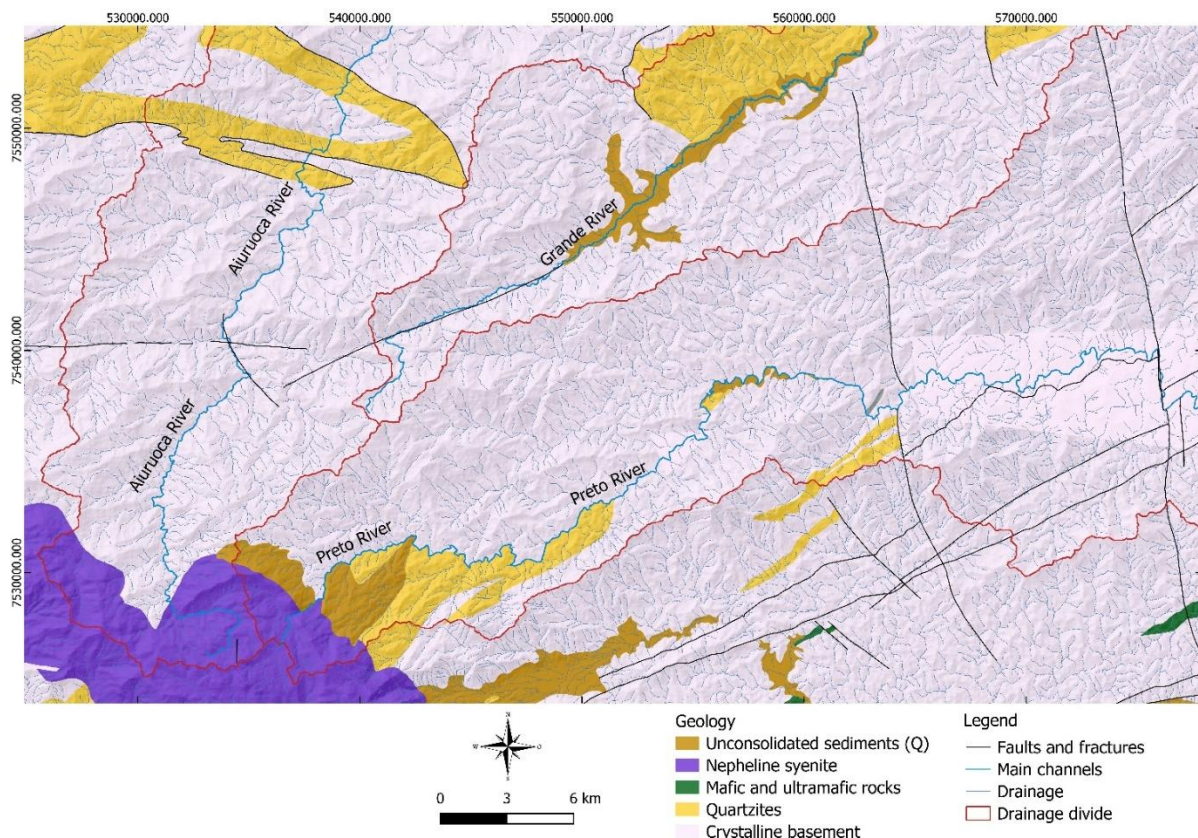
De modo geral, o relevo da bacia do Paraíba do Sul é mais íngreme do que o relevo da bacia do Paraná, devido esta fluir em partes sobre as escarpas dos patamares da Serra da Mantiqueira. Essa diferença seria ainda mais pronunciada se o alto curso do Rio Preto, não tivesse capturado terras altas que anteriormente pertenciam à bacia do Rio Grande (Rezende e Salgado, 2020). Essa captura atenuou o contraste altimétrico das escarpas, pois criou um vale suspenso — em uma altitude intermediária — entre as terras mais elevadas da Mantiqueira na área de estudo.



**Figura 11:** Mapa topográfico e de localização da área de estudo.

Em função dos intensos movimentos tectônicos ocorridos principalmente durante a orogenia Brasileira e o Cenozoico, a região apresenta numerosas falhas e fraturas, predominantemente orientadas na direção NE–SW (Cruz et al., 2025). Essas estruturas também se associam a outras orientações, resultantes de reativações sob diferentes regimes de tensões relacionados à formação do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, 1989). As litologias estão majoritariamente relacionadas ao escudo cristalino, sendo geralmente compostas por granitos,

gnaisse e xistos, que sustentam os planaltos, escarpas e as formas de relevo escalonadas (Figura 8). Entretanto, algumas cristas e cimos de maior altitude (acima de aproximadamente 1.300 m), assim como suas encostas, são sustentados por rochas quartzíticas, localmente associadas a sienitos e nefelina sienitos em altitudes superiores a 2.000 m. Nas áreas mais baixas, situadas no interior do graben, afloram porções metamórficas mais rebaixadas de gnaisse e rochas semelhantes, bem como depósitos sedimentares (argilitos e siltitos) e materiais colúviais e aluviais inconsolidados em torno dos cursos d'água de maior dimensão (Figura 9).



**Figura 12:** Mapa geológico simplificado da área de estudo.

O clima regional é classificado como Tropical de Altitude (Cwb), sendo fortemente influenciado pela geomorfologia local e pelas massas de ar úmidas de origem atlântica, que promovem chuvas orográficas e um regime pluviométrico mais elevado nas escarpas voltadas para o oceano — a vertente do Rio Paraíba do Sul. A vegetação típica é a Mata Atlântica, intercalada por formações de menor porte, como os campos de altitude, em função do relevo e do substrato rochoso. Diante do bom estado de conservação da vegetação original, a Serra da Mantiqueira constitui atualmente um corredor ecológico prioritário para a conservação dos remanescentes

da Mata Atlântica e apresenta elevado grau de endemismo e valor ecológico, configuração esta que está estreitamente relacionada à sua geomorfologia (Marques Neto, 2017).

### **2.2.3. Materiais e Métodos**

A metodologia deste estudo baseou-se principalmente na análise morfológica, por meio do reconhecimento geoformas indicativas de rearranjo de drenagem, tais como cotovelos fluviais, baixos divisores e paleovales. Considerando que raramente depósitos sedimentares fluviais ficam preservados em baixos divisores, a identificação destas geoformas acaba se tornando o método clássico para o reconhecimento de antigos rearranjos (Bishop, 1995; Clark et al., 2004; Harbor and Gunnell, 2007). Método mais confiável do que os índices morfométricos como, não confiáveis ao reconstruir o passado (Whipple et al., 2017; Forte and Whipple, 2018), e podendo conduzir erros interpretativos sobre as tendências presentes/futuras (Pai et al., 2023).

