

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM GEOGRAFIA
CURSO DE GEOGRAFIA**

IGOR WILLIAM ANDRIOLLI

***KNICKPOINTS* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPECÓ: DISTRIBUIÇÃO E
CONDICIONANTES NA PAISAGEM**

**CHAPECÓ
2025**

IGOR WILLIAM ANDRIOLLI

***KNICKPOINTS* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPECÓ: DISTRIBUIÇÃO E
CONDICIONANTES NA PAISAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. William Zanete Bertolini

**CHAPECÓ
2025**

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Andriolli, Igor William

Knickpoints na bacia hidrográfica do rio Chapecó:
Distribuição e condicionantes na paisagem / Igor William
Andriolli. -- 2025.

124 f. : il.

Orientador: Doutor William Zanete Bertolini

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Chapecó, SC; Erechim, RS, 2025.

1. Geomorfologia fluvial. 2. Evolução da paisagem. 3.
Bacia hidrográfica do rio Chapecó. 4. Condicionantes
estruturais. 5. Índice de Hack. I. Bertolini, William
Zanete, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

IGOR WILLIAM ANDRIOLLI

***KNICKPOINTS* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHAPECÓ: DISTRIBUIÇÃO E
CONDICIONANTES NA PAISAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 14/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. William Zanete Bertolini – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Andrey Luis Binda
Avaliador interno - UFFS/PPGEO

Prof. Dr. Adalto Gonçalves Lima
Avaliador externo - UNICENTRO

Dedico este trabalho
Aos meus pais, pelo exemplo de dedicação e pela base sólida que me permitiu
sonhar.
À minha avó, cuja sabedoria e carinho sempre me fortaleceram, acreditando em mim
em todos os momentos.
Aos meus amigos mais próximos, companheiros de jornada, pela amizade sincera,
pelo incentivo constante e pelas risadas que tornaram o caminho mais leve.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, quero expressar minha profunda gratidão à vida e às experiências que moldaram minha trajetória. Cada desafio superado, cada aprendizado conquistado e cada pessoa encontrada ao longo do caminho contribuíram para a construção deste momento. É com o coração cheio de reconhecimento que dedico estas palavras a todos que, direta ou indiretamente, ajudaram a transformar sonhos em realizações.

Agradeço à minha família pelo alicerce e suporte em toda minha trajetória acadêmica e pessoal. Ao meu pai, Paulo Andriolli, pelo exemplo de dedicação, ética e força de vontade; à minha mãe, Luiza Roseli Machado Andriolli, pelo amor incondicional, incentivo constante e apoio em todos os momentos; e à minha avó, Niversina de Almeida Lara, cuja sabedoria, carinho e presença marcante sempre me fortaleceram, transmitindo valores que nortearam minha caminhada.

Ao professor William Zanete Bertolini, orientador e amigo, pela orientação dedicada, paciência e conselhos que muito contribuíram para a realização desta pesquisa; à professora Gisele Leite de Lima Primam, pelo apoio em diferentes momentos, pela parceria no estágio de docência e pelos valiosos conselhos que orientaram minha trajetória acadêmica. Ao professor Andrey Luis Binda, cujo incentivo foi decisivo para o ingresso no mestrado — talvez nem saiba, mas uma simples conversa no intervalo de uma aula de climatologia despertou em mim essa possibilidade — e pelas valiosas contribuições como membro das bancas de seleção, qualificação e defesa; ao professor Adalto Gonçalves de Lima, pelas importantes considerações como membro da banca e pela parceria nos trabalhos de campo, que enriqueceram a pesquisa e contribuíram diretamente para seu desenvolvimento.

Aos colegas de mestrado Bruna Utzig, Taís Schoenberger e Neimar Boettcher, pelo apoio e pela energia compartilhada nos momentos em que pensávamos em desistir, mantendo-nos fortes e juntos; aos amigos Fernanda G. de Q. Bé, Nicholas Klein Pinto, Tayná A. P. Mohr, Neimar Boettcher e Victor Lopes, pela ajuda nos trabalhos de campo e pelo companheirismo na caminhada; ao meu amigo Ederson Luis Silveira, por toda a amizade, incentivo e apoio desde antes da entrada no mestrado; e também a Maria V. M. Favero, Isis Fumagali, Guilherme L. Girardi e Beatriz Barros, pelos conselhos e pelo apoio.

À FAPESC, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida, fundamental para a viabilização deste trabalho. Aos demais professores do PPGGeo/UFFS, em especial àqueles com quem tive disciplinas durante o mestrado, Prof. Dr Igor Cataão e Prof. Dr. Marlon Brandt, pelos ensinamentos, contribuições e dedicação à formação acadêmica.

A mim mesmo, pelo esforço, dedicação e perseverança ao longo desta trajetória, que tornaram possível a realização deste trabalho. E a todos os amigos, vizinhos e pessoas que, sem saber ou querer, contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista — de forma que suas ações, palavras ou gestos ajudaram a tornar este trabalho realidade.

“Ninguém pode entrar duas vezes no mesmo rio, pois quando nele se entra novamente, não se encontra as mesmas águas, e o próprio ser já se modificou. Assim, tudo é regido pela dialética, a tensão e o revezamento dos opostos. Portanto, o real é sempre fruto da mudança, ou seja, do combate entre os contrários.” — Heráclito de Éfeso

RESUMO

A presente dissertação teve como objetivo caracterizar e analisar os *knickpoints* na Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó (BHRC), utilizando métodos morfométricos, cartográficos e observações de campo. Foram analisados 56 canais, aplicando-se o índice de Hack para identificar variações de declive/extensão e potenciais zonas de instabilidade nos perfis longitudinais. A metodologia combinou análise estatística, cartografia geomorfológica e geológica, além de validação em campo, permitindo correlacionar os *knickpoints* à litologia, compartimentação geomorfológica, escarpas, falhas e gradientes altimétricos. Os resultados indicam maior concentração de *knickpoints* na média bacia, sugerindo maior atividade erosiva e potencial influência de processos neotectônicos, enquanto a alta bacia apresenta menor densidade de *knickpoints*. Observações de campo revelaram ampla diversidade morfológica, desde degraus centimétricos até corredeiras, cachoeiras com desníveis consideráveis e morfologias associadas a blocos caídos e fraturas. Conclui-se que os *knickpoints* desempenham papel central na dinâmica fluvial, funcionando como indicadores de resistência litológica, contato entre unidades geológicas e zonas de dissipação de energia, fornecendo subsídios importantes para compreensão da evolução geomorfológica e sedimentar da BHRC.

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial; Índice de Hack; Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó; condicionantes estruturais; evolução da paisagem.

ABSTRACT

This dissertation aimed to characterize and analyze the *knickpoints* in the Chapecó River Basin (CRB) using morphometric, cartographic, and field observation methods. A total of 56 channels were analyzed, applying the Hack Index to identify slope/length variations and potential instability zones along the longitudinal profiles. The methodology combined statistical analysis, geomorphological and geological cartography, and field validation, allowing for the correlation of *knickpoints* with lithology, geomorphological compartmentalization, scarps, faults, and altimetric gradients. The results indicate a higher concentration of *knickpoints* in the middle basin, suggesting greater erosive activity and potential influence of neotectonic processes, while the upper basin exhibits lower *knickpoint* density. Field observations revealed wide morphological diversity, ranging from centimeter-scale steps to rapids, waterfalls with considerable height differences, and morphologies associated with fallen blocks and fractures. It is concluded that *knickpoints* play a central role in fluvial dynamics, acting as indicators of lithological resistance, contacts between geological units, and energy dissipation zones, providing important insights into the geomorphological and sedimentary evolution of the CRB.

Keywords: Fluvial geomorphology; Hack index; Chapecó River Basin; structural controls; landscape evolution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Modo de cálculo do índice de Hack.....	19
Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Chapecó e dos 56 canais analisados... 36	
Figura 3 - Arcabouço estrutural da Bacia Sedimentar do Paraná; 21: sistema de falhas Lancinha/Cubatão. Ponto azul indica a localização da BHRC.....	38
Figura 4 - Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do rio Chapecó.	40
Figura 5- A - Amostra de rocha ácida da Formação Chapecó, de coloração cinza claro e fenocristais, localizada junto ao divisor das sub-bacias arroio Caramujo, lajeado Barreiros e lajeado Vitorino, coordenadas 26.72277° S; 52.12412°W. B - Afloramento rochoso na alta bacia no domínio das rochas ácidas	41
Figura 6- A - trecho do rio do Ouro em leito rochoso com presença de barra deposicional lateral de cascalhos. B - Trecho do rio Bebedor em leito rochoso com rocha exposta no leito e na margem. C - Trecho do lajeado Tarumã com presença de blocos rochosos caídos. D - Barra lateral cascalhenta no rio do Ouro a montante da 6A.	42
Figura 7- Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Chapecó.	44
Figura 8- Mapa hipsométrico da BHRC.	45
Figura 9 - Planalto dos Campos Gerais (A e C) e Planalto Dissecado do rio Uruguai (B e D).	46
Figura 10- Mapa de declives de superfície da BHRC.	47
Figura 11- Mapa dos <i>knickpoints</i> da BHRC extraídos através do critério índice de Hack > média+1dp e densidade de Kernel.....	57
Figura 12 - Histograma da contraposição entre o número de trechos e o valor do índice de Hack para os <i>knickpoints</i> , estabelecido pelo critério $k > \text{média} + 1dp$	58
Figura 13- <i>Knickpoints</i> ($k > \text{média} + 1 dp$) e hipsometria da BHRC.	59
Figura 14- Distribuição dos 107 <i>knickpoints</i> por segmentos de baixa, média e alta BHRC. .	60
Figura 15 - Variação de declividade dos 107 <i>knickpoints</i>	61
Figura 16 - Relação declividade dos <i>knickpoints</i> e extensão dos canais.	63
Figura 17- Distribuição dos 107 <i>knickpoints</i> em relação à posição no canal.	64
Figura 18- Distância à foz normalizada pela extensão do canal.	66
Figura 19- Distribuição dos <i>knickpoints</i> em relação à distância da foz de cada canal.	67
Figura 20- Mapa dos 107 <i>knickpoints</i> da BHRC em contraposição à litologia.	68
Figura 21- Declives dos 107 <i>knickpoints</i> associados à litologia.	69
Figura 22- Perfis longitudinais dos rios Chapecó e Chapecozinho.	71
Figura 23- Mapa de densidade de Kernel dos <i>knickpoints</i> visíveis nos perfis longitudinais. .	72
Figura 24- Declividade dos 118 <i>knickpoints</i> identificados visualmente nos perfis longitudinais dos 56 canais.	74
Figura 25 - Gráfico com a posição no canal dos 118 <i>knickpoints</i> visíveis nos perfis longitudinais.	75
Figura 26- Canais que não apresentaram <i>knickpoints</i> bem-marcados nos perfis longitudinais.	76
Figura 27 - Exemplos de perfis longitudinais com <i>knickpoints</i> não coincidentes com os critérios estatísticos adotados.	77
Figura 28- Exemplos de coincidências dos <i>knickpoints</i> nos perfis longitudinais com os critérios estatísticos aplicados ao índice de Hack.....	78

Figura 29- Exemplos de coincidência entre os <i>knickpoints</i> nos perfis longitudinais e as knickzones identificadas pelos critérios estatísticos.	79
Figura 30- Exemplos de <i>knickpoints</i> que foram visualizados in loco.	80
Figura 31- Mapa dos <i>knickpoints</i> visitados em campo.	82
Figura 32- Cachoeira da Gruta, em Passos Maia, em afluente de 1ª ordem do rio Chapecozinho, em contexto de escarpa erosiva.	83
Figura 33- A - Trecho de degrau-poço (step-pool) no rio Xaxim com <i>knickpoint</i> com cerca de 1,5 metros de altura. B - Trecho de poço-corredeira (pool-riffle) no arroio Caramujo. Ambos os afluentes da margem esquerda do rio Chapecó.	85
Figura 34- A - Trecho de corredeira com carga de fundo de calibre grosseiro no rio do Ouro (baixa bacia); B - Trecho em corredeira sob exposição rochosa no rio Saudades (baixa bacia); C - Trecho em corredeira no córrego das Porteiras (alta bacia).	87
Figura 35 - A - Blocos caídos com faces retilíneas, leito do lajeado Tarumã (afluente do lajeado Dom José, na baixa bacia); B - Bloco caído com formato mais arredondado e outros blocos com formatos e tamanhos variados, leito do rio Xaxim (baixa bacia); C- Bloco c caído interrompendo/desviando o fluxo d'água no leito do rio Xaxim, apresentando morfologia de <i>knickpoint</i> com poucos centímetros de desnível. Ambos os canais estão dispostos sobre litologia básica e no Planalto Dissecado do rio Uruguai.	89
Figura 36- A- Fraturamento basáltico na margem direita do rio Xaxim (baixa BHRC), próximo a um <i>knickpoint</i> ; B - <i>Knickpoint</i> no rio Taquara (baixa BHRC); C - <i>Knickpoint</i> no rio Saudades (baixa BHRC); D - Detalhe do fraturamento da rocha.	91
Figura 37- <i>knickpoints</i> do rio Bebedor: A - Cachoeira com morfologia convexa, com poço e concavidade na base da queda; B- segunda e terceira quedas, com morfologia retilínea e poço incipiente e terceira queda em degraus com poço em formação; C - Trecho de corredeira com degraus formados por soleiras e pequenos poços. D - Aspecto de extenso trecho tipicamente rochoso e com carga de fundo grosseira, a montante da cachoeira da foto A.	93
Figura 38- A - escarpamento da margem esquerda no baixo curso do rio Roseira, na alta bacia; B - visão ampla do <i>knickpoint</i> do alto curso do rio Xaxim, na baixa bacia; C - detalhe do <i>knickpoint</i> do rio Roseira; D - detalhe do <i>knickpoint</i> do rio Xaxim.	95
Figura 39- Salto da meia-lua no rio Burro Branco (baixa BHRC): <i>knickpoint</i> com desnível de cerca de 2 metros.	96
Figura 40- A – <i>Knickpoint</i> na sanga Grande; B - <i>Knickpoint</i> no córrego Zulmira; C - <i>Knickpoint</i> no arroio Cedrinho.	98
Figura 41- <i>Knickpoint</i> do lajeado Cotia (baixa BHRC).	100
Figura 42- A e B - Trechos de corredeira sob carga de fundo grosseira no arroio Caramujo (média BHRC); C - <i>Knickpoint</i> originado por tronco de madeira caído no leito (círculo vermelho) e associado a bloco rochoso que funciona como ponto de sustentação do tronco: rio Bebedor (média BHRC)	102
Figura 43- A - Barramento de talvegue na bacia do córrego Cachacinha (alta BHRC, PCG); B- Barramento seguido de bueiro no córrego do Campo (alta BHRC, PCG); C - Solo exposto no alto vale do rio Cachacinha pela atividade de silvicultura. (alta BHRC, PCG).	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- 56 canais em ordem alfabética e suas características	49
Tabela 2O - Outliers identificados entre os 768 trechos dos 56 canais afluentes.	52
Tabela 3 - Associação dos <i>knickpoints</i> ao mapeamento geomorfológico da BHRC.....	61
Tabela 4- Associação dos <i>knickpoints</i> visíveis nos perfis longitudinais à litologia, compartimentação geomorfológica e feições.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

BHRC – Bacia hidrográfica do rio Chapecó

BDGEX – Banco de Dados Geográficos do Exército do Brasil

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil

SIG – Sistema de Informações Geográficas

MDE – Modelo Digital de Elevação

ALOS PALSAR – *Advanced Land Observing Satellite – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*

PCG – Planalto dos Campos Gerais

PDU – Planalto Dissecado do rio Uruguai

RDE – Relação Declividade-Extensão

> média – trechos cujos valores foram maiores que a média aritmética do valor do índice de Hack.