A elaboração do material cartográfico constituiu a primeira metodológica. O geobanco de dados utilizado nos procedimentos em SIG incluiu camadas relacionadas aos aspectos geomorfológicos, geológicos e hidrográficos. Os dados geomorfológicos de elevação e *hillshade* foram extraídos utilizando dados SRTM com resolução espacial de 30 m. Os dados geológicos estruturais foram compilados a partir de mapas na escala 1:100.000, obtidos tanto no banco de dados da Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge) quanto do Serviço Geológico do Brasil (SGB). Os litotipos, foram extraídos de folhas em escala 1:200.000 e simplificados unindo os litotipos em classificações de menor detalhe, destacando as características importantes para a leitura dos processos de rearranjo de drenagem, como as resistências litológicas mais discrepantes; este mapa litológico foi interpretado juntamente com as cartas em escala 1:100.000.

Os dados de drenagem foram extraídos da base de metadados da Agência Nacional de Águas (ANA) na escala 1:25.000, e os limites hidrográficos da base de dados *HydroSheds*. No entanto, para este último item, foi necessário fazer ajustes manuais para adequação dos limites hidrográficos, que por questões metodológicas, foi erroneamente mapeamento em áreas de captura ativa ou recente.

A identificação das feições anômalas por sensoriamento remoto concentrou-se no reconhecimento de *knickpoints* (quebras abruptas no perfil longitudinal de cursos

d'água), paleovales (vales secos ou superdimensionados), cotovelos de captura (mudanças abruptas no sentido do curso), drenagens barbeladas – confluências fluviais em ângulos próximos a 90° - e *windgaps* (divisores rebaixados).

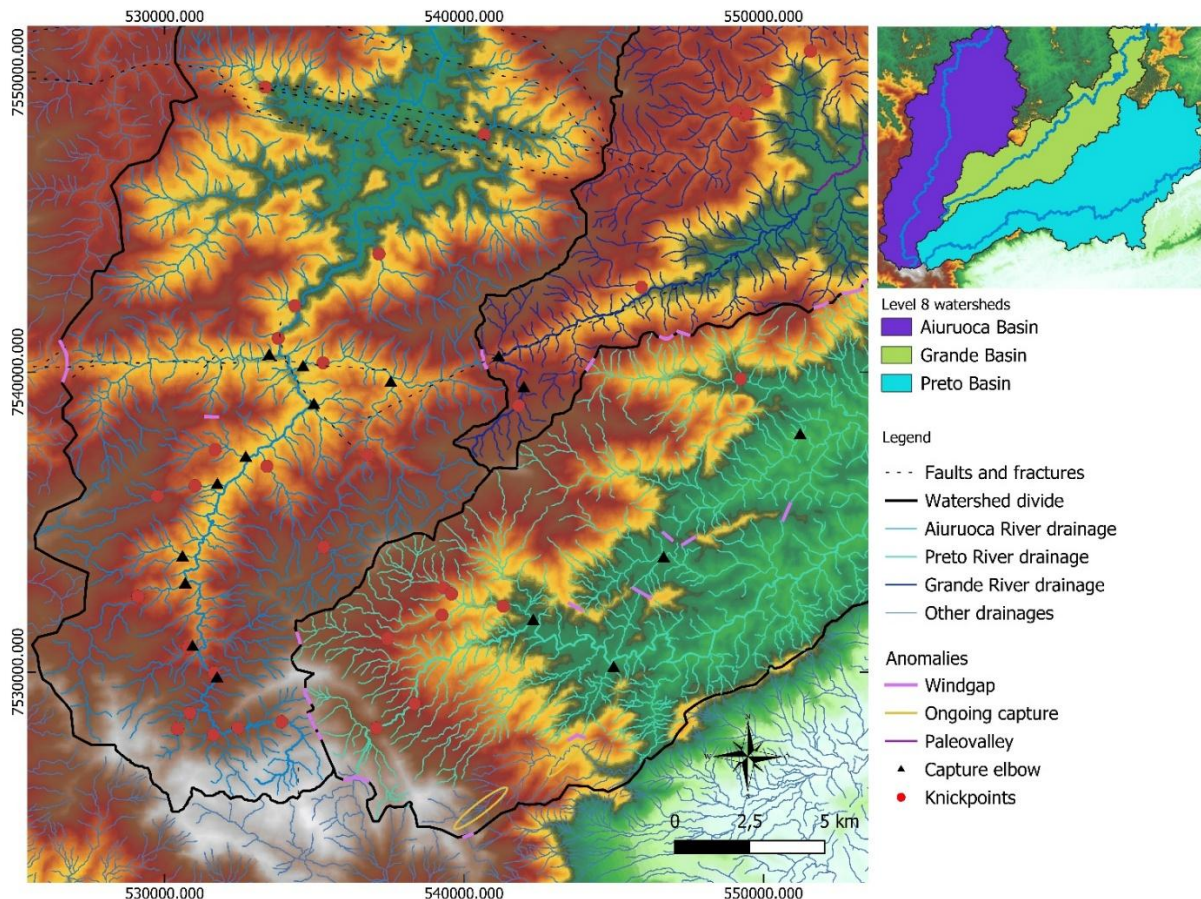
Essas feições constituem os elementos mais clássicos para a identificação de rearranjos de drenagem, especialmente quando associadas a *windgaps*. Todas as geoformas foram identificadas, inicialmente, por meio da análise morfológica das imagens em SIG, com exceção do vale superdimensionado do Rio Grande. Posteriormente, os knickpoints e *windgaps* passaram por análise morfométrica com a análise de seus perfis altimétricos e geração automática dos knickpoints com mais de 10 metros de desníveis. Já o vale superdimensionado, é identificado em campo e com base na referência de Rezende (2013). Enquanto os cotovelos de captura e drenagens barbeladas são observadas, sobretudo, por meio da análise morfológica, mas também em observação de campo.