> média +1 dp - trechos cujos valores foram maiores que a média aritmética do valor do índice de Hack somado a um desvio padrão

SL ou K – *Stream length-gradient index* ou índice de Hack

Ksn – índice normalizado de declividade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. METODOLOGIA	19
3 REVISÃO TEÓRICA.....	22
3.1 <i>KNICKPOINTS</i> (RUPTURAS DE DECLIVE FLUVIAL)	22
3.1 ÍNDICE DE HACK	26
3.2 NÍVEL DE BASE.....	28
3.3 CANAIS DE LEITO ROCHOSO E PERFIS LONGITUDINAIS	30
3.4 HISTÓRIA GEOMORFOLÓGICA DO PLANALTO BASÁLTICO MERIDIONAL E DA SUA REDE DE DRENAGEM	32
4 ÁREA DE ESTUDO	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 AMPLITUDES DO ÍNDICE DE HACK, DESVIO PADRÃO MÉDIO E OUTLIERS 48	
5.2 <i>KNICKPOINTS</i> COM BASE NO ÍNDICE DE HACK MAIOR QUE A MÉDIA ARITMÉTICA ($K > \text{MÉDIA}$)	55
5.3 <i>KNICKPOINTS</i> COM BASE NO ÍNDICE DE HACK MAIOR QUE A MÉDIA ARITMÉTICA SOMADO A UM DESVIO PADRÃO ($K > \text{MÉDIA} + 1 \text{ DP}$)	56
5.3.1 ANÁLISE DOS <i>KNICKPOINTS</i> NA RELAÇÃO COM A GEOMORFOLOGIA, HIPSOMETRIA E DECLIVES.....	58
5.3.2 ANÁLISE DOS <i>KNICKPOINTS</i> EM RELAÇÃO À DISTÂNCIA DA FOZ	63
5.3.3 ANÁLISE DOS <i>KNICKPOINTS</i> EM RELAÇÃO A LITOLOGIA E LINEAMENTOS ESTRUTURAIS	67
5.4 <i>KNICKPOINTS</i> VISÍVEIS NOS PERFIS LONGITUDINAIS.....	69
5.5 OBSERVAÇÕES DE CAMPO E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS <i>KNICKPOINTS</i>	81
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
7 REFERÊNCIAS	109
APÊNDICE A – Perfis longitudinais dos 58 canais amostrados nesta pesquisa	117

1. INTRODUÇÃO

A história geomorfológica do alto rio Uruguai está diretamente relacionada à ação da rede de drenagem, na qual os rios atuam como um dos principais agentes morfogenéticos da paisagem planáltica do oeste de Santa Catarina e do norte do Rio Grande do Sul. O relevo atual é o resultado de uma longa sucessão de ciclos erosivos, moldados por fatores tectônicos, climáticos e hidrológicos de tal modo intrincados que é difícil encontrar na literatura fases bem definidas da evolução morfogenética da área. A interação entre esses processos deu origem a uma paisagem compartimentada em níveis diversos de planaltos, onde se alternam morfologias colinosas e de vertentes extensas com vales encaixados e uma rede de drenagem reconfigurada ao longo do tempo geológico.

No contexto do alto rio Uruguai está localizada a bacia hidrográfica do rio Chapecó (BHRC), sendo esta a maior bacia contribuinte da margem direita do rio Uruguai em território catarinense. Ela apresenta paisagem típica de formações vulcânicas majoritariamente basálticas, condição que se aplica a porção ou província geomorfológica sul da Bacia Sedimentar do Paraná associada à Zona das Missões e ao Planalto das Araucárias, conforme Almeida (1956) e Bartorelli (2004). O Planalto das Araucárias é dividido em diversas unidades geomorfológicas e planálticas. Todo o oeste catarinense, incluindo a bacia hidrográfica do rio Chapecó, está englobado nos subcompartimentos ou unidades do Planalto Dissecado do rio Uruguai e do Planalto dos Campos Gerais (IBGE, 2018). Assim como o rio Uruguai, o rio Chapecó segue para o oeste, direcionando-se para interior do continente e não para a vertente atlântica do Brasil. Isso sugere que a atual rede de drenagem possa ser um vestígio de um sistema tão antigo quanto aquele que existia no supercontinente Gondwana, antes da separação que originou a América do Sul e a África (Potter, 1997). Rodríguez Tribaldos et al., (2017) afirmam que é razoável supor que a atual rede de drenagem da América do Sul se configurou após a separação desta da África no início do Cretáceo.

O relevo da região é caracterizado por planaltos desdobrados em diferentes níveis topográficos, com uma ampla e densa rede de drenagem. Os canais escoam predominantemente em leito rochoso e misto com diferentes graus de dissecação e

incisão, com profusão de rupturas de declive nos canais (*knickpoints*), de variadas extensões e alturas. Tais rupturas de declive são feições fluviais que constituem mudanças abruptas na declividade dos canais de drenagem, exprimindo-se na morfologia dos leitos como cachoeiras, corredeiras, soleiras ou pequenos ressaltos muito comuns em canais de variadas ordens fluviais.

Uma das questões em aberto sobre a evolução da rede de drenagem da região refere-se à compreensão desses *knickpoints*, que se desenvolvem em toda a rede de drenagem regional. Estes *knickpoints* podem ser marcadores de processos tectônicos associados a esforços intraplacas, ou são feições sem relação direta com fatores tectônicos, originadas apenas pela dinâmica interna e hidráulica dos canais? A associação genética desses *knickpoints* com falhas e fraturas das rochas do Grupo Serra Geral, ou mesmo com as alternâncias entre litologias básicas (basaltos) e ácidas (riolitos e dacitos), ainda não é clara, como destacam autores como Lima e Flores (2017) e Lima (2023), no contexto basáltico do estado do Paraná.

Os *knickpoints* são morfologias diretamente associadas a perturbações que afetam a rede de drenagem, sejam essas de origem tectônica ou não (Gailleton et al., 2019). No domínio das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, a relação dessas feições com falhas e fraturas é ainda pouco compreendida. Uma dúvida persistente é se tais rupturas podem ser interpretadas como marcadores cinemáticos de falhamentos ligados a tensões neotectônicas quaternárias (fator ativo), ou se são feições originadas por características estruturais da litologia como juntas de resfriamento e/ou níveis litoestruturais (fator passivo). Normalmente tais feições são associadas a características estruturais da rocha subjacente, mas também se admite que possam existir sutis influências tectônicas na sua origem (Sordi et al., 2018).

No caso de toda a área vulcânica de rochas extrusivas da Bacia do Paraná essas feições são muito recorrentes e acreditamos que no caso da área de estudo dessa pesquisa, a bacia hidrográfica do rio Chapecó (BHRC), a investigação da sua distribuição geográfica na contraposição a outros dados geomorfométricos e geológicos já existentes possa lançar luz sobre a sua gênese e sobre eventos atinentes à rede de drenagem mais ou menos recentes na evolução geomorfológica dessa paisagem de origem vulcânica. O estudo dos *knickpoints* em uma bacia cuja rede de drenagem apresenta expressiva incisão, em meio a dois tipos litológicos efusivos predominantes (ácidos e básicos) e inserida em contexto de margem passiva e assísmica, contribui para avaliar em que medida essas feições podem atuar como

marcadores de efeitos tectônicos intra-placa, ou se resultam prioritariamente de controles litológicos e morfoestruturais.

Bertolini, Zambot e Deodoro (2023) mensuraram o índice de Hack para os rios Chapecó e Chapecozinho e verificaram através da análise morfométrica e qualitativa da rede de drenagem a existência de uma condição de desequilíbrio geomorfológico característica da atual fase morfogenética do seu relevo. Esta condição é marcada pela existência de perfis longitudinais convexos e irregulares em vários afluentes dos rios Chapecó e Chapecozinho, rupturas de declive fluvial (*knickpoints*), sub-bacias com valores elevados de assimetria e baixa correlação entre gradientes de vertente e do canal principal em 43 sub-bacias analisadas dentro da BHRC. Na proposta deste trabalho essas 43 sub-bacias foram ampliadas para 56, de modo a realizar uma análise mais focada na espacialização dos *knickpoints* de uma amostra maior de afluentes dos dois níveis de base principais da bacia, os rios Chapecó e Chapecozinho, na relação com outras características geológicas, geomorfológicas e morfométricas da rede de drenagem.

2. METODOLOGIA

Os *knickpoints* neste trabalho foram identificados na escala de 1:50.000 com base na cartografia sistemática que recobre a BHRC, disponibilizada pelo Banco de Dados Geográficos do Exército do Brasil (BDGEX), por meio da relação declive x extensão conhecida na literatura como índice de Hack (figura 1) ou índice SL de 56 afluentes diretos dos rios Chapecó e Chapecozinho que constituem os níveis de base principais da bacia. Os 56 canais foram escolhidos tendo em vista uma amostragem geográfica ampla pelos trechos de alta, média e baixa bacia, sobre os dois tipos litológicos básicos (rochas ácidas e básicas) e nos dois compartimentos geomorfológicos existentes na área (Planalto Dissecado do rio Uruguai e Planalto dos Campos Gerais).

Figura 1- Modo de cálculo do índice de Hack.

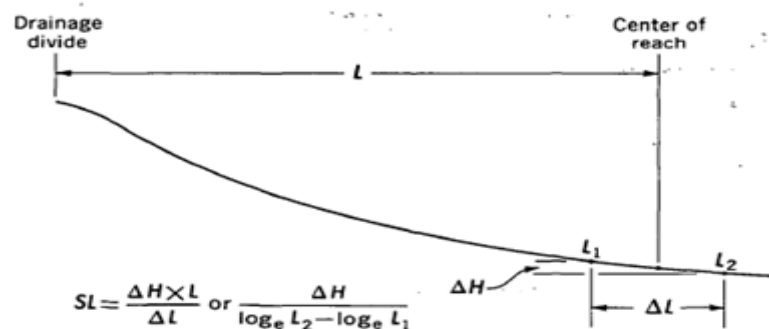


Figure 1.—Measured parameters used in calculation of gradient index. Symbols are defined in text.

Fonte: Hack (1973).

Os *knickpoints* obtidos através do índice de Hack foram analisados na relação com o perfil longitudinal dos canais, também obtidos com base nas curvas de nível do mapeamento sistemático em escala de 1:50.000. Os trechos para os quais o índice de Hack foi mensurado foram aqueles entre as curvas de nível nessa mesma escala, desde a nascente até a foz de cada um dos 56 canais. Os dados foram extraídos em SIG sobre as cartas topográficas e graficados por meio do Excel, juntamente com a variação dos valores do índice de Hack. Com o uso da ferramenta Real Statistic

(Zaiontz, 2025), no Microsoft Excel, foi possível realizar a extração dos valores de média, mediana, desvio padrão, valores máximo, mínimo e *outliers*.

Com base nos valores do índice de Hack, a identificação dos *knickpoints* se deu pela aplicação dos seguintes dois critérios estatísticos: i) trechos cujos valores foram maiores que a média aritmética do valor do índice de Hack ($> \text{média}$); ii) trechos do canal com valores maiores que a média aritmética do índice de Hack somado a um desvio padrão ($> \text{média} + 1 \text{ dp}$). Também foram identificados *knickpoints* por meio da observação visual das variações de inclinação do perfil longitudinal dos canais. Assim, trechos onde havia degraus foram reconhecidos como *knickpoints*. Mesmo sendo um método mais subjetivo, a análise visual mostrou-se fundamental para identificar rupturas sutis na geometria do canal que nem sempre são detectadas pelos critérios estatísticos. Além disso, essa leitura complementar é essencial para validar e contextualizar os resultados quantitativos obtidos. Quando os trechos associados ao índice de Hack ocorreram em sequência foram denominados como *knickzones*. Apesar de não haver um critério objetivo ou valor limite que seja considerado indicativo de valor anômalo do índice de Hack (Peifer, Cremon, Alves, 2020), o critério estatístico aqui adotado de $> \text{média} + 1 \text{ dp}$ na consideração de trechos anômalos também foi adotado por Das (2018) para a bacia do rio Pravara no Planalto do Decã (Índia) em contexto basáltico. No caso da BHRC, e considerando que se trata de um conjunto de canais com extensão muito variada (de 3,64 km (córrego Zulmira) a 137,19 km (rio Burro Branco), julgou-se apropriado considerar este valor como definidor dos *knickpoints* para cada um dos 56 canais amostrados na BHRC. Destaca-se que na literatura sobre o tema não há um critério numérico único que diga se o valor do índice é alto ou baixo. O próprio Hack (1973) afirmou que os valores do índice de gradiente (*gradient index* - SL ou K) devem ser avaliados na contraposição à geomorfologia e geologia da área de drenagem e suas características. É a variação acentuada entre os valores do índice calculados para os trechos do canal que são consideradas anomalias do ponto de vista da relação declive-extensão do canal.

A distribuição geográfica dos *knickpoints* dos 56 canais na BHRC e dos rios Chapecó e rio Chapecozinho foi analisada na contraposição ao mapeamento geológico e de falhas/fraturas para a área de estudo, conforme o Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina CPRM (2014), em escala de 1:500.000. Isso foi feito por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com a ajuda do QGis, por meio do qual também foi realizada uma análise de densidade dos *knickpoints* a partir do

interpolador de Kernel. Foram considerados ainda os seguintes critérios para a análise espacial dessas feições: valores do índice de Hack e distinção de *outliers* em cada canal, declividade do trecho considerado *knickpoint* e a distância da foz do canal.

Foi realizada também a contraposição dos *knickpoints* em relação ao mapeamento geomorfológico do projeto Radam Brasil (IBGE, 2018), em específico o Mapa da Folha Curitiba (SG22) que abrange a área de estudo. Nessa análise foi possível fazer a contraposição dos *knickpoints* às Unidades Geomorfológicas presentes na BHRC: o Planalto dos Campos Gerais (PCG) e o Planalto Dissecado do rio Uruguai (PDU) e às escarpas erosivas do Planalto Dissecado do rio Uruguai e à região de contexto da borda da estrutura circular da cratera de impacto (Domo de Vargeão/SC).

Para facilitar a análise espacial dos *knickpoints*, a bacia foi dividida em três porções: alta, média e baixa. Essa divisão foi baseada na sua hipsometria, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com resolução espacial de 12,5 m (ASF, 2015). Assim, os *knickpoints* da baixa BHRC foram aqueles localizados em cotas inferiores a 699 metros de altitude, da média bacia aqueles entre 700 e 1.079 metros, e da alta bacia aqueles acima de 1.080 metros.

Após a identificação das anomalias nos valores do índice pelo critério estatístico adotado, em campo foi efetuada a identificação visual *in loco* (tanto quanto possível) verificando os aspectos de morfologia e desnível altimétrico no local de modo a verificar se se vinculam a cachoeiras (desníveis da ordem de metros) ou se são apenas pequenos ressaltos nos cursos dos canais. O trabalho de campo foi indispensável, pois através dele pôde ser comprovado se os altos valores do índice Hack correspondem a cachoeiras ou rupturas de declive menores além de permitir a visualização da sua inclinação, o desnível e a altura deste desnível, além de outras características geomorfológicas como a litologia do local e a presença de outras estruturas morfológicas. Foram realizados 8 trabalhos de campo entre 2023 e 2025, totalizando a verificação em campo de 20 *knickpoints* dentre aqueles obtidos pela aplicação dos critérios estatísticos ao índice de Hack.

É importante ressaltar que os *knickpoints*, identificados pelos diferentes critérios, correspondem a trechos do canal, mas, para fins de representação cartográfica, foram representados como pontos para facilitar a visualização cartográfica.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 *KNICKPOINTS* (RUPTURAS DE DECLIVE FLUVIAL)

O estudo dos rios é útil na avaliação da atividade tectônica porque eles respondem às mudanças na superfície e à atividade tectônica recente (Holbrook e Schumm, 1999; Jain e Sinha, 2005; Turowski et al., 2006; Amos e Burbank, 2007). Uma das principais formas associadas aos leitos e à atuação hidrodinâmica dos canais fluviais são os *knickpoints*, também conhecidos na literatura nacional como rupturas de declive.

Os *knickpoints*, ou rupturas de declive, são feições fluviais reconhecidas como marcadores de variados processos geomorfológicos que modificam a paisagem no tempo geológico. Caracterizam-se por mudanças abruptas na inclinação do leito dos rios, manifestando-se como convexidades e degraus no perfil longitudinal dos canais. *Knickpoints* são seções do canal fluvial onde o declive é acentuadamente mais íngreme em comparação com as áreas a montante ou a jusante, conforme definido por Scheingroos et al. (2020) e são locais de maior dissipação de energia ao longo do percurso de um curso d'água (Hack, 1973; Wohl, 1998). Variações espaciais no gradiente do relevo, incluindo aí aquelas relacionadas aos canais da rede de drenagem, podem ser usadas para identificar a evolução tectônica e geomorfológica de uma região (Lifton e Chase, 1992; Keller e Pinter, 2002; Carretier et al., 2006). Essas características geomorfológicas ajudam a entender o comportamento dos cursos d'água e suas interações com processos geológicos e hidrossedimentares, e podem indicar um estado de desequilíbrio na rede de drenagem, conforme evidenciado por Silva et al. (2006) e Ambili e Narayana (2014).

Embora o conceito de *knickpoint* não tenha caráter genético, mas apenas morfológico (Phillips e Lutz, 2008), essas feições fluviais representam um elemento crucial na compreensão da dinâmica dos cursos d'água e na evolução das paisagens onde a rede de drenagem tem papel importante na escultura do relevo. A multiplicidade de interações complexas entre fatores geológicos, hidrológicos e morfológicos na sua origem torna necessário um aprofundamento nas pesquisas sobre esse tipo de feição. A análise dos *knickpoints* não apenas fornece informações sobre a morfologia dos rios, mas também sobre as respostas do relevo às alterações

ambientais e tectônicas. As características dos *knickpoints* são importantes para entender as respostas do relevo ao rebaixamento do nível de base e aos fluxos de sedimentos em bacias rejuvenescidas. Esse comportamento deve ser integrado nos modelos numéricos de evolução geomorfológica de larga escala, conforme sugerido por Bishop et al. (2005). Assim, a investigação sobre a gênese e comportamento dos *knickpoints* é fundamental para um entendimento mais abrangente dos sistemas fluviais e suas transformações ao longo do tempo.