Os trabalhos de campo tiveram como objetivo visitar as áreas identificadas como de maior interesse nas etapas anteriores, com foco nos setores acessíveis por estradas pavimentadas ou não pavimentadas. Além dos locais previamente selecionados, os trabalhos de campo também buscaram a observação empírica e a análise integrada da paisagem da área de estudo, uma vez que muitas questões relevantes só podem ser observadas em campo. Em paralelo, foram coletadas informações altimétricas precisas e fotografias com suas respectivas orientações e coordenadas geográficas durante as atividades de campo. Esses dados foram processados após o campo para a validação de algumas das formas selecionadas na etapa cartográfica e para a organização do banco de dados da pesquisa. Portanto, a análise morfológica (principal etapa), se apoiou também nas confirmações por meio de análises morfométricas, de campo e bibliográficas, constituindo um método de análise combinado.

#### **2.2.4 Resultados**

Diversas anomalias fluviais foram identificadas na área de estudo (Figura 10), com destaque para o vale superdimensionado do Rio Grande (Figura 11), que ocorre á apenas aproximadamente 10 km de distância de suas cabeceiras e, a partir desse ponto, estende-se por quase todo o seu alto curso. A largura da planície de inundação, que alcança quase 1 km nesse trecho inicial do curso fluvial (figuras 11B e 11C), é completamente incompatível com as dimensões atuais do canal, que não ultrapassa

20 metros de largura. O perfil registrado na Figura 11B foi extraído, por garantia, de uma parte mais estreita do vale, e ainda assim corrobora a interpretação de um vale suodimensionado. Em paralelo, chamam a atenção os extensos depósitos aluviais nessa área, que ainda corresponde ao setor de cabeceiras do atual Rio Grande (Figura 9). Não há controle estrutural ou litológico direto e notável atuando sobre essa feição, caracterizando, assim, um típico vale superdimensionado de cursos fluviais que sofreram uma redução significativa de fluxo.

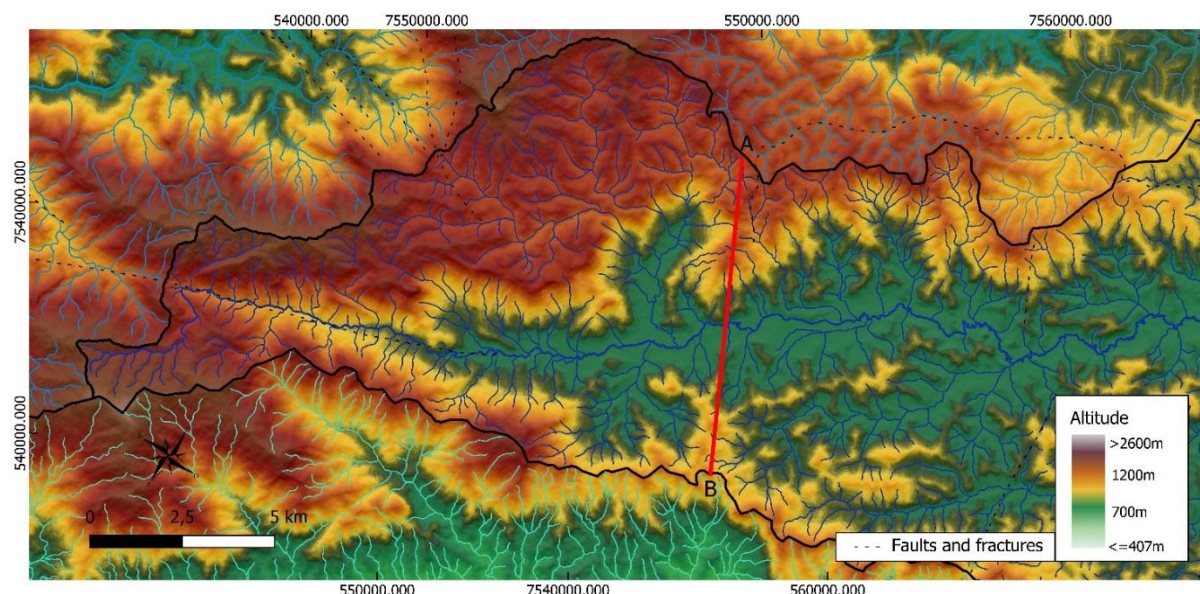


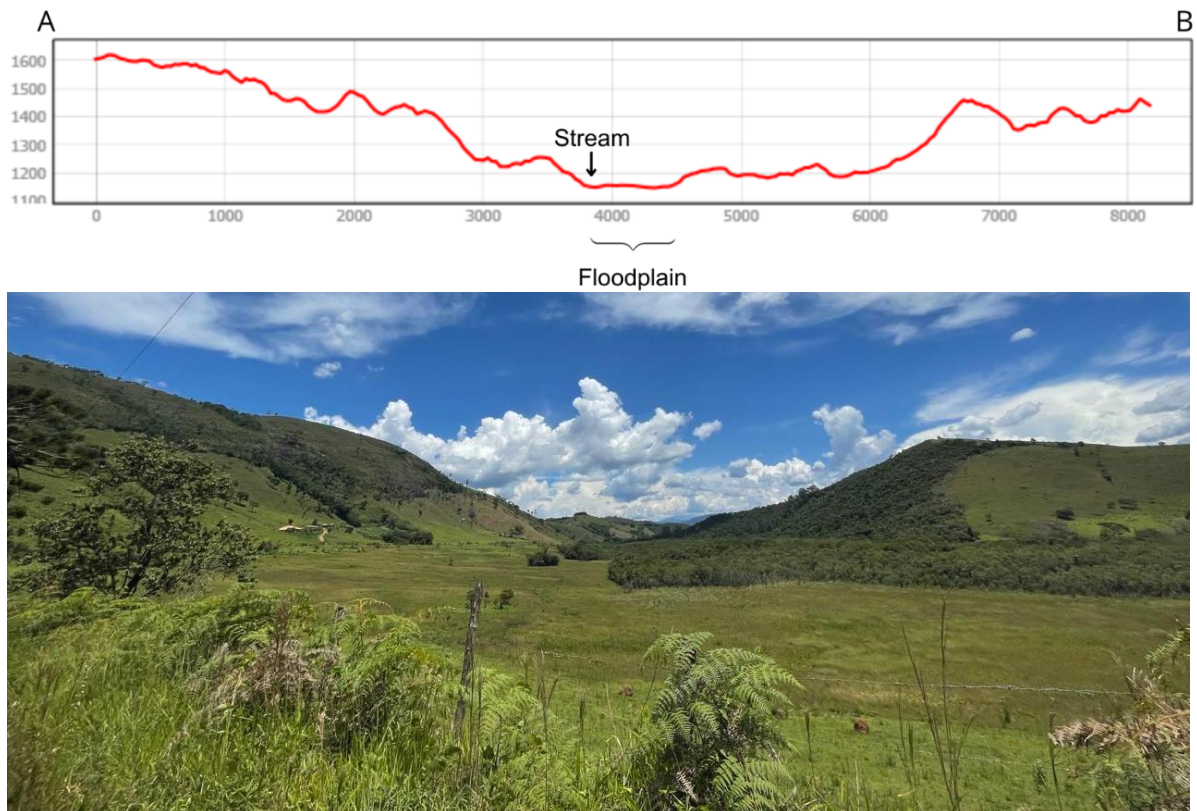
**Figura 13:** Mapa das principais anomalias do tríplex divisor de drenagem Aiuruoca–Grande–Preto.