Os *knickpoints* estão frequentemente associados a vários fatores, incluindo processos tectônicos, variações na resistência litológica ao longo do canal (Gardner, 1983; Miller, 1991), mudanças na dinâmica de sedimentação (Christofolletti, 1981; Wohl, 1998), mudanças na taxa de soerguimento tectônico ou adernamentos (*tilting*) da superfície e glaciações (Scheingross, Lamb e Fuller, 2019). *Knickpoints* nos limites entre tipos diferentes de rochas são também gerados como resultado das características litológicas, como por exemplo a resistência (Stock e Montgomery, 1999) e movimento de falhas também podem criar *knickpoints* (Whittaker et al., 2007; Berlin e Anderson, 2007) além da atividade tectônica como o rebaixamento do trecho a jusante de uma falha (Bull, 2007). Esses fatores provocam rearranjos significativos no perfil longitudinal, resultando em quebras no declive do canal, isto é, *knickpoints*, como expressões diretas dos ajustes fluviais a perturbações intrínsecas ou de fases de transição, conforme apontado por Gailleton et al. (2019).

De modo genérico, a gênese dos *knickpoints* é frequentemente atribuída a perturbações externas que impactam o equilíbrio entre erosão e soerguimento, conforme discutido por Scheingroos et al. (2020) e influenciada por fatores como a frequência de fraturas, a estratificação litológica e a relação entre a inclinação das camadas e a direção do fluxo do rio (Miller, 1991; Wohl, 1998). É de aparente consenso que a localização do *knickpoint* registra um evento de perturbação onde o trecho a montante mantém as características anteriores e o trecho a jusante do *knickpoint* representa as condições de ajuste a um novo estado de rearranjo de forças no sistema (Kirby e Whipple, 2012).

O desenvolvimento dos *knickpoints* é um processo dinâmico que resulta em uma intensificação da erosão nas regiões de ruptura pois, “a tensão de cisalhamento é maior logo acima e na face do *knickpoint*” (Gardner, 1983) levando à formação de cachoeiras, corredeiras e pequenos degraus no leito do rio. Esse processo não apenas altera o perfil do leito fluvial ao longo do tempo, mas também desencadeia

respostas hidrossedimentares como o aumento da capacidade de transporte de sedimentos e mudanças nas características morfológicas do curso d'água.

Os *knickpoints* são reconhecidos nos perfis longitudinais dos rios como degraus ou irregularidades de diferentes dimensões. A análise dessas características é uma prática que remonta a estudos clássicos, como os de William Morris Davis (1899), que “absorveu o conceito de ruptura de declive em seu esquema cíclico, dando-lhe significância na interpretação de paisagens morfológicas e criando os fundamentos para a elaboração das sequências cíclicas e para a cronologia denudacional” (Christofolletti, 1981). Segundo Davis (1899), no estágio de maturidade do relevo a rede de drenagem tende a suavizar suas irregularidades herdadas da juventude, aproximando-se de um perfil em equilíbrio. Nesse contexto, tais *knickpoints* (irregularidades do perfil longitudinal) tenderiam a ser progressivamente rebaixados ou movimentados canal acima, aproximando-se das cabeceiras adaptando-se às mudanças de nível de base.

Embora haja uma quantidade relativamente limitada de estudos sobre processos fluviais em canais de leito rochoso, investigações em rios como Narmada e Tapi (Índia) revelaram que trechos estreitos estão associados a altos níveis de dissipação de energia, como demonstrado por Kale et al. (1994, 1997a), Rajaguru et al. (1995) e Baker e Kale (1998). Essas estimativas destacam a complexidade das interações entre morfologia do leito e dinâmica hidrossedimentar.

A literatura apresenta uma vasta gama de estudos que discutem a mobilização e dinâmica dos *knickpoints* ao longo dos canais fluviais, apontando para a necessidade de abordagens analíticas mais abrangentes. Groh e Scheingross (2022) argumentam que nem todos os *knickpoints* podem ser atribuídos a perturbações externas ou a controles litológicos específicos, sendo plausível que alguns tenham origem autogênica, como resultado de interações entre erosão, transporte sedimentar e a hidráulica do fluxo. Essa hipótese é reforçada por Lavaissière et al. (2022), que, em experimentos laboratoriais com rebaixamentos do nível de base de 5, 10 e 15 mm/h, observaram a gênese autóctone de *knickpoints*. Os autores mostraram que essas feições se desenvolveram à medida que a rede de drenagem evoluiu, independentemente da homogeneidade do material, da precipitação ou das taxas de rebaixamento, indicando que os *knickpoints* surgiram exclusivamente de ajustes geomórficos internos. Os resultados revelaram que, em todos os experimentos, os *knickpoints* se originaram na foz e migraram para montante, tornando-se

progressivamente mais íngremes, com taxas de recuo associadas à taxa de queda do nível de base e apresentando máxima velocidade de migração quando localizados a uma distância intermediária entre a foz e o divisor de águas (Lavaissière et al., 2022, p. 232). Com base em observações teóricas e experimentais, acredita-se que, se a face abrupta (*step slope*) de um *knickpoint* intensifica a erosão, então ele tende a migrar para montante. No entanto, essa migração raramente é contínua ao longo do canal, devido à variabilidade da resistência do substrato rochoso, da vazão do fluxo, e à instabilidade das rupturas no leito, que podem se modificar rapidamente (Crosby e Whipple, 2006, p. 20).

Em trabalho sobre os condicionantes climáticos e litológicos sobre a rede de drenagem na província vulcânica do Decã (Índia), Dole, Das e Kale (2022) afirmaram que sobre a topografia madura também são abundantes os *knickpoints* e cachoeiras e que estas feições têm mais a ver com a estratificação da pilha basáltica e com contatos entre diferentes derrames, não tendo necessariamente conotação estrutural ou tectônica.

Whittaker e Boulton (2012) investigaram as taxas de recuo remontante de *knickpoints* associados a falhas tectônicas ativas em 19 bacias de leito rochoso na Turquia e em 11 nos Apeninos Centrais, na Itália. Os resultados indicaram que essas feições apresentaram velocidades médias de recuo variando entre 0,2 e 2 mm/ano em bacias com áreas entre 6 e 65 km². Apesar das variações na litologia e nas dimensões das bacias, observou-se uma ampla diversidade nas taxas de migração. Esses dados sugerem que os *knickpoints* que cruzavam falhas com maiores rejeitos verticais apresentavam maior velocidade de retração, evidenciando o papel direto da tectônica na modulação da dinâmica fluvial.

Groh e Scheingross (2022) também enfatizam que é improvável que cada encachoeiramento em uma *knickzone* seja resultado direto de contatos litológicos ou perturbações externas, reforçando a hipótese de formação autogênica dessas feições. Assim, os estudos recentes convergem para uma visão mais complexa da dinâmica dos *knickpoints*, na qual a gênese e a retração remontante podem ocorrer de modo autóctone, influenciadas por processos internos da rede de drenagem, mesmo em ambientes com condições externas aparentemente homogêneas.

Salamuni et al. (2015) realizaram uma análise morfotectônica abrangente da região sul do Brasil com o objetivo de identificar evidências de atividade neotectônica a partir da integração entre superfícies de aplainamento, dados morfométricos,

observações de campo, imagens de satélite e modelos digitais de elevação. Os autores destacam que, em Santa Catarina, há diversos indícios de controle tectônico recente, sobretudo no setor centro-oeste do estado, onde se observa um alto topográfico preservando porções da antiga superfície de aplainamento, articulado com um bloco rebaixado profundamente dissecado pela drenagem do rio Chapecó e seus afluentes.

3.1 ÍNDICE DE HACK

Um dos índices morfométricos utilizados para detectar áreas influenciadas por atividades tectônicas é o índice de Hack (Fujita, Paisani e Pontelli, 2017), também conhecido como índice de extensão/gradiente do canal (*stream length-gradient* - SL) e por Relação Declividade-Extensão (RDE). Esse índice foi proposto por John T. Hack (1957; 1973) e se tornou um método quantitativo para a identificação de *knickpoints* ao longo dos canais fluviais. Esses *knickpoints* são frequentemente associados a convexidades nos perfis longitudinais dos rios, que podem indicar processos intervenientes na alteração do perfil longitudinal do canal com variações significativas na dinâmica fluvial.

O índice de Hack se mostra uma ferramenta valiosa para entender como a geologia e a dinâmica dos rios interagem. Ele não só ajuda a identificar características geomorfológicas importantes, mas também oferece uma visão sobre os processos que moldam as paisagens fluviais. A articulação entre processos tectônicos, ativos ou passivos, e os sistemas fluviais é indispensável para entender as transformações que ocorrem nesses sistemas.

O índice de Hack tem sido aplicado sistematicamente em diversas regiões do mundo para avaliações morfométricas, conforme demonstrado em estudos como os de Lifton e Chase (1992), Keller e Pinter (2002) e Troiani e Della Seta (2008). A aplicação prática do índice envolve o cálculo da relação de extensão com o declive do canal, o que normalmente é feito segmentando o canal e aplicando o cálculo a cada segmento ou trecho. O índice também pode ser mensurado para o canal inteiro, desde sua nascente até sua foz. A representação gráfica desses valores permite visualizar variações abruptas ou descontinuidades no perfil longitudinal, denominados como *knickpoints*. Segundo o próprio Hack (1973), o fato que o produto do declive pela extensão tenha uma relação com a potência fluvial deve ser explicado em termos das

complexas interrelações na geometria hidráulica que caracteriza a condição de equilíbrio dinâmico nos canais (Hack, 1973, p.422).

Segundo Santos, Ladeira e Batezelli (2019), mudanças bruscas nos valores do índice de Hack refletem não apenas alterações litológicas, mas também acréscimos na carga sedimentar. Dessa forma, o índice serve como uma ferramenta para identificar trechos com respostas geomórficas anômalas, permitindo inferir fatores que causaram essas mudanças sobre a evolução do relevo e da rede de drenagem de uma determinada região. Um dos grandes desafios na interpretação do índice está em identificar limiares de valores anômalos e, mais ainda, associar causas aos valores anômalos dele. Mesmo em relação aos valores do índice, não existem critérios objetivos que determinam valores anômalos para esse índice (Peifer, Cremon e Alves, 2020). O uso de valores anômalos e contrastantes do índice de Hack entre trechos, mais do que os valores absolutos por canal, são úteis em ao menos 3 modos diferentes, segundo Burbank e Anderson (2001): como ferramenta de reconhecimento, como meio de comparar as respostas do relevo em regiões com diferentes taxas de soerguimento, e como meio de identificar zonas anômalas de atividade tectônica em uma bacia.

A identificação dos *knickpoints* é frequentemente realizada através da extração automática a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de diferentes resoluções. Essa abordagem permite uma análise mais abrangente e rápida, uma vez que, devido às dificuldades de acesso aos locais onde essas feições ocorrem, é inviável realizar uma amostragem adequada apenas com verificações em campo.

Um estudo ilustrativo dessa metodologia foi conduzido por Sousa, Martins e Faria (2011), que identificaram *knickpoints* no trecho do rio Zêzere, um afluente do rio Tejo, localizado em um vale encaixado na Cordilheira Central Portuguesa. Utilizando o perfil longitudinal do canal e o índice de Hack, os pesquisadores conseguiram identificar a presença de abatimentos tectônicos, especialmente na região entre Pedrógão e Bogas de Baixo. Os resultados mostraram não apenas a influência da erosão diferencial, mas também o papel das soleiras quartzíticas de Farjão a Sarzedas na regularização dos processos tectônicos a montante dos níveis de base locais. Essa análise demonstra a relevância do índice de Hack na compreensão da dinâmica fluvial e na avaliação dos impactos das atividades tectônicas sobre os cursos d'água.

Complementando essas abordagens, Peifer e Persano (2017) aplicaram os índices normalizado de declividade (Ksn) e de comprimento-declividade (SL) para analisar a morfologia fluvial em 430 bacias do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, uma região pós-orogênica no Sudeste do Brasil caracterizada por relevo elevado e paisagem erosiva com canais mistos de leito rochoso e aluvial. Utilizando o modelo digital de elevação TanDEM-X, de 12 m), os autores quantificaram os valores locais dos índices ao longo de segmentos curtos de canal (120 m) em bacias com área de drenagem superior a 5 km². Os resultados mostraram que ambos os índices produzem padrões análogos de declividade dos perfis fluviais, evidenciando a robustez dessas métricas na identificação da dinâmica evolutiva da paisagem.

No caso da bacia do rio Chapecó, Bertolini, Deodoro e Zambot (2023) mensuraram o índice de Hack para os rios Chapecó e Chapecozinho e identificaram seis anomalias morfométricas ao longo desses canais, associadas a *knickpoints* e *knickzones*. A distribuição espacial dessas anomalias demonstra que apenas algumas apresentam associação direta com falhas, fraturas ou transições litológicas. Duas anomalias localizam-se no domínio de rochas ácidas da Formação Palmas (riodacitos e riolitos), sem coincidência com falhas ou fraturas reconhecidas nos mapas geológicos disponíveis (CPRM, 2014). Outra anomalia que corresponde às Quedas do rio Chapecó, está posicionada sobre o maior lineamento contínuo da bacia, com orientação NW-SE, sugerindo tratar-se de uma estrutura falhada. Nesse ponto, o rio apresenta uma sequência de *knickpoints* e uma queda abrupta superior a 30 metros. Já as outras duas anomalias ocorrem em zonas de transição entre rochas ácidas e básicas, mas não exibem associação clara com falhas ou fraturas mapeadas. Os autores destacam que a correlação entre *knickpoints* e estruturas tectônicas deve ser analisada com cautela, considerando a ausência de mapeamento geológico detalhado de falhas para a região.

3.2 NÍVEL DE BASE

O conceito de nível de base é fundamental para compreender a dinâmica dos processos erosivos e as mudanças na morfologia dos cursos d'água. Os níveis de base referem-se a pontos críticos que determinam a extensão e a direção dos processos erosivos em uma bacia hidrográfica. Esses níveis servem como referências

para a atividade erosiva, influenciando a forma como os sedimentos são removidos ou depositados ao longo dos cursos d'água.

Nível de base pode ser definido, sinteticamente,

“como ponto controlador da vaga erosiva remontante, toda e qualquer mudança na posição do nível de base ocasiona, em consequência, uma retomada de erosão através da propagação de novas ondas erosivas ou de fases de entulhamento, que paulatinamente progridem ao longo dos cursos de água, em direção de montante, resultando em perfis fluviais multicíclicos’ (Christofolletti, 1980, p.83).

Segundo Lana e Castro (2012, p.56), o nível de base global, considerado por muitos autores, é o nível do mar, enquanto zonas deprimidas são vistas como níveis de base locais ou regionais. Assim, um canal ou um depósito fluvial dentro de uma bacia hidrográfica pode ser classificado como nível de base local. Outros exemplos de níveis de base incluem lagos, reservatórios artificiais, confluências de rios e quedas d'água, que atuam como limites de erosão e sedimentação em escala local ou regional.

Esses níveis de base podem ser alterados por uma série de fatores, como mudanças no nível médio do mar, uso do solo e ação tectônica. Tais processos provocam, a longo prazo, um rearranjo na rede de drenagem e afetam a posição dos *knickpoints*, que podem funcionar como níveis de base para os processos hidrogeomorfológicos fluviais a montante. A dinâmica desses *knickpoints* pode envolver migração ao longo dos perfis ou até seu desaparecimento devido à ação erosiva (Magalhães Júnior, Barros e Lavarini, 2020, p. 66). Compreender esses níveis é fundamental para analisar as transformações da paisagem fluvial ao longo do tempo, uma vez que mudanças podem ser impulsionadas por diversos fatores, como variações no nível do mar, intervenções humanas e processos tectônicos que reconfiguram as características geológicas e hidrológicas das bacias. Essa análise proporciona uma compreensão mais profunda das dinâmicas naturais que moldam os ambientes fluviais.

Na evolução do relevo das paisagens continentais, a mudança do nível de base está diretamente relacionada à incisão do talvegue. Tanto em áreas tectonicamente ativas quando estáveis desse ponto de vista, as taxas de incisão fluvial são reflexos diretos das taxas de abaixamento do nível de base em resposta a eustasia, soerguimento da superfície ou ambos (Zaprowski et al., 2005). Mudanças no nível de

base também podem ocorrer devido a taxas de incisão diferentes junto a foz de canais (Crosby e Whipple, 2006).

De acordo com Magalhães Júnior, Barros e Lavarini (2020), “os *knickpoints* podem representar níveis de base para os processos hidrogeomorfológicos fluviais a montante. Sua dinâmica pode envolver a migração ao longo dos perfis ou mesmo o seu desaparecimento devido à atuação dos processos erosivos.”

Em relação aos *knickpoints*, há um certo consenso de que quedas no nível de base, ou seja, rebaixamento do nível de base seja por qual motivo for, aumentam a taxa de incisão do canal e os efeitos disso se propagam remontantemente pela rede de drenagem, gerando inclusive *knickpoints* (Whipple e Tucker, 1999). Esse tipo de situação foi constatado em experimentos de laboratório em condições controladas por Hasbargen e Paola (2000).

3.3 CANAIS DE LEITO ROCHOSO E PERFIS LONGITUDINAIS

O conceito de leito rochoso fluvial (*bedrock channel*) é definido como aqueles canais que possuem a rocha exposta ou próxima à superfície em seu leito e margens. Comumente, pode haver cobertura aluvial esparsa e fina ao longo de trechos intermitentes do canal (Whipple, Di Biase e Crosby, 2013). Rios de leito rochoso representam fluxos acanalados onde a incisão no substrato é ativa. Canais rochosos ou mistos são caracterizados pela cobertura aluvial ausente ou descontínua no tempo e no espaço, geralmente rasa e facilmente mobilizável quando presente (Howard et al., 1994). Os canais desse tipo são típicos de vales confinados, e seus gradientes maiores em relação aos canais aluviais dotam-nos de alta capacidade de transporte (Howard et al., 1994; Montgomery e Buffington, 1997), caracterizando-os assim com uma potência fluvial maior e maior incisão potencial no substrato rochoso (Howard et al., 1994).

De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017):

“considera-se um rio de leito rochoso aquele em que o embasamento rochoso esteja exposto em mais de 50% de seu curso. Também são incluídos nessa categoria os rios que, embora apresentem uma pequena camada aluvial intensamente mobilizada durante as cheias, tenham o padrão de fluxo e transporte controlado pela geometria do canal rochoso (Tinkler, 1998). Os rios rochosos são encontrados em todo o mundo onde a erosão supera a deposição devido ao abaixamento do nível de base ou por alteração no balanço sedimentar, seja por mudanças climáticas, seja por mudanças antrópicas [...]”

Uma grande diferença entre os rios de leito rochoso e os rios aluviais, destacada por Lima (2023), está na velocidade do fluxo do canal. Canais de leito rochoso possuem maior velocidade por estarem dispostos em relevos com declividades mais acentuadas. O fraturamento das rochas efusivas da Bacia do Paraná já é conhecido há bastante tempo (Leinz, 1949; Guidicini e Campos, 1968; Lima e Binda, 2013). Essa condição estrutural favorece processos de erosão como o arrancamento (*plucking*), principalmente em canais com elevada energia e densidade de juntas/fraturas. Processos de arrancamento (*plucking*) também são comuns nesse tipo de canal e ocorrem quando blocos rochosos do leito são fragmentados e removidos pela força hidráulica (Christofoletti, 1981; Lima, 2023). A erosão por arrancamento ou destacamento, além de afetar o leito do rio, pode comprometer as margens do canal, estando associada a diversos mecanismos estruturais como falhas, fraturas, soerguimentos, arrastamentos e tombamentos, este último ocorrendo principalmente a jusante de rupturas de declive (Lima, 2023). Nesse contexto, Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que “é necessário que o substrato rochoso se encontre previamente fraturado” para que isso ocorra.

A erosão nesses canais ocorre por mecanismos como abrasão (*abrasion*), que, por meio do impacto de sedimentos em movimento, remove o material rochoso e origina formas como as marmitas, presentes em alguns rios da BHRC. De acordo com Christofoletti (1980) e Stevaux e Latrubesse (2017), o fluxo d’água em um rio pode ser laminar ou turbulento. O fluxo laminar caracteriza-se pela suavidade e baixa velocidade, enquanto o fluxo turbulento apresenta aumento da velocidade, movimentos heterogêneos e correntes secundárias contrárias ao fluxo do canal. O fluxo turbulento apresenta duas classificações: fluxo turbulento corrente e fluxo turbulento encachoeirado, este último dando origem a trechos de velocidades mais elevadas, como nas corredeiras e cachoeiras, o que possibilita um aumento na intensidade da erosão. Christofoletti (1980) e Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que “os fatores que afetam a velocidade crítica, permitindo que o fluxo laminar se torne turbulento, são a viscosidade, a densidade do fluido, a profundidade e a rugosidade da superfície do canal.” Conforme destacado por Lima (2023) e Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020), a velocidade do fluxo nos canais de leito rochoso é maior devido aos gradientes mais acentuados. Segundo Howard, Dietrich e Seidl (1994), canais de

leito rochoso não têm uma geometria hidráulica simples porque o seu gradiente é uma variável semi-independente.

Segundo Magalhães Junior, Barros e Lavarini (2020), o conceito de perfil longitudinal complementa a compreensão dos canais de leito rochoso. O perfil longitudinal representa as cotas altimétricas do canal ao longo da sua extensão, fornecendo informações sobre a variação da declividade ao longo da extensão, e indiretamente também sobre o transporte de sedimentos e os efeitos do substrato rochoso na morfologia fluvial.

Nos rios de leito rochoso, a exposição ou proximidade da rocha condiciona a forma do perfil, que pode apresentar trechos côncavos, convexos ou pontos de ruptura. Perfis côncavos indicam maior equilíbrio geomorfológico, caracterizando segmentos em que a erosão e o transporte de sedimentos estão relativamente estabilizados, sem rupturas significativas de gradiente. Em contrapartida, segmentos convexos ou com *knickpoints* podem refletir interferências externas, como alterações na carga sedimentar, mudanças de fluxo, variações na resistência litológica ou atividade neotectônica (Whipple, 2001; Whittaker; Boulton, 2012; Pazzaglia, 2013, *apud* Magalhães Junior, Barros e Lavarini, 2020).

A análise do perfil longitudinal é instrumento fundamental para compreender a interação entre a morfologia do canal, o substrato rochoso, os mecanismos de erosão e os processos hidrogeomorfológicos. Em síntese, perfis equilibrados refletem condições de fluxo hídrico e transporte sedimentar estáveis, enquanto segmentos convexos e/ou irregulares, com presença de *knickpoints* indicam locais de maior instabilidade ou até mesmo de (re)ativação de falhas ou fraturas, tornando-se marcadores geomorfológicos da dinâmica erosiva e tectônica.

3.4 HISTÓRIA GEOMORFOLÓGICA DO PLANALTO BASÁLTICO MERIDIONAL E DA SUA REDE DE DRENAGEM

A história geomorfológica do Planalto Basáltico Meridional é marcada por uma série de eventos geológicos interconectados que moldaram a região ao longo de milhões de anos. Um dos principais aspectos intervenientes na remodelação da rede

de drenagem dessa área foi a ruptura do supercontinente Gondwana, abertura do Oceano Atlântico e a efusão do grande volume de lavas entre 135 e 131 Ma, no Cretáceo Inferior (Rossetti et al., 2018) na entrotterra da então nascente margem continental sul-americana.

A abertura do Oceano Atlântico foi um evento crucial que teve implicações significativas para a formação do planalto basáltico. À medida que as placas tectônicas se afastavam, a atividade vulcânica aumentou, resultando na erupção de grandes volumes de lava que formaram as extensas camadas de rochas com litologia básica e ácida. Na Bacia do Paraná, um dos mais volumosos derramamentos de lavas basálticas em terra conhecidos no planeta, a Formação Serra Geral ocorreu durante o intervalo 137-127 Ma, com idade mais provável de 132 Ma (Zalán, 2004). Associado a esse evento de reativação tectônica da Plataforma Sul-Americana (Evento Sul-Atlântico) houve expressivo arqueamento da crosta soerguendo e elevando as camadas rochosas do fundo da bacia, que seriam posteriormente esculpidas pela erosão e pela dinâmica fluvial.

A inclinação geral das camadas de rochas sedimentares e magmáticas, predominantemente para leste e sudeste da bacia do Paraná, comumente chamado de basculamento da bacia sedimentar do Paraná, foi um fenômeno tectônico que ocorreu em paralelo à abertura do Atlântico, e desempenhou um papel importante na história geomorfológica da região. Esse basculamento resultou em uma reconfiguração do relevo, influenciando a inclinação dos terrenos e, consequentemente, a dinâmica da drenagem (Leinz, 1949; Potter, 1997).

A rede hidrográfica da região é marcada por drenagens amplas que se encaixam profundamente nos derrames ígneos e seguem predominantemente para o oeste, como é o caso do rio Uruguai e dos rios Chapecó e Chapecozinho. A direção para o interior do continente sugere a persistência de direções herdadas de sistemas hidrográficos antigos, possivelmente vinculados a uma organização anterior à fragmentação do Gondwana (Potter, 1997). Presume-se que a organização da rede de drenagem tenha se estabelecido sobre uma superfície originalmente aplainada, como não há indícios de cobertura sedimentar pós-basáltica significativa, supõe-se que os traçados da rede tenham sido impostos diretamente sobre os derrames vulcânicos. Com o tempo, a ação fluvial escavando os terrenos e os novos desníveis ajudaram a aprofundar os vales e a destacar as escarpas, especialmente nas bordas

do planalto. Esse processo é parecido com o que aconteceu na Bacia do Alto Paraná, embora com diferenças no sentido dos movimentos do terreno (Almeida, 1956).

A rede de drenagem do planalto basáltico se desenvolveu em resposta a essas transformações. Os rios da região apresentam perfis longitudinais que refletem as variações na resistência das rochas à erosão, com a formação de trechos com *knickpoints* (Lima e Binda, 2013). Esses elementos são indicativos das mudanças no gradiente, muitas vezes resultantes de processos erosivos que se intensificaram devido a alterações nos níveis de base. A drenagem do planalto basáltico é fortemente controlada pela estrutura, revelada em cursos sinuosos e encaixados, que seguem linhas de fraqueza das rochas, expressas pela presença de lajeados, corredeiras, saltos e quedas d'água, cuja gênese está ligada à variação do diaclasamento e textura dos derrames. Tais variações estruturais influenciam diretamente a intensidade da erosão e a formação de patamares nas encostas, funcionando como degraus morfológicos que evidenciam um relevo dissecado e fragmentado, com vales em forma de "V" de diversas larguras, escarpas e anfiteatros. As variações litológicas e estruturais geram uma ampla gama de relevos, que suportam uma diversidade de solos, desde latossolos e solos cambisolos e litólicos que são frequentemente impactados pela agricultura e processos erosivos. A interação entre a geologia, a geomorfologia e o clima úmido, que favorece o intemperismo químico, foi decisiva para o desenvolvimento dessa drenagem e da morfologia do planalto, evidenciando um relevo dinâmico, fragmentado e fortemente estruturado (RADAM BRASIL, 2018).

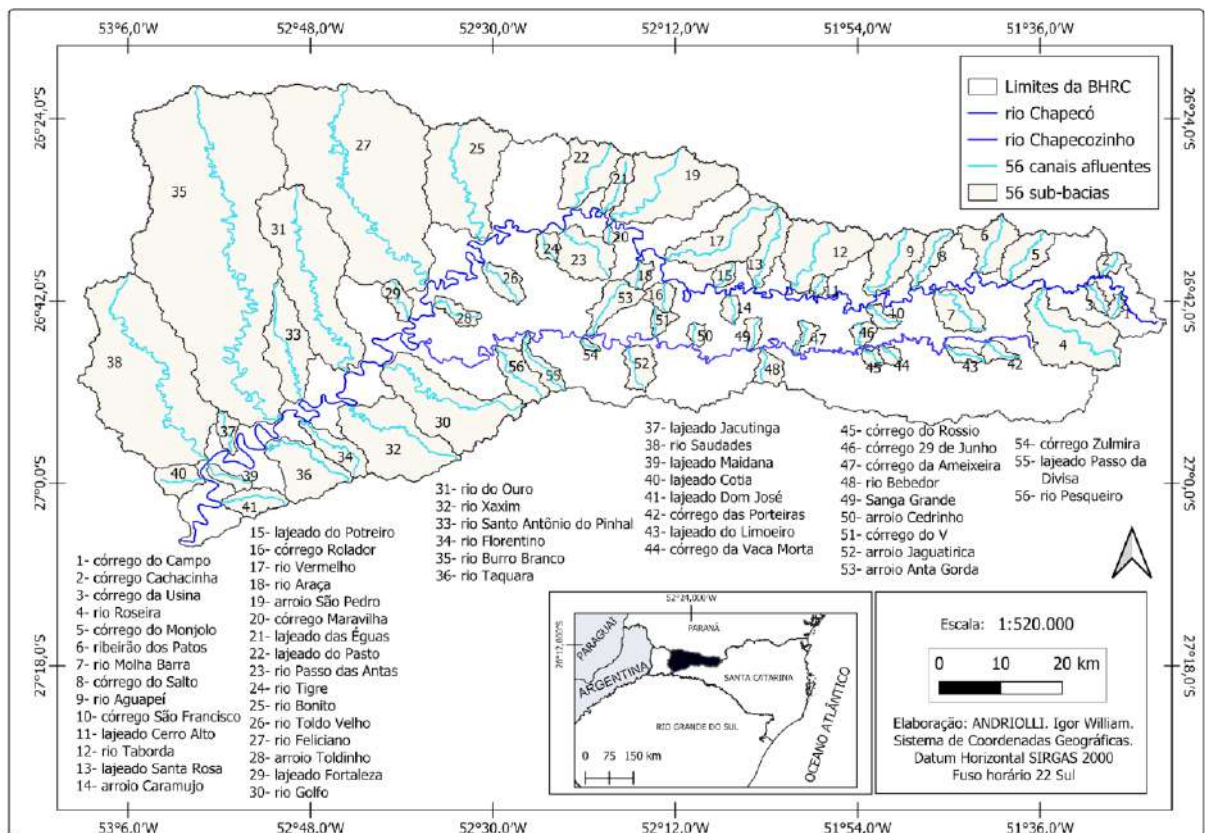
Além dos processos internos da bacia, a rede de drenagem também foi moldada, ao longo do tempo geológico, por mecanismos como a erosão diferencial e a dinâmica tectônica. As variações no nível do mar, embora influenciem diretamente os rios que deságuam no oceano, tiveram impacto mais sutil sobre a bacia do rio Uruguai, cuja drenagem percorre o interior do continente em direção ao estuário do Rio da Prata. Ainda assim, a abertura do Atlântico Sul pode ter provocado efeitos indiretos sobre o relevo da região, como o soerguimento de blocos e ajustes isostáticos, que ajudaram a reorganizar parte da rede hidrográfica. A erosão diferencial, por sua vez, foi decisiva na modelagem da paisagem: materiais com diferentes resistências à erosão esculpiram vales profundos, escarpas marcantes e quedas d'água que hoje caracterizam o planalto basáltico do sul do Brasil.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área deste estudo é a bacia hidrográfica do rio Chapecó - BHRC, localizada na região oeste de Santa Catarina, a qual está inserida no Planalto Basáltico Meridional, na porção meridional da Bacia Sedimentar do Paraná. No Planalto das Araucárias, que perde altitude em direção ao oeste, por meio de patamares estruturais entalhados por vales profundos com drenagem vigorosa, embutida em até 300 metros (Almeida, 1956), uma área de tectônica não ativa e bastante desnudada por ação fluvial. A BHRC (Figura 2) possui como canal principal o rio Chapecó, que juntamente com o seu principal afluente o rio Chapecozinho, é o maior afluente da bacia do rio Uruguai, em território catarinense, com uma área de aproximadamente 8300 km².

A BHRC pertence a Região Hidrográfica do Meio Oeste de Santa Catarina (RH2), a qual além da bacia hidrográfica do rio Chapecó, é integrada também pela bacia hidrográfica do rio Irani e pelas bacias contíguas que possuem rede de drenagem independente e diretamente afluente ao rio Uruguai.

Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Chapecó e dos 56 canais analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A rede de drenagem da BHRC é caracterizada por apresentar um padrão dendrítico, assemelhando-se aos ramos de uma árvore, tendo como nível de base regional o rio Uruguai, onde o rio Chapecó, nível de base da bacia, tem a sua foz a 223 metros de altitude. Segundo o Diagnóstico dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Oeste do Estado de Santa Catarina (PROESC, 2002), a densidade de drenagem na BHRC é de 1,55 km/km² e o rio Chapecó apresenta uma vazão na foz de 263 m³/s, e drena o território de 30 municípios.

Com uma rede de drenagem ampla, a BHRC possui alto potencial energético, o que propiciou a instalação de diversas PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas, CGHs - Centrais Geradoras Hidrelétricas, UHEs - Usinas Hidrelétricas, ao longo dos canais da bacia. A construção de barramentos artificiais impacta diretamente os leitos dos rios, impactando inclusive a formação e destruição de rupturas de declive (*knickpoints*) sendo as próprias usinas rupturas de declive fluvial artificiais.