Ainda no interior da bacia do Rio Grande, pode-se observar uma considerável concentração de drenagens barbeladas. Além disso, também há numerosos cotovelos de captura, que marcam mudanças abruptas na direção do canal (Figura 10). Há uma concentração marcante desses cotovelos nas proximidades das cabeceiras do canal principal, em associação com um *windgap* entre as bacias dos rios Grande e Aiuruoca (Figura 10). Na área analisada, também ocorrem oito knickpoints com desníveis altimétricos acima de 10 metros, sendo um localizado no canal principal a aproximadamente 2 km das cabeceiras e os demais em tributários. Nenhum deles parece estar associado a controle litoestrutural (figuras 9 e 10).

Na bacia do Rio Aiuruoca, nota-se a presença de um aparente vale suspenso. Suas cabeceiras — reconhecidas como as mais elevadas do Brasil — originam-se a aproximadamente 2.600 m de altitude e, por cerca de 10 km, drenam no interior de um vale profundamente encaixado até aproximadamente os 1.300 m de altitude (Figura 10). A partir desse ponto, o Rio Aiuruoca escoa por um setor controlado por falhas orientadas na direção NE–SW (Figura 9) e desce um *knickpoint* de 20 m (Figura 10). A jusante desse *knickpoint*, o vale do canal principal assume outra configuração geomorfológica, com uma planície de inundação mais larga, assim como seus tributários mais imediatos também. Associada a essa configuração, ocorre uma forte presença de drenagens barbeladas, cotovelos de captura e feições semelhantes em toda a área analisada da bacia do Rio Aiuruoca (Figura 10). Há também diversos divisores rebaixados ao longo de seu limite com a bacia do Rio Grande.

Já a bacia do Rio Preto apresenta um grande vale suspenso marcado por um *knickpoint* com desnível de 200 m (Rezende e Salgado, 2020), conhecido como Cachoeira da Fumaça (Figura 10). Além disso, nessa bacia ocorrem outros dois *knickpoints* com desníveis de 10 m ou mais ao longo do canal principal, próximos das cabeceiras. Há mais oito *knickpoints* situados em tributários que formam os divisores com as bacias dos rios Grande e Aiuruoca (Figura 10). A bacia do Rio Preto também apresenta uma ocorrência marcante de cotovelos de captura e drenagens barbeladas. Por fim, o divisor com a bacia do Rio Grande apresenta diversos *windgaps*, que também ocorrem no interior da própria bacia, entre seus diferentes tributários.





**Figura 14:** O vale superdimensionado do alto Rio Grande: (A) mapa, (B) perfil topográfico e (C) fotografia.

### 2.2.5 Discussão

A grande densidade de geoformas identificadas na área de estudo, associada ao contato de três divisores hidrográficos, indica um sistema em processo de reorganização fluvial altamente dinâmico, condicionado por controle estrutural e erosivo. Esse comportamento aparenta refletir o contexto morfotectônico da Serra da Mantiqueira, onde a interação entre grandes compartimentos geomorfológicos e estruturas herdadas do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004; Marques Neto, 2017) gera um mosaico em constante ajuste e interação. Este cenário reforça a ideia de que as escarpas do Sudeste brasileiro, não permanecem mais sob a linha de escarpamento original, pois continuam a evoluir por meio da reorganização fluvial (Cherem et al., 2012; Salgado et al., 2012; Oliveira et al., 2025).

A evidência mais forte deste processo está no alto curso do Rio Grande, quando um rio com menos de dez, ou no máximo 20 metros de largura, a apenas 10 km de sua nascente, drena uma planície aluvial que quase alcança 1 km de extensão (figuras 9, 10 e 11). Há um desajuste entre o atual fluxo fluvial, a dimensão da planície e a extensão das coberturas sedimentares aluvionares. Considerando o atual clima

úmido, nem mesmo mudanças climáticas podem justificar esse desajuste. Uma forte hipótese, é de que somente um processo de rearranjo de drenagem - provavelmente de captura fluvial - que tenha pirateado boa parte das antigas cabeceiras do Rio Grande, justifica a existência deste vale superdimensionado (Figura 11).

O divisor hidrográfico entre as bacias do Rio Grande e do Rio Preto apresenta diversos trechos rebaixados com forma similar a canais fluviais (Figura 10) que podem ser interpretados como paleovales que conectavam as cabeceiras do Rio Preto à Bacia do Rio Grande ainda à montante do vale superdimensionado do Rio Grande. Cotovelos de drenagem em afluentes do Rio Preto, associados aos baixos divisores tendem a reforçar essa hipótese, indicando mudança na direção da drenagem, o que pode explicar a presença dos *windgaps* (Figura 10).

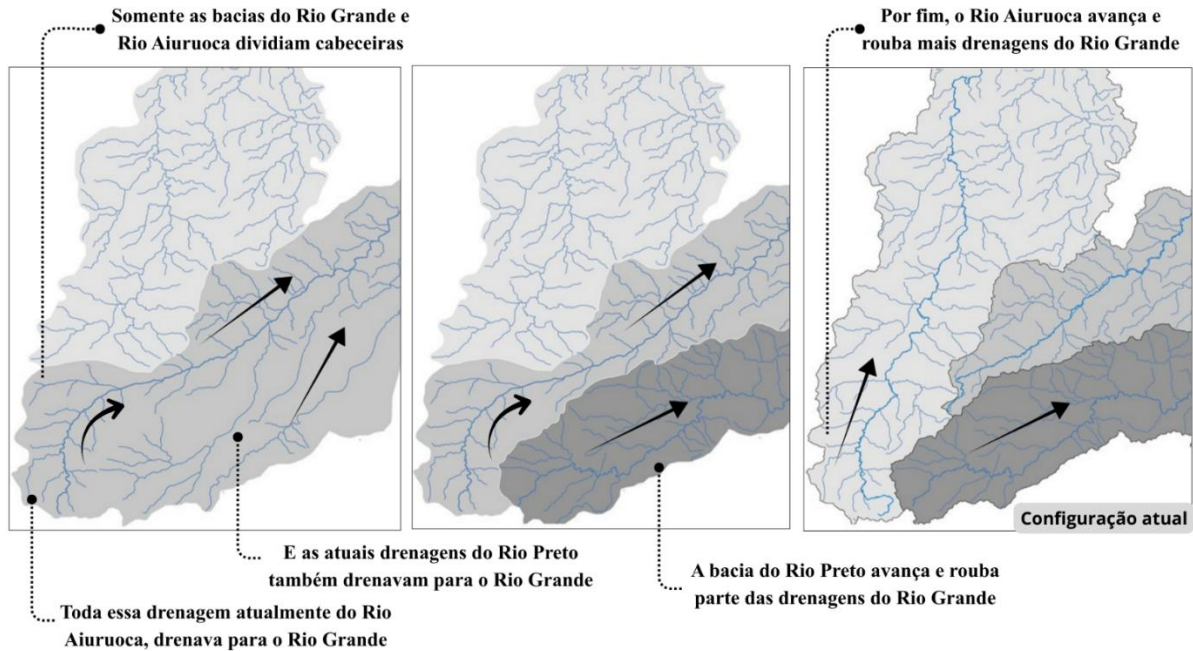
Em paralelo, há pesquisas fundamentadas que demonstram que a alta Bacia do Rio Preto, no passado, fluía em direção ao Rio Grande, principalmente em seu vale suspenso (Rezende e Salgado, 2020). Os autores afirmam que à montante da Cachoeira da Fumaça, que delimita o Vale Suspenso do Rio Preto, toda a drenagem dessa bacia fluía em direção ao Rio Grande, indicando uma captura fluvial definitiva que desencadeou intensa reorganização da bacia. Este vale suspenso está sobre altimetrias compatíveis com sua bacia vizinha, indicando que há uma ativa tentativa de ajuste ao nível de base para altimetrias compatíveis com sua bacia atual. Essa interpretação corrobora a leitura de que, a bacia do Paraíba do Sul, roubou área e vazão da bacia do Rio Grande, explicando também, em partes, seu vale superdimensionado, esculpido no passado por um curso com maior fluxo e vazão.

Paralelamente, processos mais recentes de rearranjo também parecem ter ocorrido sobre o alto curso do Rio Grande. A direção da rede de drenagem da Bacia do Rio Aiuruoca à montante de seu knickpoint, que marca a transição de seu vale de mais fechado e repleto de corredeiras – montante – para o mais aberto e menos energético – jusante – sugere que ela aparenta dirigir-se para um baixo divisor junto às cabeceiras mais altas da Bacia do Rio Grande (Figura 10). Os múltiplos cotovelos de drenagem parecem confirmar essa interpretação, pois eles fazem a direção da rede de drenagem mais à montante da Bacia do Rio Aiuruoca mudar de leste/nordeste – em direção ao baixo divisor – para norte, em direção ao grande knickpoint (Figura 10). Logo, existem fortes evidências de que a bacia do Aiuruoca também avançou sobre a bacia do Rio Grande, apropriando-se de parte de suas cabeceiras, corroborando para a dimensão de seu vale superdimensionado.

No tríplice divisor ocorre ainda a interação direta entre as bacias do Rio Preto e do Rio Aiuruoca. Diversos trechos de baixo divisor, associados a cotovelos de captura indicam uma disputa entre as duas bacias (Figura 10). Em paralelo, ocorrem diversas anomalias internas a cada bacia e sub-bacia, evidenciando que os processos de rearranjo de drenagem operam de forma multiescalar. Na bacia do Rio Preto, observam-se cotovelos de captura vinculados ao rompimento de divisores internos da própria bacia hidrográfica, gerando pequenas gargantas (Figura 10), fenômeno semelhante ocorre no interior da Bacia do Rio Aiuruoca (Figura 10). No interior das três bacias, especialmente nos cursos de menor ordem, são observadas capturas ainda em progresso, caracterizadas pela grande ocorrência de cotovelos e cabeceiras conectadas sem divisor definido.

O conjunto de geoformas indicativas de rearranjo de drenagem - sobretudo os cotovelos de captura muitas vezes associados à baixos divisores – é forte demais para que o processo não possa ser inferido como importante na evolução do relevo da área de estudo. Principalmente quando se observa que essas geoformas ocorrem exatamente à montante de um valer superdimensionado – o do Rio Grande – rico em depósitos aluviais e que permite inferir que a maior parte das áreas topograficamente mais elevadas deste vale, teriam sido capturadas pela Bacia do Rio Preto e, principalmente, pela do Rio Aiuruoca. Sendo assim, há fortes indícios que apontam para uma evolução geomorfológica onde, em um primeiro momento, o Rio Preto pirateia parte das porções mais a sul das antigas cabeceiras do Rio Grande, seguido pelo avanço da Bacia do Rio Aiuruoca sobre o restante das cabeceiras (Figura 12).

Esta cronologia se apoia na interpretação da disposição e conservação das geoformas observadas. Os baixos divisores entre das bacias do Rio Preto e Rio Grande são relativos, ou seja, são trechos mais rebaixados com relação ao seu entorno, enquanto o baixo divisor entre o Rio Aiuruoca e o Grande é absoluto, se assemelhando a um paleovale compatível com a altimetria dos vales atuais. Isso indica um processo mais recente de pirateamento de fluxo do Grande pelo Aiuruoca. Além disso, os cotovelos e drenagens barbeladas são mais aparentes na bacia do Rio Aiuruoca (principalmente nas cabeceiras), demonstrando menor ação do intemperismo, ou seja, menor tempo de exposição de sua “nova morfologia”.



**Figura 15:** Modelo evolutivo dos rearranjos de drenagem na área de estudo.

Neste contexto, os resultados indicam que os rearranjos de drenagem na região são não apenas multiescalares, mas também multitemporais, e ocorrem em ritmos distintos. As evidências demonstram que os grandes eventos de rearranjo envolvendo bacias de maior nível hierárquico são precedidos e impulsionados por múltiplos eventos menores inter e intra-hidrográficos. Dessa forma, as taxas de denudação e a compartimentação geomorfológica da Serra da Mantiqueira estão sujeitas a mudanças intensas e aceleradas pela reorganização fluvial. Logo, apesar de localizada no interior continental, como margem secundária, a Serra da Mantiqueira opera funcionalmente como um escarpamento de margem passiva típica, configurando, neste trecho da América do Sul, um sistema de duplo escarpamento de margem passiva.