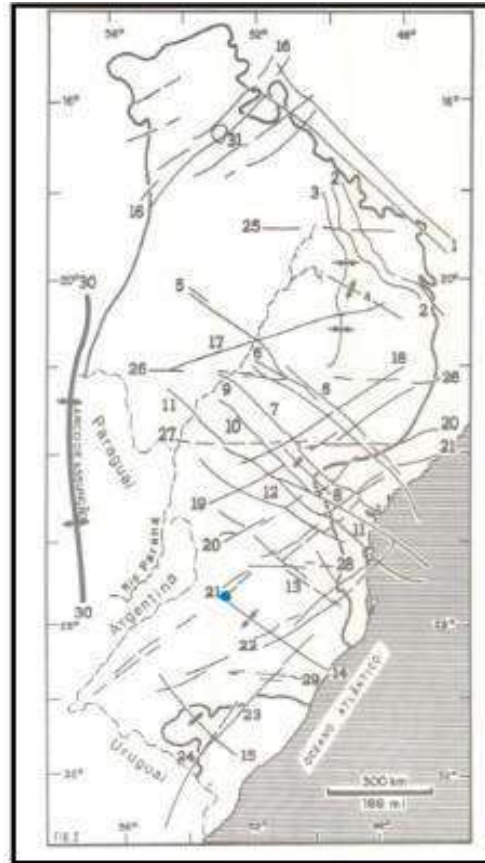
Outro significativo uso da água na região se dá no abastecimento residencial, industrial e nas zonas rurais com a utilização dos recursos hídricos na produção de alevinos, de aves, de suínos, na bovinocultura de leite e corte e irrigação de plantações de variadas culturas. Estes mesmos usos são os principais causadores da baixa qualidade dos recursos hídricos da presente bacia (fonte, ano).

No que diz respeito às características climáticas, de acordo com o Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina (2002), e em conformidade com a classificação de Köppen, a BHRC apresenta a ocorrência de domínios climáticos: na porção oeste, um clima subtropical (mesotérmico úmido com verões quentes), e na porção leste, um clima temperado (mesotérmico úmido com verões amenos). Levando em consideração os dados do Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC (2002), pode-se constatar que a amplitude da temperatura média mensal na Estação Meteorológica de Ponte Serrada (média BHRC), em 10 anos de observação, variou entre 12,1 °C e 20,7 °C, e entre 12,4 °C e 21,1 °C na Estação Meteorológica de Xanxerê, em 54 anos de observação, ambas as estações instaladas na área da BHRC.

Na alta bacia, está situada a estação pluviométrica de Campina da Alegria a uma altitude de aproximadamente 1000 m, que apresentou uma precipitação média anual de 1857,7 mm. Na média bacia, encontra-se a estação de Abelardo Luz, a 760 m de altitude, que apresentou uma precipitação média anual de 2002,5 mm. Na baixa bacia, podemos citar duas estações pluviométricas: a de Passo Nova Erechim e a de Saudades, ambas a aproximadamente 280 m de altitude, que apresentaram médias pluviométricas anuais de 1716,4 mm e 1770,5 mm, respectivamente. A estação pluviométrica de Modelo, também localizada na baixa bacia, a 530 m de altitude, registrou uma média de 1950,6 mm anuais (PROESC, 2002).

Do ponto de vista tectono-estrutural, a BHRC está posicionada na região sul-sudoeste da Bacia Sedimentar do Paraná, alinhada com a zona de falha Lancinha/Cubatão, conforme indicado por Zalán et al. (1987) (Figura 3). O mapa tectônico da América do Sul (1:5.000.000) evidencia uma zona de sutura, identificada por gravimetria, que se estende ao longo de um eixo Leste-Oeste, abrangendo toda a parte oeste de Santa Catarina, incluindo a área da BHRC.

Figura 3 - Arcabouço estrutural da Bacia Sedimentar do Paraná; 21: sistema de falhas Lancinha/Cubatão. Ponto azul indica a localização da BHRC.



Fonte: ZALÁN et al. (1987).

As direções NE-SW e NW-SE são consideradas as orientações mais significativas dos lineamentos na área da BHRC, representando falhas simples ou extensas zonas de falhas, algumas das quais se estendem por dezenas de quilômetros de largura. É o caso por exemplo do sistema de falhas Lancinha (também conhecido como zona de cisalhamento Lancinha-Cubatão) que atravessa a BHRC (Zalán et al., 1987; Salamuni, 1995; Veroslavsky et al., 2021). Esse sistema transcorrente dextral de natureza transpressiva atinge o embasamento e sua cobertura (Salamuni, 1995). Essas áreas são caracterizadas por uma maior mobilidade tectônica em comparação às regiões adjacentes. Além disso, são frequentes também feições com orientação E-W. As zonas de fraqueza nas direções NE e NW são muito antigas e foram reativadas durante a evolução da bacia sedimentar, conforme afirmam Zalán et al. (1987). O padrão estrutural das zonas de

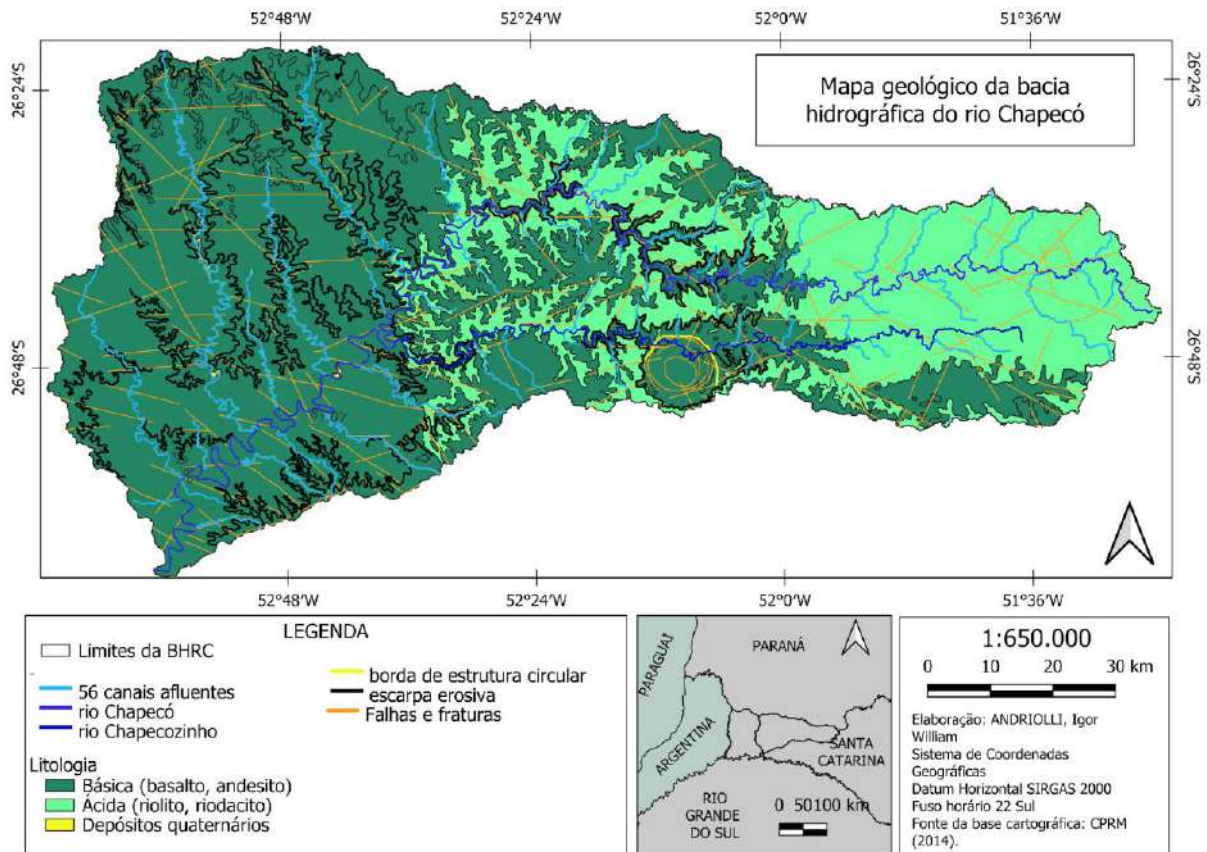
falha em NE apresenta variações, uma vez que, segundo Zalán et al. (1987), podem ser compostas por uma única falha larga ou por uma zona de falha retilínea, com exceção da falha Lancinha/Cubatão. É importante destacar que as estruturas associadas a movimentações transcorrentes são mais prevalentes ao longo dos lineamentos NE (Zalán et al. 1987). As falhas com orientação NW, por sua vez, foram intensamente reativadas durante o Evento Sul-Atlântico, que corresponde à fragmentação juro-cretácea do Gondwana, enquanto as falhas na direção NE não sofreram reativação nesse período (Zalán et al. 1987).

A estrutura geológica da Bacia Sedimentar do Paraná, onde situa-se a BHRC, está associada ao domínio litológico do Grupo Serra Geral, composta por rochas predominantemente de origem vulcânica, e associadas a uma das grandes províncias ígneas do planeta, denominada Paraná-Etendeka (Jerram e Widdowson, 2005).

As rochas vulcânicas da Bacia do Paraná são constituídas predominantemente por derrames basálticos, intercalando na porção médio-superior da coluna manifestações ácidas subordinadas (riolitos e riolitos), em pelo menos dois níveis distintos. São reconhecidas ainda manifestações hipabissais na forma de diques e soleiras intrudidas nas rochas do embasamento cristalino e nos sedimentos gondwânicos subjacentes (PROESC, 2002, p.7).

A litologia da BHRC (Figura 4) é composta basicamente por derrames vulcânicos básicos e ácidos, com presença menos significativa de depósitos sedimentares quaternários em curtos trechos de alguns rios na baixa bacia, como é o caso do rio Burro Branco, rio Saudades, rio do Ouro e rio Chapecó.

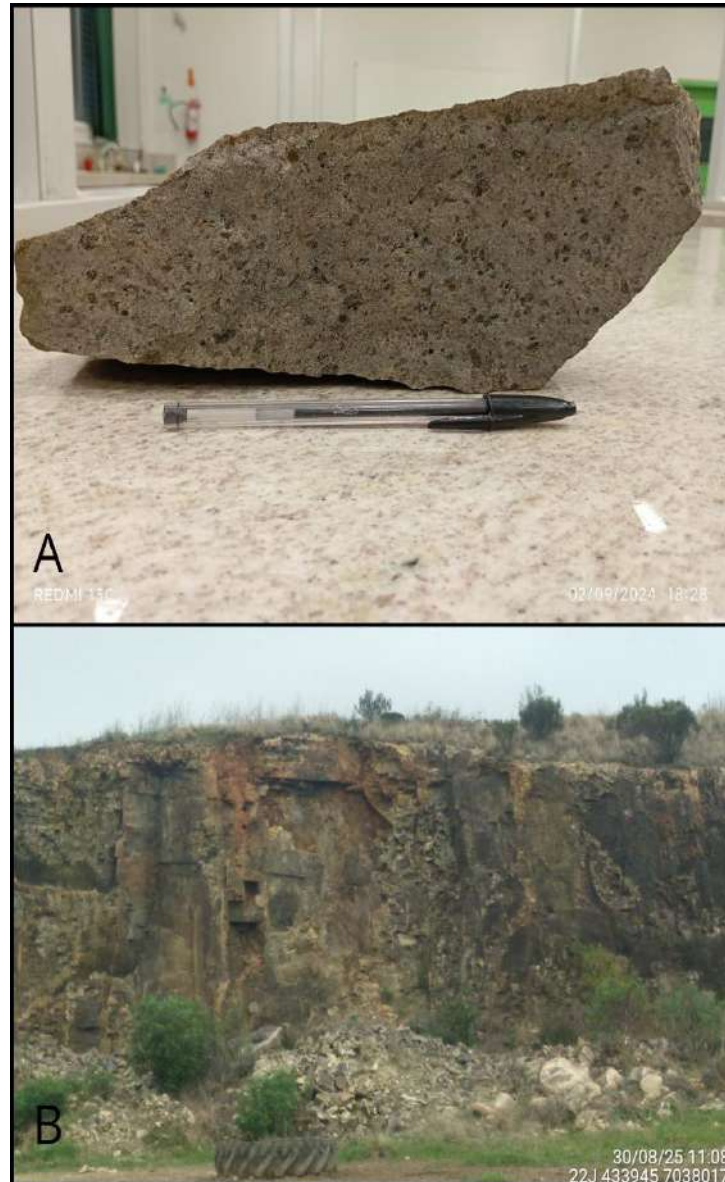
Figura 4 - Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do rio Chapecó.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Às margens da SC-350, próximo a localidade de Uvaranas no interior do município de Abelardo Luz, que constitui o divisor entre a bacia do rio Chapecó e Chapecozinho, é possível visualizar entre o lajeado Fortaleza e o arroio Caramujo amplos afloramentos de rocha ácida de coloração cinza claro com fenocristais (Figura 5). Chama atenção nesses afloramentos o amplo fraturamento horizontalizado do material rochoso.

Figura 5- A - Amostra de rocha ácida da Formação Chapecó, de coloração cinza claro e fenocristais, localizada junto ao divisor das sub-bacias arroio Caramujo, lajeado Barreiros e lajeado Vitorino, coordenadas 26.72277° S; 52.12412°W. B - Afloramento rochoso na alta bacia no domínio das rochas ácidas



Fonte: Registro fotográfico do autor (A - 2024; B - 2025).

Os canais fluviais da BHRC escoam majoritariamente sobre leito rochoso (*bedrock rivers*) (Figura 6). São muito comuns trechos de leito com predomínio de carga de fundo cascalhenta, arenosa e entremeados a blocos rochosos, bem como incipientes planícies com predomínio de material argiloso recente, às vezes presentes em uma só margem do canal. Também são comuns, principalmente nos canais de

maior vazão, a presença de barras laterais e centrais cascalhentas (Figura 6A e 6D). Muitos dos blocos arrancados ou caídos (Figura 6C) acabam acumulando-se nas margens do canal, ou mesmo dentro do leito, podendo desviar o fluxo da água ou atuar como barreiras hidráulicas, alterando a dinâmica do curso do rio. Os processos erosivos em canais rochosos são extremamente difíceis de medir diretamente devido à inacessibilidade e à imprevisibilidade das grandes cheias que impulsionam a erosão significativa (Wohl,1998).

Figura 6- A - trecho do rio do Ouro em leito rochoso com presença de barra deposicional lateral de cascalhos. B - Trecho do rio Bebedor em leito rochoso com rocha exposta no leito e na margem. C - Trecho do lajeado Tarumã com presença de blocos rochosos caídos. D - Barra lateral cascalhenta no rio do Ouro a montante da 6A.



Fonte: registro fotográfico de A, B e D por Igor William Andriolli (2024) e C por William Zanete Bertolini (2024).

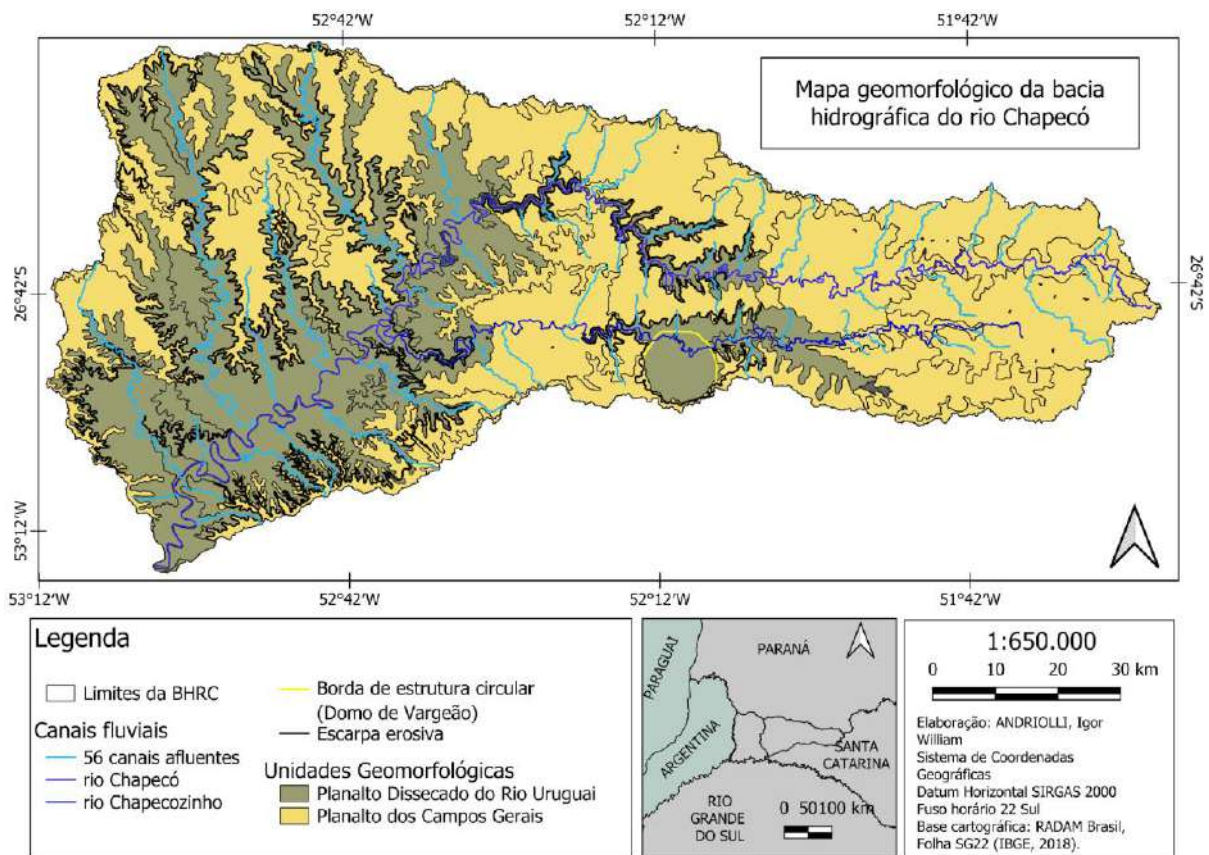
O rio Chapecó estende-se por 425 quilômetros desde a sua nascente no município de Macieira/SC, a uma altitude aproximada de 1.320 metros. Sua foz se encontra na margem direita do rio Uruguai, nas proximidades do centro urbano de São Carlos/SC, a uma altitude de 223 metros.