Por fim, conclui-se que a predominância dos processos de rearranjo de drenagem na evolução geomorfológica da região, abre precedentes para outras investigações relacionadas, como a possibilidade de ocorrência de paleoendorreísmo (Paixão et al., 2020) e a influência da transição de bacias endorréicas para exorréicas nos rearranjos atuais. Questões relacionadas a compensação de blocos por mudança nos regimes erosivos e de denudação ocasionados pelos rearranjos também podem ser desenvolvidas mediante a intensidade de ocorrência de reorganizações na região, dada a importância destes processos para a evolução do relevo (Haag et al., 2025).

### **2.2.6 Conclusões**

Os resultados obtidos indicam que, nesta ordem, as bacias do Rio Preto e, principalmente do Rio Aiuruoca, piratearam a maior parte das antigas áreas de cabeceira da Bacia do Rio Grande. Indicam ainda, que este não foi um processo isolado. Pelo contrário, trata-se de um processo contínuo onde não só as bacias disputam áreas entre si, como também as sub-bacias de cada bacia, em diferentes níveis hierárquicos. Logo, os rearranjos de drenagem são fundamentais para compreender a evolução do relevo e a Geomorfologia fluvial deste importante trecho da alta Serra da Mantiqueira, tanto nos setores de escarpa quanto no reverso da serra.

Tais processos indicam uma paisagem em estado de persistente tentativa de ajuste, na qual os mecanismos de captura, decapitação e pirataria de canais sugerem que a reorganização hidrográfica atua como mecanismo fundamental para o rejuvenescimento do relevo, contribuindo para a manutenção da energia e da dissecação na margem passiva sudeste brasileira. Sendo assim, este estudo amplia a compreensão sobre o alcance espacial dos rearranjos de drenagem e de seus mecanismos de processo, sugerindo que seus efeitos não se limitam às frentes escarpadas, sendo influenciados por outros fatores além das diferenças de compartimentação geomorfológica. Assim, a Serra da Mantiqueira pode ser compreendida como um sistema de intensas dinâmicas.

## **3. CONCLUSÕES**

Esta dissertação objetivou analisar os processos de rearranjo de drenagem na Serra da Mantiqueira a partir de uma abordagem geomorfológica integrada, articulando análise morfológica, análise morfométrica e interpretação evolutiva do relevo. Ao longo do trabalho, buscou-se compreender os rearranjos de drenagem não apenas como eventos pontuais ou feições isoladas, mas como processos fundamentais na dinâmica dos sistemas fluviais e da evolução geomorfológica regional. Especificamente, compreender a evolução dos rearranjos de drenagem sob um contexto morfotectônico que adiciona complexidade ao substrato geomorfológico, no caso, o do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).

Os resultados apresentados nos dois artigos que compõem esta dissertação demonstram que a área de estudo é marcada por elevada ocorrência e diversidade

de feições associadas aos rearranjos de drenagem, incluindo drenagens barbeladas, vales secos e superdimensionados (paleovales), baixos divisores, cotovelos de captura, drenagens farpadas, knickpoints e knickzones (Bishop, 1995). A recorrência e a associação espacial dessas geoformas evidenciam que os rearranjos não ocorrem de forma aleatória ou episódica, mas refletem padrões de reorganização da rede hidrográfica condicionados por diferenças enérgicas entre bacias e influência estrutural, predominando a depender do compartimento geomorfológico analisado.

Sendo assim, as regiões de divisor hidrográfico foram privilegiadas na análise da presente dissertação, devido a interação de diferentes bacias hidrográficas e compartimentos geomorfológicos. Esses setores revelam capturas mais recentes, e, portanto, com feições ainda melhor conservadas, onde os processos de rearranjo ocasionados pelos mecanismos de captura e decapitação são mais intensos e dinâmicos, caso típico da Serra da Mantiqueira. Os divisores hidrográficos, portanto, ditam o comportamento da bacia no contexto das reorganizações fluviais.

O primeiro artigo buscou identificar como os processos de rearranjo de drenagem se organizam no divisor hidrográfico das bacias dos rios Paraíba do Sul e Grande. Foi identificado que os processos de rearranjo de drenagem entre as duas bacias não ocorrem somente na alta bacia, onde Rezende e Salgado (2020) indicam a ocorrência do vale suspenso do Rio Preto como um forte indício de captura. O caso do ribeirão Pacau indica que o divisor hidrográfico está em processo de rearranjo em diversos de seus trechos. O divisor hidrográfico das duas bacias, que marca o cume da escarpa da Serra da Mantiqueira, se encontra bem mais recuado da linha de falha original e com capturas aparentemente muito recentes.

Portanto, não só as drenagens da escarpa capturam as drenagens do planalto adjacente, como pressuposto por Cherem et al. (2013) e Paixão et al. (2019), como é possível inferir que devido a expansão da bacia do Paraíba do Sul sobre o Grande, é resultado da retração da escarpa da Serra da Mantiqueira por meio dos processos de rearranjo de drenagem. Este fato é corroborado e corrobora a hipótese de Paixão et al. (2020) de que, um pulso erosivo sentido nordeste-sudeste impacta as drenagens do Paraíba do Sul, comprometendo primeiro os setores mais a nordeste do divisor, devido ao aumento significativo da taxa erosiva provocada pelos processos (Sordi, 2018). Esta dinâmica é tida principalmente por controle erosivo. Logo, torna-se notável que os rearranjos de drenagem são processos fundamentais e prioritários

na evolução da escarpa da Serra da Mantiqueira, sendo, talvez, seu principal mecanismo de evolução atual.

O segundo artigo, foca em aprofundar a discussão da importância dos processos de rearranjo de drenagem para a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira para além de um compartimento geomorfológico e de uma dinâmica já previamente apontada. Em consonância com o trabalho de Cruz et al. (2025) e com os achados do presente trabalho, observou-se que a hidrografia da região analisada, nos compartimentos referentes ao reverso da serra, junto às nascentes dos principais cursos fluviais da região, também estão em constante disputa de área, por meio dos processos de rearranjo de drenagem. Entretanto, neste trecho parecem ser influenciadas principalmente pelas zonas de fraqueza estruturais. Nesta dinâmica, a morfologia, morfometria e o substrato geológico, indicam que a bacia do rio Aiuruoca esteve, até pelo menos recentemente, em vantagem erosiva sobre o rio Grande, tendo já pirateado parte significativa de suas cabeceiras.

A partir da identificação das duas dinâmicas: a) expansão da bacia do rio Paraíba do Sul e retração de escarpa por meio de rearranjos de drenagem e b) disputa das bacias do planalto do reverso – bacia do rio Aiuruoca e rio Grande – aproveitando-se de falhas e fraturas, é possível relacionar a evolução geomorfológica da Serra da Mantiqueira diretamente aos processos de reorganização fluvial. Principalmente, em conjunto com a literatura de rearranjos da região sudeste. Dessa forma, a Serra da Mantiqueira caracteriza-se também, ao menos na prática, como uma margem passiva continental. Diante essa consideração, algumas lacunas ficam abertas e precisam ser consideradas, como por exemplo, a possibilidade de ocorrência de paleoendorreísmo defendida por Paixão et al. (2020) também se aplicar a área de estudo em questão – sobretudo a alta Bacia do rio Grande - e de que forma, a resposta isostática dos blocos da região respondem as intensas reorganizações (Haag et al., 2025).

De qualquer forma, a análise integrada dos dois artigos permite afirmar que os rearranjos de drenagem na Serra da Mantiqueira operam em múltiplas escalas espaciais e temporais. Embora muitas feições se manifestem localmente, seus efeitos extrapolam os limites das sub-bacias analisadas, contribuindo para reorganizações regionais da rede hidrográfica. Essa constatação reforça a inadequação de abordagens uniescalares ou puramente descritivas para o estudo desses processos, destacando a importância de leituras sistêmicas e evolutivas capazes de articular feições, processos e contexto geomorfológico.

Do ponto de vista teórico e epistemológico, os resultados obtidos dialogam diretamente com a discussão apresentada no referencial teórico, especialmente no que se refere à noção de equilíbrio aplicada aos geossistemas. A grande presença de feições associadas a rearranjos de drenagem, em diferentes estágios de ajuste, indica que o sistema fluvial da Serra da Mantiqueira não pode ser interpretado a partir de uma concepção de equilíbrio estático ou finalizado. Ao contrário, o relevo e a hidrografia da região evoluem por meio de sucessivos ajustes, nos quais rupturas, assimetrias e reorganizações constituem parte inerente do funcionamento do sistema. Nesse sentido, esta dissertação sustenta a interpretação de que os rearranjos de drenagem configuram expressões recorrentes de sua dinâmica evolutiva.

Em paralelo, a metodologia adotada mostrou-se adequada para evidenciar essa complexidade, ao integrar mapeamento geomorfológico, análise morfométrica e interpretação espacial em ambiente SIG. Essa abordagem permitiu não apenas identificar feições associadas aos rearranjos de drenagem, mas interpretar seu significado evolutivo e sua inserção no contexto regional da Serra da Mantiqueira e do Rift Continental do Sudeste do Brasil.

Por fim, esta dissertação contribui para o avanço das discussões sobre rearranjos de drenagem na geomorfologia brasileira ao demonstrar que esses processos desempenham papel central na evolução do relevo da Serra da Mantiqueira. Ao articular resultados empíricos, interpretação geomorfológica e reflexão epistemológica, o trabalho reforça a compreensão dos rearranjos como processos estruturantes da paisagem, ampliando o entendimento da dinâmica dos sistemas fluviais em contextos de borda continental passiva e escudos antigos reativados. Assim, a pesquisa reafirma a relevância dos rearranjos de drenagem como objeto central de análise na geomorfologia contemporânea e oferece subsídios teóricos e metodológicos para estudos futuros em contextos semelhantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. O problema das conexões antigas e da separação da drenagem do Paraíba e do Tietê. **Boletim Paulista de Geografia**, [S. l.], n. 26, p. 38–49, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1286>. Acesso em: 5 maio 2025.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141–152, 2004.

- BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 449–473, 1995. DOI: 10.1177/030913339501900402.
- BISHOP, P.; GOLDRICK, G. Lithology and the evolution of bedrock rivers in post-orogenic settings. **Geomorphology**, v. 34, n. 3–4, p. 247–265, 2000.
- BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira**. Brasília: ICMBio, 2010. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/apaserradamantiqueira/>. Acesso em: 7 abr. 2025.
- CAPEL, H. Humboldt y la teoría de la Tierra. In: CAPEL, H. **Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea**. Barcelona: Barcanova, 1981. p. 19–49.
- CASSEMIRO, F. A. S. et al. The timing of large drainage rearrangement in South America. **Geomorphology**, v. 468, 109457, 2025. DOI: 10.1016/j.geomorph.2024.109457
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~santos/Geomorfologia\\_Geologia/Geomorfologia\\_ValterCasseti.pdf](https://docs.ufpr.br/~santos/Geomorfologia_Geologia/Geomorfologia_ValterCasseti.pdf). Acesso em: 24 abr. 2025.
- CHEREM, L. F. S. et al. Long-term evolution of denudational escarpments. **Geomorphology**, v. 173–174, p. 118–127, 2012a. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.06.002.
- CHEREM, L. F. S.; ZANCOPE, M. H. C. Macro captura fluvial no nordeste do Planalto Central. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 86–91, 2014.
- CHEREM, L. F. S. **Morfopedogênese das bordas dos planaltos escalonados do sudeste mineiro**. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012b.
- CHEREM, L. F. S. et al. O papel das capturas fluviais na morfodinâmica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 299–308, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i4.325
- CHRISTOFOLETTI, A. Considerações sobre o nível de base. **Geografia UNESP**, v. 2, n. 4, p. 81–102, 1977. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/14787>. Acesso em: 19 mar. 2026.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.
- CLARK, M. K. et al. Surface uplift and erosion of eastern Tibet. **Tectonics**, v. 23, TC1006, 2004. DOI: 10.1029/2002TC001402.
- CRUZ, B. L. et al. Reorganization of the drainage network. **Geomorphology**, v. 478, 2025. DOI: 10.1016/j.geomorph.2025.109693.