É muito comum em toda a rede de drenagem a presença de trechos fluviais em poço/corredeira (*pool-riffle*) e degrau/poço (*step-pool*). Segundo Magalhães Júnior, Barros e Cota (2020) os leitos em degrau-poço (*step-pool*) são leitos confinados com blocos e matacões dispostos em degraus, permitindo que o fluxo se alterne entre alta energia (degraus) e baixa energia (poços). Por outro lado, leitos em poço-corredeira (*pool-riffle*) apresentam calhas onduladas com sequências de poços e corredeiras, predominando sedimentos de cascalho, além de variáveis como areias e blocos. Esses leitos estão associados a canais com gradientes moderados a baixos e frequentemente ocorrem em planícies não confinadas.

No que tange às características geomorfológicas da BHRC, tem-se a presença de dois compartimentos geomorfológicos (Figura 7): o Planalto dos Campos Gerais e o Planalto Dissecado do rio Uruguai. A transição entre o Planalto dos Campos Gerais e o Planalto Dissecado do rio Uruguai,

“é marcada por forte escarpamento, resultante do entalhe da drenagem que se dirige para o rio Uruguai. Em função da litologia representada por rochas efusivas, este escarpamento não se apresenta como desnível único, mas sim em degraus, formando patamares [...]. Também a borda do interflúvio dos rios Chapecó e Chapecozinho apresenta trechos com esta característica.” (RADAM BRASIL, 2018).

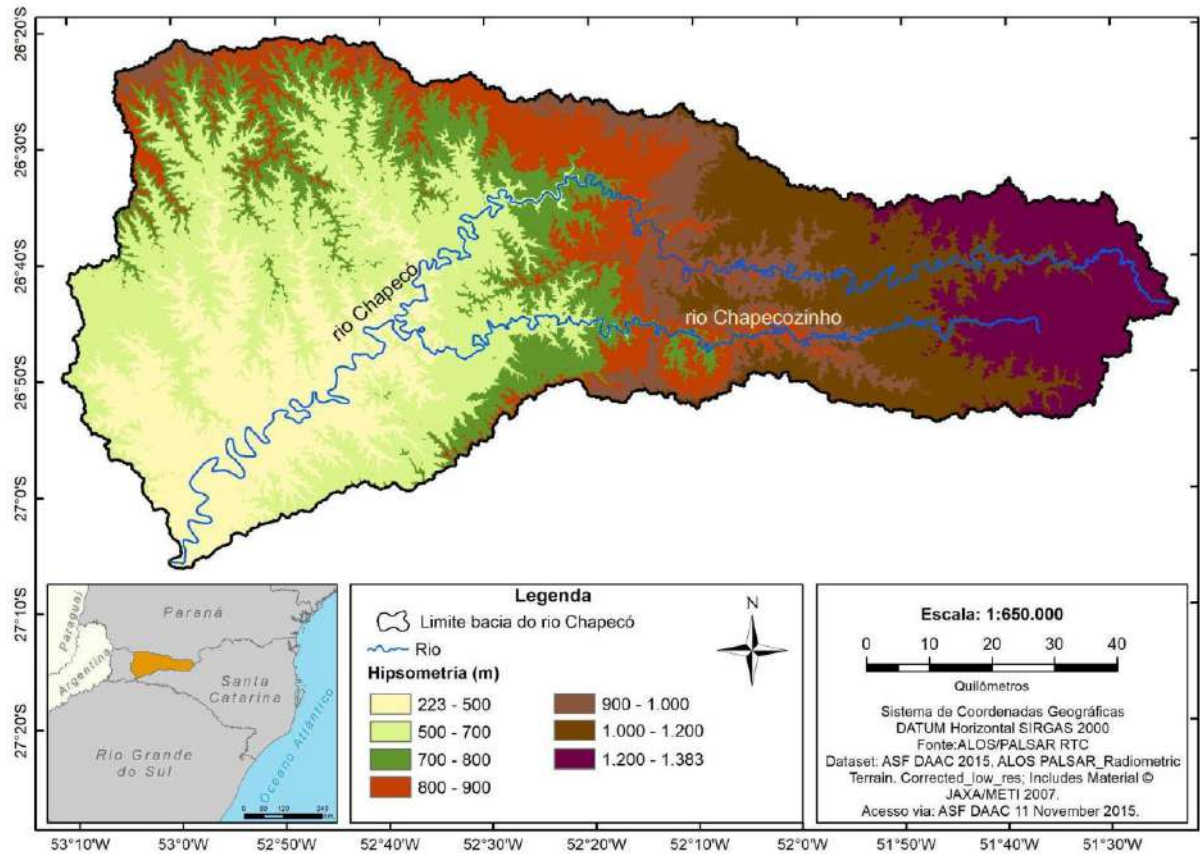
Figura 7- Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Chapecó.



Fonte: Elaboração do autor.

Conforme observado na Figura 7, a BHRC apresenta uma variação altimétrica (Figura 8) com valores superiores a 1.300 metros na porção leste, próximo à nascente do rio Chapecó, e inferiores a 250 metros na foz, localizada entre os municípios de São Carlos (SC) e Águas de Chapecó (SC). O Planalto dos Campos Gerais (Figura 9A e 9C) apresenta as maiores cotas altimétricas da bacia, atingindo 1.383 metros em sua porção leste. À medida que se avança para o oeste e noroeste da BHRC, observa-se uma diminuição gradual da altitude, com a transição para o Planalto Dissecado do Rio Uruguai (Figura 9B e 9D), marcada na maior parte por escarpas erosivas. Na média bacia, as altitudes aproximam-se de 1.000 metros, enquanto na foz do rio Chapecó atingem 223 metros. Dessa forma, o Planalto Dissecado do Rio Uruguai predomina na porção baixa da bacia, onde vales incisos se desenvolvem ao longo dos principais afluentes do rio Chapecó, especialmente no médio e baixo curso desses canais.

Figura 8- Mapa hipsométrico da BHRC.



Fonte: Bertolini, Deodoro e Zambot (2023).

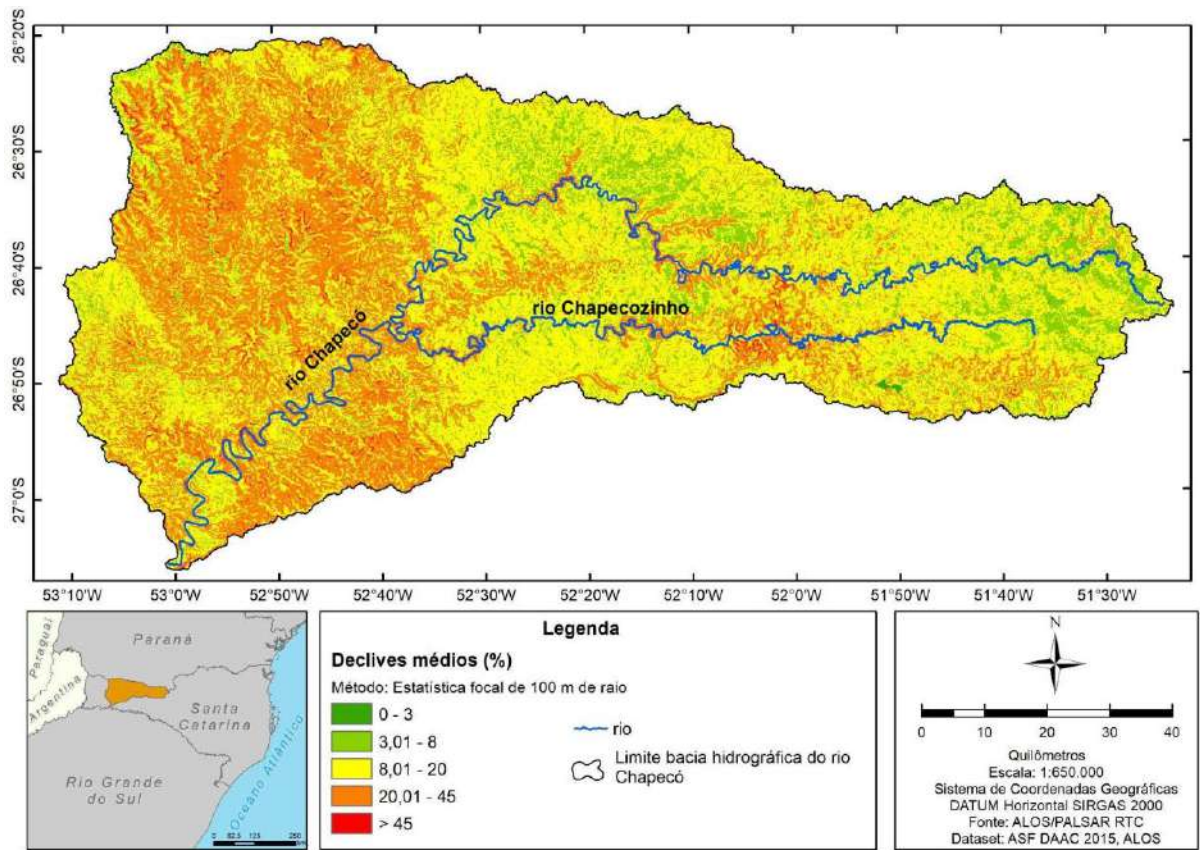
Figura 9 - Planalto dos Campos Gerais (A e C) e Planalto Dissecado do rio Uruguai (B e D).



Fonte: registro fotográfico do autor (A, B e D - 2024; C - 2025)

Em relação aos declives de superfície, pode-se verificar que os mais elevados estão concentrados na baixa BHRC (Figura 10), no Planalto Dissecado do rio Uruguai. Na média BHRC, os maiores declives estão associados aos vales do Chapecó e Chapecozinho e a alguns de seus principais afluentes, como por exemplo (rio Bebedor, sanga Grande, rio Taborda, rio Vermelho, córrego da Ameixeira). O setor da alta bacia, que corresponde a maior parte da porção do Planalto dos Campos Gerais apresenta declividades que variam de moderadas a baixas.

Figura 10- Mapa de declives de superfície da BHRC.



Fonte: Bertolini, Deodoro e Zambot (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos possibilitaram uma análise voltada à compreensão dos processos e das dinâmicas fluviais da BHRC. A partir dos resultados, foram identificadas correlações significativas entre os parâmetros analisados, evidenciando padrões que contribuem para a interpretação da evolução da paisagem. Devido à complexidade e à expressiva quantidade de informações, os resultados foram organizados em subtópicos, facilitando a abordagem dos diferentes aspectos investigados e proporcionando uma discussão mais clara e objetiva sobre cada um deles.

5.1 AMPLITUDES DO ÍNDICE DE HACK, DESVIO PADRÃO MÉDIO E OUTLIERS

Os 56 canais analisados foram classificados segundo a hierarquia fluvial de Strahler (1957), a partir da rede de drenagem mapeada sistematicamente na escala 1:50.000. Desse total, 5 canais pertencem à segunda ordem, 25 à terceira, 22 à quarta e 4 à quinta ordem. Os comprimentos variam de 3,64 km (córrego Zulmira) a 137,19 km (rio Burro Branco), evidenciando amplitude de 133,55 km na extensão dos canais do conjunto amostral, refletindo a diversidade morfométrica da rede de drenagem analisada. Entre esses, 41 apresentam menos de 20 km, enquanto apenas 15 superam esse valor — todos localizados na baixa bacia do rio Chapecó. Essa distribuição revela uma clara concentração de canais longos exclusivamente na baixa BHRC, especialmente na margem direita do rio Chapecó, reforçando a assimetria da rede de drenagem complementada pela inflexão do canal principal em seu médio curso, nas proximidades das Quedas do rio Chapecó (município de Abelardo Luz/SC). A adoção de 20 km como limiar para diferenciar canais curtos e longos não é arbitrária: esse valor coincide com o terceiro quartil da distribuição dos comprimentos ($Q_3 \approx 20,8$ km), delimitando os 25% de canais mais extensos da bacia.

Para cada um dos 56 canais, foi realizada a extração dos valores médios do índice de Hack (K médio). O valor do k médio refere-se à média aritmética de todos os valores do índice dos trechos do canal (cada segmento entre uma curva de nível e outra ao longo do canal) dividido pelo número total de trechos do canal. O k médio variou entre 12,32 (córrego da Usina) e 388,47 (arroio Jaguatirica). O desvio padrão

do índice de Hack para cada um dos 56 canais variou entre 8,1 (córrego da Usina) e 759,41 (arroio Jaguatirica), demonstrando grande amplitude.

Tabela 1- 56 canais em ordem alfabética e suas características

Nome do canal	Ordem Fluvial (Strahler)	Extensão do canal (Km)	K médio	Desvio padrão
arroio Anta Gorda	3	14,2919	98,14	137,83
arroio Caramujo	3	6,1159	102,15	68,91
arroio Cedrinho	3	4,2601	191,46	156,06
arroio Jaguatirica	3	9,5312	388,47	759,41
arroio São Pedro	4	27,6743	99,44	102,51
arroio Toldinho	3	10,9413	207,39	309,93
córrego 29 de junho	4	6,5056	175,59	313,62
córrego Cachacinha	4	7,4855	36,78	40,67
córrego da Ameixeira	4	9,6138	69,22	45,06
córrego da Usina	3	7,8119	12,92	8,1
córrego da Vaca Morta	3	6,1345	74,61	51,61
córrego das Porteiras	4	8,2041	39,1	46,1
córrego do Campo	3	6,6212	19,71	15,06
córrego do Rossio	3	5,3287	100,84	93,71
córrego do Salto	4	18,2724	84,43	69,97
córrego do V	3	5,3856	226,6	284,26
córrego Maravilha	2	3,9273	64,32	88,78
córrego Monjolo	4	15,4158	25,85	16,17

córrego Rolador	3	5,8339	153,4	143,41
córrego São Francisco	4	8,2793	43,7	31,37
córrego Zulmira	2	3,6423	37,91	21,11
lajeado Cerro Alto	3	5,2829	250,51	407,7
lajeado Cotia	3	8,1752	156,91	224,35
lajeado das Éguas	2	13,3205	125,67	155,92
lajeado do Pasto	4	18,5908	107,05	88,61
lajeado do Potreiro	3	5,6931	122,59	104,38
lajeado Dom José	4	13,3404	123,64	155,78
lajeado Fortaleza	3	9,6139	79,63	73,53
lajeado Limoeiro	3	9,2551	37,91	29,44
lajeado Maidana	3	9,378	42,86	24,33
lajeado Passo da Divisa	2	15,1549	198,39	367,19
lajeado Santa Rosa	3	19,43	322,88	432,24
ribeirão dos Patos	4	16,1905	39,56	29,72
rio Aguapeí	4	22,1573	183,39	274,41
rio Araçá	3	5,6977	202,01	342,7
rio Bebedor	3	8,3426	163,87	135,83
rio Bonito	5	40,3173	67,99	54,77
rio Burro Branco	5	137,1903	155,83	93,39
rio do Ouro	5	64,6791	105,24	68,27
rio Feliciano	4	88,4317	89,5	58,75
rio Florentino	3	20,9523	95,99	67,86
rio Golfo	4	42,2239	167,7	107,34
rio Jacutinga	2	10,3588	98,96	95,87

rio Molha Barra	4	18,3636	44,39	26,07
rio Passo das Antas	4	15,5549	246,17	346,05
rio Pesqueiro	3	15,0867	161,98	173,32
rio Roseira	4	33,7618	78,77	131,67
rio Santo Antônio do Pinhal	4	32,4637	120,93	74,61
rio Saudades	4	68,6804	203,17	202,35
rio Taborda	5	20,8526	88,01	114,17
rio Taquara	4	25,8947	177,79	286,73
rio Tigre	3	6,0417	87,71	101,4
rio Toldo Velho	3	11,3213	51,21	44,94
rio Vermelho	4	28,7538	236,49	293,61
rio Xaxim	4	32,8951	106,46	56,77
sanga Grande	3	7,4633	51,89	32,67

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Ao todo foram analisados 768 trechos nos 56 canais. Destes, 40 foram identificados como *outliers*, ou seja, apresentaram valores do índice de Hack significativamente discrepantes em relação aos demais trechos de cada canal. A identificação desses *outliers* foi realizada utilizando a ferramenta *Real Statistical* (Zaiontz, 2025) no Microsoft Excel.