- DAL PAI, M. O. et al. Comparing morphological investigation with  $\chi$  index. **Geomorphology**, v. 423, 108554, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108554.
- DAL PAI, M. O.; SALGADO, A. A. R.; DE PAULA, E. V. Pirataria fluvial na Serra do Espigão. **Estudos do Quaternário**, v. 21, p. 33–45, 2021. DOI: 10.30893/eq.v0i20.200
- FELIPPE, M. F. et al. Desnudação química em microbacias. **Caderno de Geografia**, v. 34, n. 77, 2024. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2024v34n77p426
- FORTE, A. M.; WHIPPLE, K. X. Criteria for determining drainage divide stability. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 493, p. 102–117, 2018. DOI:10.31223/osf.io/anr29
- FREITAS, M. M. et al. The endorheic–exorheic transition. **Journal of South American Earth Sciences**, 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.103742.
- GOMES, M. C. V.; VIEIRA, B.C.; SALGADO, A.A.R.; BRAUCHER, R. Debris flow and denudation rates. **Geomorphology**, v. 413, 108333, 2022. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108333
- HAAG, M. M. et al. Erosional dynamics and escarpment retreat the southern end of the South American passive margin escarpment. **Geomorphology**, v. 486, 109885, 2025. DOI: 10.1016/j.geomorph.2025.109885.
- HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana. **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 141–169, 2010. Disponível em: [https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/29\\_2/Art\\_1\\_Hasui.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/29_2/Art_1_Hasui.pdf).
- HARBOR, D.; GUNNELL, Y. Along-Strike Escarpment Heterogeneity of the Western Ghats: A Synthesis of Drainage and Topography Using Digital Morphometric Tools. **Journal of Geological Society of India**, [S. l.], v. 70, n. 3, p. 411–426, 2007. Disponível em: <https://www.geosocindia.org/index.php/jgsi/article/view/81145>. Acesso em: 19 mar. 2026.
- HEILBRON, M. et al. Província Mantiqueira. In: **Geologia do continente sul-americano**. São Paulo: Beca, 2004. Disponível em: <https://geologia.ufc.br/wp-content/uploads/2016/02/geologia-do-continente.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2026.
- LOVELOCK, J. **Gaia: um novo olhar sobre a vida na Terra**. Tradução de José A. Bragança de Miranda. Lisboa: Edições 70, 1987. [Original: 1979].
- MARENT, B. R. et al. Processos de reorganização da rede de drenagem no Brasil. In: CARVALHO JÚNIOR, O. A. et al. **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. Brasília: UnB, 2023. Disponível em: [https://www.ugb.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Revisoes\\_de\\_literatura\\_da\\_geomorfologia\\_brasileira\\_UGB\\_.pdf](https://www.ugb.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Revisoes_de_literatura_da_geomorfologia_brasileira_UGB_.pdf). Acesso em: 19 mar. 2026.

- MARQUES NETO, R. O horst da Mantiqueira Meridional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i3.1118.
- MARQUES NETO, R. Campos altimontanos. **Geosul**, v. 39, n. 90, 2024.
- MENDES, R.; FILHO, M. V. Real-Time Monitoring of Climactic and Geotechnical Variables during Landslides on the Slopes of Serra do Mar and Serra da Mantiqueira (São Paulo State, Brazil). **Engineering**, v. 7, p. 140–159, 2015. DOI: 10.4236/eng.2015.73012.
- NASCIMENTO, F.A.; SALGADO, A.A.R.; GOMES, A.A.T. Avidências de rearranjos fluviais no interflúvio Amazonas-Essequibo - Amazônia setentrional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 20, n. 3, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1520.
- OLIVEIRA, D. Capturas fluviais como evidências da evolução do relevo: uma revisão bibliográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 20, 2010. DOI: 10.7154/RDG.2010.0020.0003.
- OLIVEIRA, D.; QUEIROZ NETO, J. P. Evolução do relevo na Serra do Mar no estado de São Paulo a partir de uma captura fluvial. **GEOUSP**, 2007. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2007.74067.
- PAIXÃO, R.W.; SALGADO, A.A.R.; FREITAS, M.M. Morfogênese do divisor hidrográfico Paraná/Paraíba do Sul: o caso da sub-bacia do Paraíbauna. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 20, n. 1, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1498.
- PAIXÃO, R.W.; SALGADO, A.A.R.; FREITAS, M.M.; ALMEIDA, J.H. Possibilidade de endorreísmo e capturas fluviais na morfogênese da bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 21, n. 4, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i4.1779.
- PHILLIPS, J. D. The concept of complex response in geomorphology. **Progress in Physical Geography**, v. 16, n. 4, p. 459–473, 1992.
- PHILLIPS, J. D. **Earth surface systems: complexity, order, and scale**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.
- POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1983.
- REZENDE, É. A.; SALGADO, A. A. R.; CASTRO, P. de T. A. Evolução da rede de drenagem e evidências de antigas conexões entre as bacias dos rios Grande e São Francisco no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 19, n. 3, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i3.1304. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1304>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- REZENDE, E.A; SALGADO, A.A.R. Considerações sobre a gênese do vale suspenso do alto Rio Preto na borda da Bacia de Resende. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 40, p. 49–60, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.165775.

- REZENDE, E. A.; SALGADO, A. A. R.; SILVA, J. R. DA; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; LÉANNI, L. Fatores 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**, 14 (2), p. 221-234, 2013. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbq.v14i2.416>
- REZENDE, E.A. **Evolução do relevo no divisor hidrográfico entre as bacias dos rios Grande e Paraíba do Sul: um estudo na Serra da Mantiqueira (MG/RJ)**. Dissertação de mestrado em Geografia. Belo Horizonte, Minas Gerais. 107p. 2013. RICCOMINI, C. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. 1989. Tese (Doutorado) – USP.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia, ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.
- SALGADO, A. A. R. et al. Evolution of the Continental Rift. *Journal of South American Earth Sciences*, 2016.
- SALGADO, A. A. R. et al. Grandes capturas fluviais no Brasil. *Estudos do Quaternário*, 2019.
- SALGADO, A. A. R.; SALGADO, A. M. R. Modelagem em Geomorfologia. *Revista de Geografia*, 2020.
- SCHAEFER, F. O excepcionalismo na Geografia. *Boletim de Geografia Teórica*, 1977.
- SOCHAVA, V. B. Introdução à teoria dos geossistemas. São Paulo: USP, 1977.
- SORDI, M. V. Rearranjo fluvial como mecanismo de evolução do relevo. 2018. Tese (Doutorado) – UFMG.
- SUMMERFIELD, M. A. *Global geomorphology*. Harlow: Longman, 1991.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.
- WHIPPLE, K. X. et al. Timescales of landscape response. *Journal of Geophysical Research*, 2017.
- ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B. Origem do sistema de riftes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 2005.