Dos 56 canais analisados, 30 apresentaram ao menos um outlier. O rio Taquara registrou o maior número, com 4 outliers, seguido pelo arroio Jaguatirica, que apresentou 3. Além disso, 5 canais exibiram 2 outliers, enquanto 23 canais apresentaram apenas 1. Na análise da distribuição espacial dos 40 outliers ao longo dos canais, observou-se que a maioria está localizada no baixo curso, totalizando 25 trechos. No médio curso, foram identificados 10 outliers, e apenas 5 situam-se no alto curso. Considerando a posição dos outliers na BHRC, segmentada em três setores hipsométrico - alta bacia (1080–1383 m), média bacia (700–1079 m) e baixa bacia (223–699 m) - verificou-se uma distribuição bastante semelhante entre baixa e média

bacia: 19 outliers em cada uma delas. Apenas 2 ocorrências foram registradas na alta bacia. Por fim, no que se refere ao critério estatístico utilizado, todos os 40 outliers atendem ao limiar Índice de Hack > média. Desses, 36 também ultrapassam o segundo limiar, Índice de Hack > média + 1 desvio padrão, configurando os casos mais expressivos do conjunto. Os 4 outliers restantes, embora situados apenas acima da média, ainda representam valores anômalos, porém de menor intensidade.

Dos 40 trechos classificados como *outliers*, 13 estão localizados no Planalto dos Campos Gerais (PCG) e 22 no Planalto Dissecado do rio Uruguai (PDU), indicando maior concentração dessas anomalias morfométricas neste último compartimento geomorfológico.

Tabela 20 - Outliers identificados entre os 768 trechos dos 56 canais afluentes.

Canal	Índice de Hack médio	Desvio padrão	Valor de k do trecho considerado do <i>knickpoint</i>	Declive do trecho (m/m)	Feição morfológica associada	Litologia
arroio Jaguatirica	388,47	759,41	3154,6	0,435	PCG - escarpa erosiva	básica
lajeado Santa Rosa	322,88	432,24	1590,63	0,147	PDU - escarpa erosiva	básica
rio Taquara	177,79	286,73	1365,06	0,069	PDU	básica
lajeado Cerro Alto	250,51	407,7	1363,06	0,438	PCG	ácida
rio Passo das Antas	246,17	346,05	1354,75	0,13	PDU	ácida
rio Vermelho	236,49	293,61	1330,8	0,103	PDU	transicional
lajeado Passo da Divisa	198,39	367,19	1317,02	0,101	PCG	básica

arroio Toldinho	207,39	309,93	1247,22	0,123	PDU	ácida
córrego 29 de junho	175,59	313,62	1106,62	0,193	PCG	Básica
córrego do V	226,6	284,26	1064,19	0,225	PDU	básica
rio Araçá	202,01	342,7	1058,42	0,201	PDU - escarpa erosiva	ácida
rio Aguapeí	183,39	274,41	980,69	0,044	PCG	ácida
arroio Jaguatirica	388,47	759,41	970,71	0,140	PCG - escarpa erosiva	ácida
lajeado Cotia	156,91	224,35	717,71	0,206	PDU	básica
lajeado Dom José	123,64	155,78	692,77	0,111	PDU - falha/fratura	básica
arroio Jaguatirica	388,47	759,41	677,13	0,095	PCG - escarpa erosiva	básica
lajeado Cotia	156,91	224,35	669,02	0,187	PDU	básica
arroio Cedrinho	191,46	156,06	664,92	0,168	PDU - falha/fratura e cratera de impacto	básica
rio Taquara	177,79	286,73	620,76	0,032	PDU	básica
rio Taquara	177,79	286,73	589,43	0,031	PDU	básica
lajeado Passo da Divisa	198,39	367,19	537,14	0,040	PCG	básica
rio Taborda	88,01	114,17	481,45	0,046	PCG - falha/fratura	ácida

lajeado das Éguas	125,67	155,92	466,96	0,036	PDU - escarpa erosiva	básica
rio Roseira	78,77	131,67	445,85	0,016	PCG - falha/fratura	ácida
arroio Anta Gorda	98,14	137,83	438,66	0,032	PCG	ácida
arroio São Pedro	99,44	102,51	382,7	0,014	PCG	ácida
arroio Anta Gorda	98,14	137,83	330,47	0,023	PCG	ácida
lajeado Dom José	123,64	155,78	327,4	0,05	PDU - falha/fratura	básica
rio Taquara	177,79	286,73	321,62	0,057	PDU	básica
rio Santo Antônio do Pinhal	120,93	74,61	321,34	0,039	PCG	básica
rio do Ouro	105,24	68,27	314,09	0,006	PDU	básica
lajeado Fortaleza	79,63	73,53	309,39	0,069	PDU	básica
rio Xaxim	106,46	56,77	270,91	0,074	PDU - escarpa erosiva	básica
córrego Maravilha	64,32	88,78	259,1	0,068	PCG	ácida
arroio Caramujo	102,15	68,91	256,13	0,193	PCG	ácida
rio Bonito	67,99	54,77	216,46	0,006	PDU	transicional
rio Bonito	67,99	54,77	175,76	0,013	PDU	básica
córrego das Porteiras	39,1	46,1	139,85	0,023	PCG	ácida

ribeirão dos Patos	39,56	29,72	111,04	0,011	PCG	ácida
lajeado Limoeiro	37,91	29,44	101,1	0,012	PCG - falha/fratura	ácida

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Dentre os 40 *outliers*, 7 estão associados a escarpas erosivas, 1 à borda da cratera de impacto de Vargeão, e 8 apresentam relação com falhas ou fraturas de natureza indiscriminada. Além disso, apenas 10 dos *outliers* não são visíveis nos perfis longitudinais dos respectivos canais, enquanto os demais 30 representaram rupturas claramente identificáveis nos gráficos.

5.2 **KNICKPOINTS COM BASE NO ÍNDICE DE HACK MAIOR QUE A MÉDIA ARITMÉTICA ($K > \text{MÉDIA}$)**

A aplicação do critério $k > \text{média}$ resultou na identificação de 284 trechos com valores anômalos do índice de Hack, os quais foram considerados *knickpoints*. Dentre esses trechos, 248 ocorrem de forma sequencial ao longo dos canais, configurando *knickzones*. Os 36 restantes foram reconhecidos como trechos com valores maiores que a média não consecutivos.

Quanto à distribuição litológica dos 284 *knickpoints* identificados, 87 estão inseridos em litologia ácida (riodacitos, riolitos e/ou dacitos), 181 em litologia básica (basaltos e andesitos) e 16 localizam-se em zonas de transição litológica entre esses dois grupos litológicos. O que se considera como zona de transição litológica refere-se à incerteza cartográfica inerente à representação dos contatos entre litologias distintas no mapeamento adotado. Considerando-se a escala do mapeamento geológico de 1:500.000, tais contatos apresentam um grau de generalização que implica imprecisão espacial. Assim, os *knickpoints* posicionados nessas zonas devem ser interpretados à luz desse erro cartográfico associado à escala de mapeamento, não necessariamente correspondendo a contatos litológicos efetivos em nível local.

No rio Chapecó foram identificados 3 *knickpoints* para esse critério, um em cada setor altimétrico da bacia. Geomorfologicamente, um dos *knickpoints* está

localizado no Planalto dos Campos Gerais, outro no Planalto Dissecado do rio Uruguai e outro encontra-se na escarpa erosiva que, neste ponto, delimita a transição entre esses dois compartimentos geomorfológicos. Em relação a litologia, o *knickpoint* mais a montante está disposto em litologia ácida, o central está em um trecho de transição litológica, e o *knickpoint* mais a jusante do canal está em litologia básica.

No rio Chapecozinho foram identificados 5 *knickpoints* para esse critério, sendo 3 na baixa e 2 na média BHRC. O *knickpoint* que se encontra mais a montante do canal está em litologia ácida, enquanto os outros 4 estão em litologia básica. Um dos cinco *knickpoints* encontra-se no Planalto dos Campos Gerais, um encontra-se disposto sob a escarpa erosiva, e os demais estão no Planalto Dissecado do rio Uruguai.

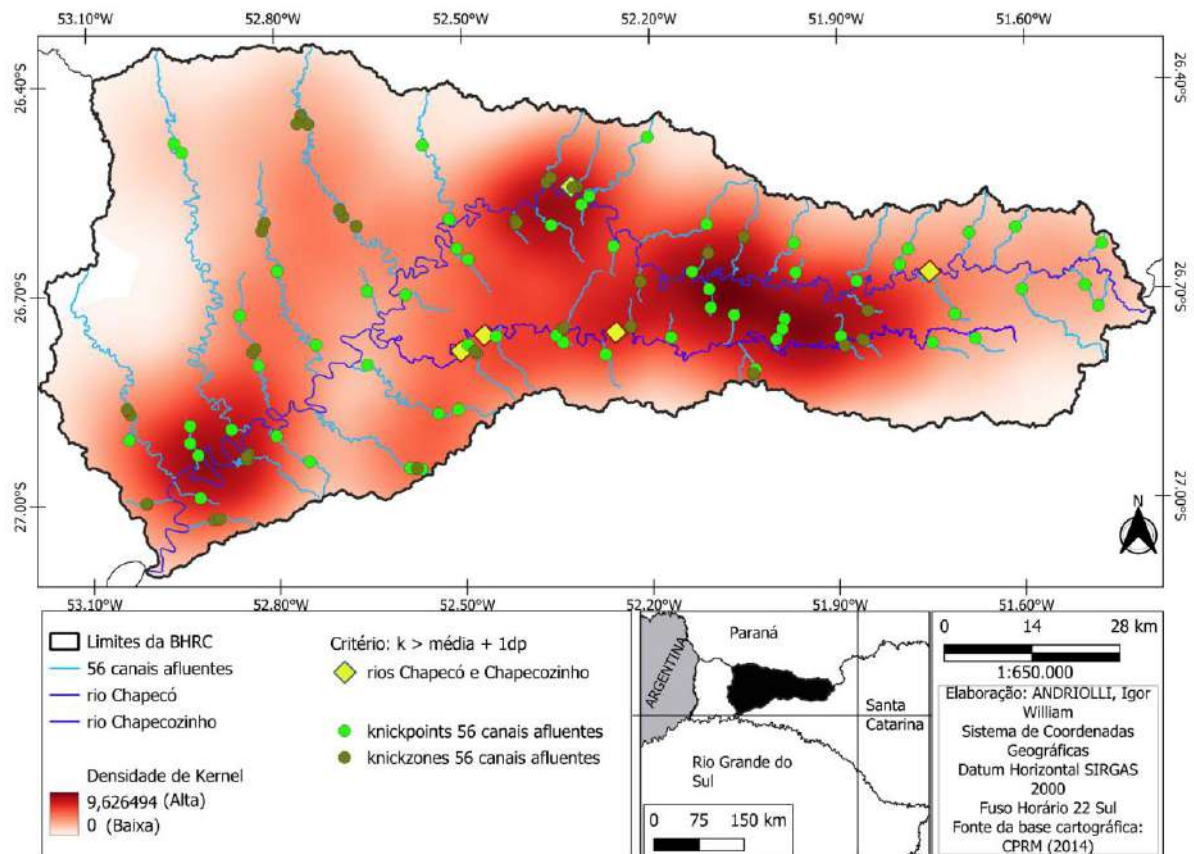
5.3 KNICKPOINTS COM BASE NO ÍNDICE DE HACK MAIOR QUE A MÉDIA ARITMÉTICA SOMADO A UM DESVIO PADRÃO ($K > \text{MÉDIA} + 1 \text{ DP}$)

O número total de trechos considerados *knickpoints* extraídos pelo emprego do critério $k > \text{média} + 1 \text{ dp}$ foi de 107. Os critérios estatísticos ($> \text{média}$ e $> \text{média} + 1 \text{ dp}$) utilizados resultaram em uma diferença de 177 *knickpoints* entre um critério e outro. Todos os 56 canais analisados apresentaram pelo menos um *knickpoint*. Dentre esses canais, 25 tiveram apenas um trecho considerado *knickpoint*, 18 apresentaram 2 trechos, 9 canais tiveram 3 trechos, 3 canais registraram 4 trechos, e apenas 1 canal com 6 trechos. Foram identificados 46 trechos como *knickzones* enquanto os outros 61 trechos não são consecutivos. Aplicando o critério $> \text{média} + 1 \text{ dp}$ para os rios Chapecó e Chapecozinho, foram identificados 2 *knickpoints* no rio Chapecó e 3 no rio Chapecozinho.

Todos os *knickpoints* obtidos pela aplicação do critério $> \text{média} + 1 \text{ dp}$ ao índice de Hack estão contidos no conjunto dos *knickpoints* obtidos pelo critério $> \text{média}$. Portanto, passaremos a considerar a partir daqui apenas os *knickpoints* extraídos com base no critério $> \text{média} + 1 \text{ dp}$ (Figura 11) para análises na relação com outros fatores da BHRC. Entende-se que esses 107 valores do índice de Hack representam, do ponto de vista estatístico, anomalias significativas em cada um dos 56 canais afluentes do ponto de vista da relação declive-extensão. Ao aplicar a ferramenta de interpolação de Kernel no QGis ao critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$ foi possível identificar

manchas distintas de maior densidade na média e baixa BHRC, demonstrando uma concentração maior de *knickpoints* nesses setores da bacia (Figura 11).

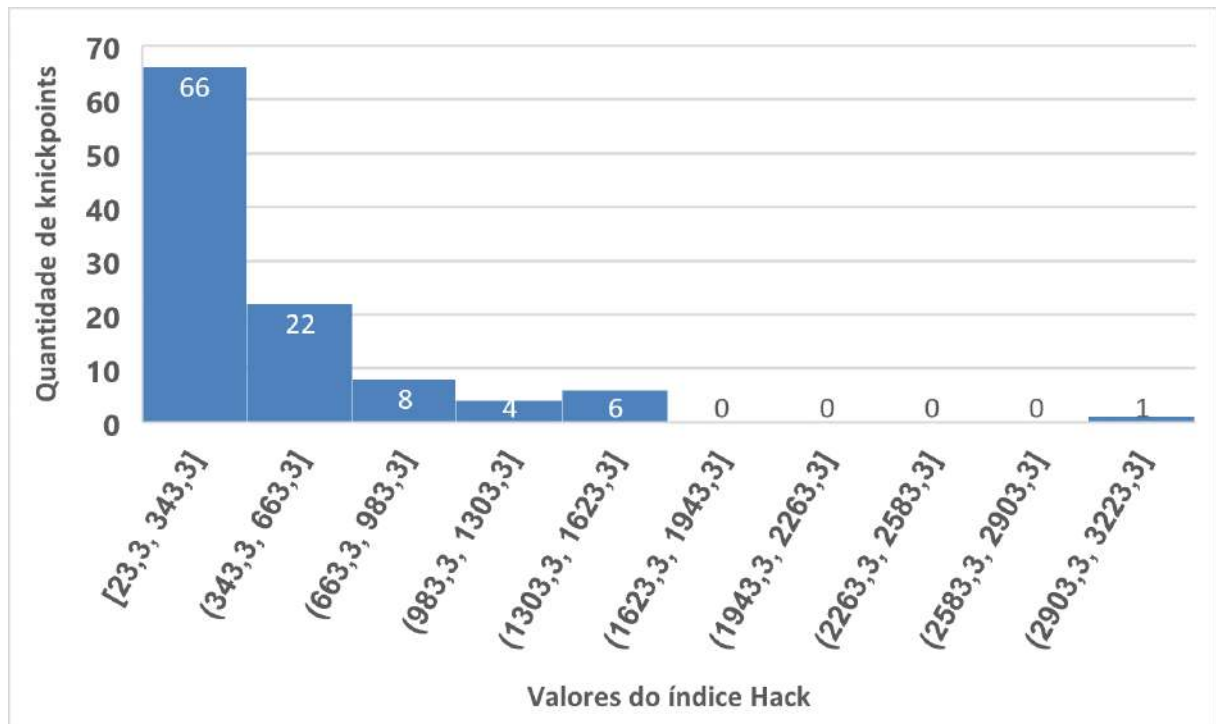
Figura 11- Mapa dos *knickpoints* da BHRC extraídos através do critério índice de Hack $>$ média+1dp e densidade de Kernel.



Fonte: elaboração do autor. (2025)

Os valores dos 107 *knickpoints* extraídos com base nesse critério variaram de 23,3 a 3154,6, indicando uma amplitude expressiva nos resultados obtidos. A análise da distribuição dos valores do índice de Hack, representada no histograma a seguir (Figura 12), mostra que 66 *knickpoints* apresentam valores abaixo de 343,3; enquanto 22 estão entre 343,3 e 663,3; 8 *knickpoints* variam de 663,3 a 983,3; 4 entre 983,3 e 1303,3; e 6 entre 1303,3 e 1623,3. Apenas 1 *knickpoint* apresenta valor superior a 2900, reforçando a concentração da maioria absoluta dos casos na faixa entre 23,3 e 343,3.

Figura 12 - Histograma da contraposição entre o número de trechos e o valor do índice de Hack para os *knickpoints*, estabelecido pelo critério $k > \text{média} + 1\text{dp}$.

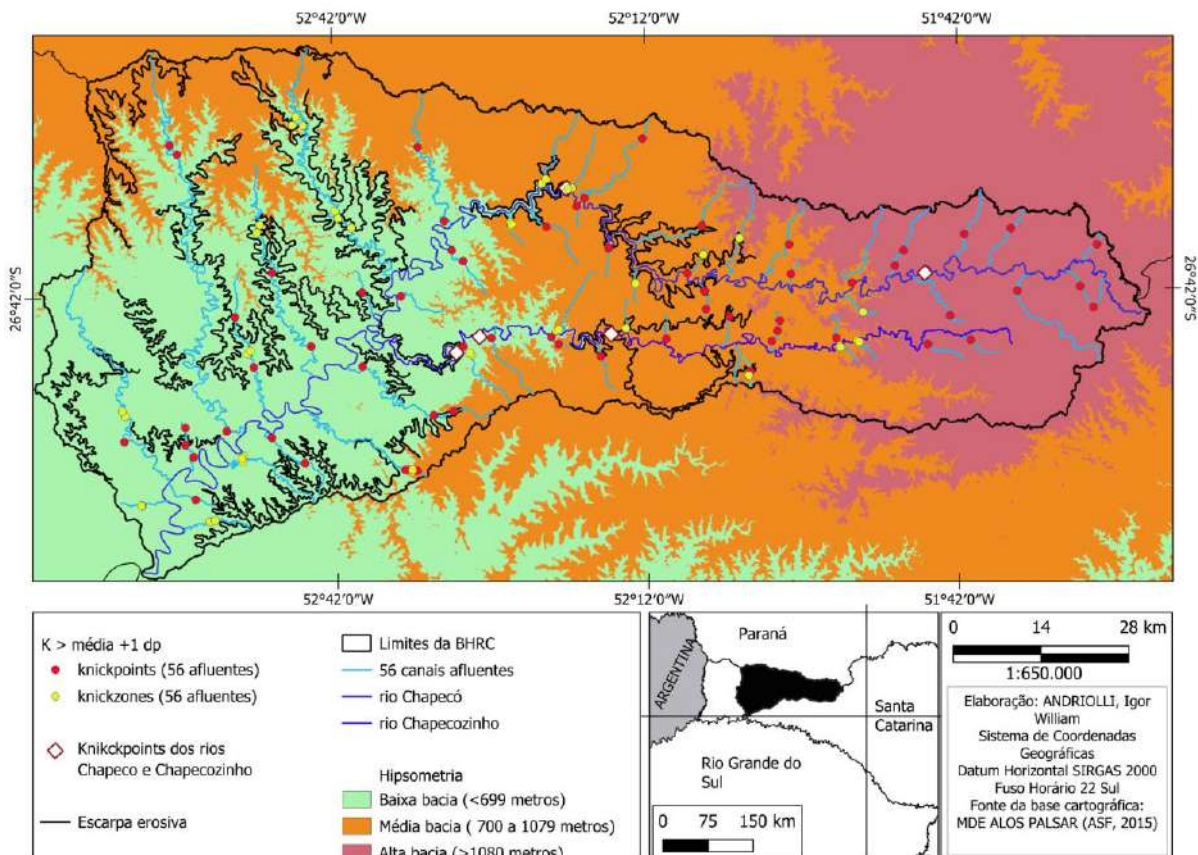


Fonte: elaborado pelo autor (2024).

5.3.1 ANÁLISE DOS *KNICKPOINTS* NA RELAÇÃO COM A GEOMORFOLOGIA, HIPSOMETRIA E DECLIVES.

Para a análise dos *knickpoints* em relação à hipsometria da BHRC, esta foi dividida em três setores: a alta bacia, com altitudes entre 1080 e 1383 metros; a média bacia, entre 700 e 1079 metros; e a baixa bacia, cujas altitudes variam de 699 até 223 metros (Figura 13).

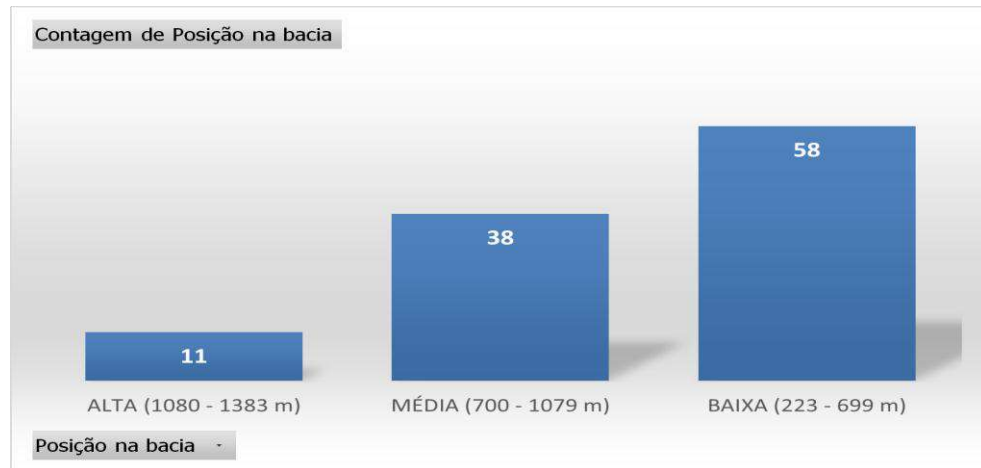
Figura 13- *Knickpoints* ($k > \text{média} + 1 \text{ dp}$) e hipsometria da BHRC.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A distribuição geográfica dos 107 *knickpoints* permite identificar 11 *knickpoints* na alta bacia, 38 na média e 58 na baixa bacia (Figura 14), o que demonstra a predominância de uma maior quantidade de *knickpoints* na baixa e média bacia. Tendo em vista a redução do número de *knickpoints* à medida que as altitudes aumentam, pode-se inferir que a baixa e média bacia estão mais sujeitas a processos que geram ou reativam esses *knickpoints* do que a alta bacia. Em outras palavras, a baixa e média bacia estão sujeitas a uma dinâmica erosiva mais intensa, possivelmente devido a maior incisão dos canais, maior fluxo de energia e ao ajuste aos níveis de base locais.

Figura 14- Distribuição dos 107 *knickpoints* por segmentos de baixa, média e alta BHRC.



Fonte: elaboração do autor (2024).

Na sua distribuição em relação à compartimentação geomorfológica (Tabela 1), foram identificados 51 *knickpoints* no Planalto Dissecado do rio Uruguai e 38 no Planalto dos Campos Gerais. Além disso, observou-se a presença de 18 localizados sobre as escarpas erosivas, que marcam a transição entre esses dois compartimentos geomorfológicos. Considerando que as escarpas erosivas são feições que marcam a ampliação do Planalto Dissecado do rio Uruguai, é possível dizer que a maior parte dos *knickpoints* está no contexto desse compartimento geomorfológico. Isso sugere que, a despeito de especificidades que possam ter dado origem a alguns deles, parece provável haver uma relação entre os *knickpoints* e os processos erosivos associados às escarpas. Nesse sentido e considerando que os *knickpoints* são feições móveis, é plausível que alguns tenham se originado nas escarpas erosivas e, com o avanço da erosão remontante destas, tenham sido deslocados de suas posições originais. Assim, embora 18 *knickpoints* estejam atualmente localizados sobre as escarpas, outros podem ter tido origem nas escarpas e atualmente estão a montante delas.

Geomorfologicamente, dos dois *knickpoints* identificados no rio Chapecó, para o critério $> \text{média} + 1 \text{ dp}$, um está do domínio do Planalto dos Campos Gerais e outro está sobre a escarpa erosiva, enquanto para os três *knickpoints* do rio Chapecozinho um está na transição entre os dois compartimentos, e os outros dois no Planalto Dissecado do rio Uruguai.

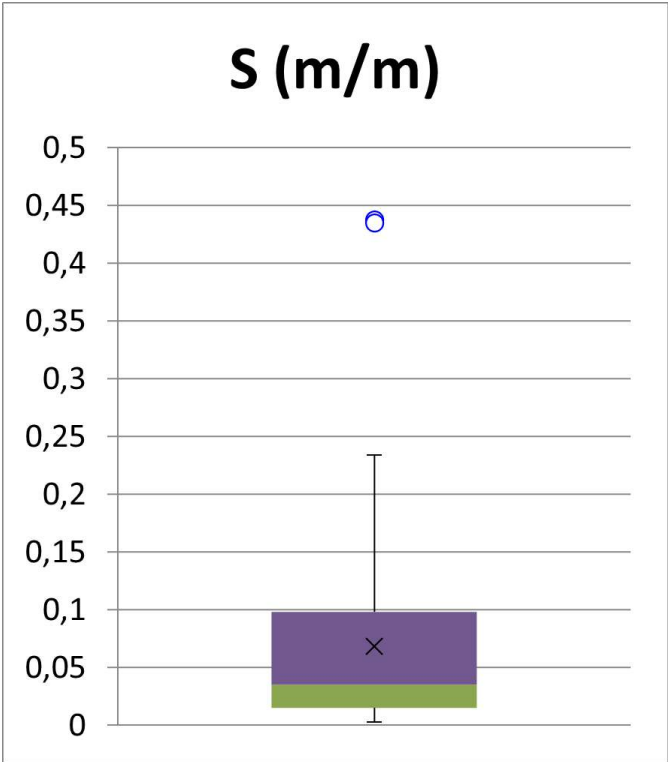
Tabela 3 - Associação dos *knickpoints* ao mapeamento geomorfológico da BHRC.

Compartimento geomorfológico associado	107 <i>knickpoints</i>
Planalto Dissecado do rio Uruguai	51
Planalto dos Campos Gerais	38
Escarpa erosiva (transição entre os compartimentos)	18

Fonte: Elaboração do autor (2024).

Ao analisar a declividade (m/m) dos 107 trechos de canal considerados como *knickpoints* (Figura 15), observa-se que os valores variaram de 0,003 m/m (rio Feliciano e rio Burro Branco) a 0,438 m/m (lajeado Cerro Alto). O declive médio dos *knickpoints* ficou abaixo de 0,1 m/m, entretanto foi possível identificar *outliers* que ultrapassaram a margem de 0,4 m/m.

Figura 15 - Variação de declividade dos 107 *knickpoints*.



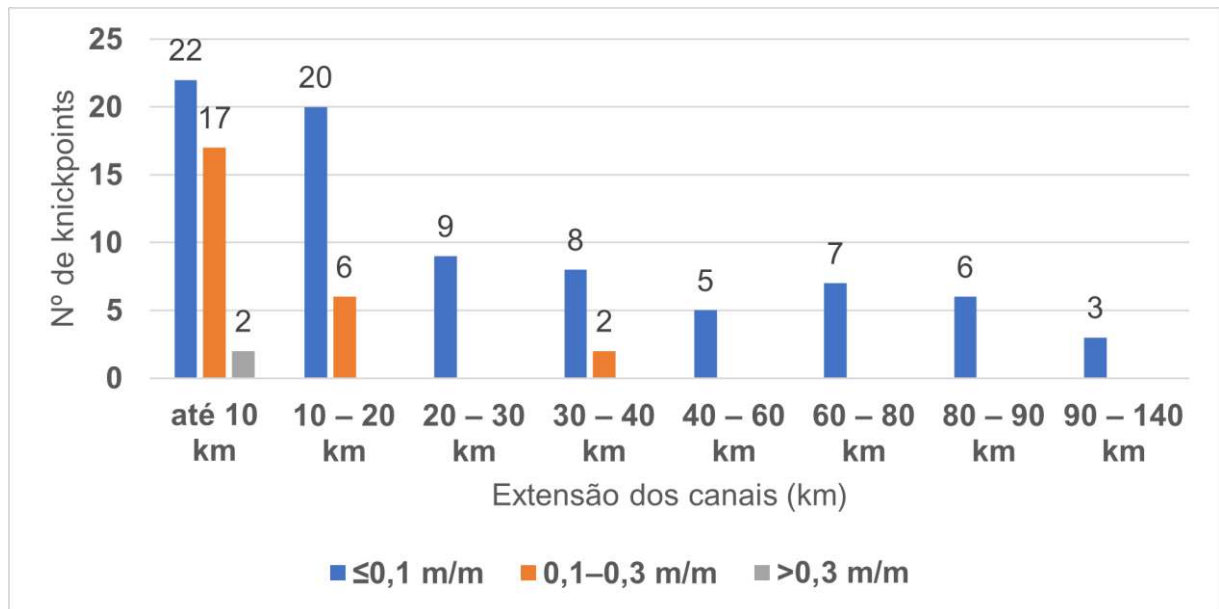
Fonte: elaboração do autor (2025).

A maioria dos 107 *knickpoints*, um total de 80, possui declividades menores que 0,1 m/m. Destes 80, apenas 8 estão na alta bacia, 20 na média bacia e 53 na baixa bacia. A predominância de *knickpoints* em trechos fluviais com declividades menores que 0,1 m/m, especialmente concentrados na baixa bacia, contrasta com os maiores declives de superfície verificados justamente nessa porção da bacia hidrográfica. Isso permite pensar que os declives dos leitos podem se modificar mais rapidamente do que os declives de superfície na escala de bacia e de transformação do relevo. Mantendo-se assim um certo desajuste entre os declives de vertente e os declives de canal. De um lado, declividades baixas costumam indicar ajuste mais antigo e perfis mais estabilizados, mas a alta frequência de rupturas nesses mesmos trechos sugere que tais canais ainda respondem a desajustes locais, sejam eles litológicos, estruturais ou resultantes da dinâmica fluvial. Assim, esse padrão de declividades pequenas, mas presença significativa de *knickpoints* pode refletir uma condição intermediária ou de transição, ou seja, perfis amplamente ajustados em termos de declividades gerais, porém sujeitos a perturbações pontuais, que mantêm o sistema em estado de ajuste dinâmico, e não em equilíbrio pleno.

Dos 80 *knickpoints* com declividade até 0,1 m/m, 22 estão em canais de até 10 km de extensão, 20 em canais de 10 km a 20 km, 9 em canais entre 20 km e 30 km, 8 em 30 km a 40 km, 5 em 40 km a 60 km, 7 em 60 km a 80 km, 6 em 80 km a 90 km e 3 em 90 km a 140 km. Além disso, 25 *knickpoints* apresentam declividades entre 0,1 e 0,3 m/m, sendo 4 na alta bacia, 15 na média bacia e 7 na baixa bacia. Com relação à extensão de seus respectivos canais, 17 ocorrem em canais de até 10 km, 6 entre 10 e 20 km e 2 entre 20 e 40 km (Figura 16). A concentração desses declives moderados em canais curtos pode refletir uma resposta a controles litológicos e/ou estruturais mais localizados além de que os *knickpoints* com declividades moderadas são mais frequentes na média bacia, sugerindo uma zona de transição caracterizada por maior interação entre energia fluvial e processos erosivos. Por fim, apenas 2 dos 107 *knickpoints* apresentam declividades superiores a 0,3 m/m, sendo um localizado na média bacia e outro na baixa bacia, ambos em canais de até 10 km de extensão. Esse padrão reflete a raridade de *knickpoints* com declividades mais acentuadas. A declividade média apresenta forte contraste espacial, com valor de 0,66 m/m na alta bacia, reduzindo-se para 0,19 m/m tanto na média quanto na baixa BHRC, evidenciando a diminuição progressiva do gradiente longitudinal ao longo da bacia.

A partir desses dados, pode-se inferir que *knickpoints* de maior declividade tendem a se concentrar em canais de curta extensão, enquanto aqueles de baixa declividade se distribuem de forma mais ampla ao longo das variadas extensões de canais, embora com frequência decrescente à medida que o canal se alonga. Esse comportamento possivelmente se relaciona à potência de escoamento (*stream power*) dos canais, já que nos rios de cabeceira, tendencialmente predominam maiores declividade e menor largura dos vales. A figura 16 apresenta a relação entre a declividade dos trechos fluviais onde se localizam os 107 *knickpoints* e a extensão dos 56 canais analisados.

Figura 16 - Relação declividade dos *knickpoints* e extensão dos canais.



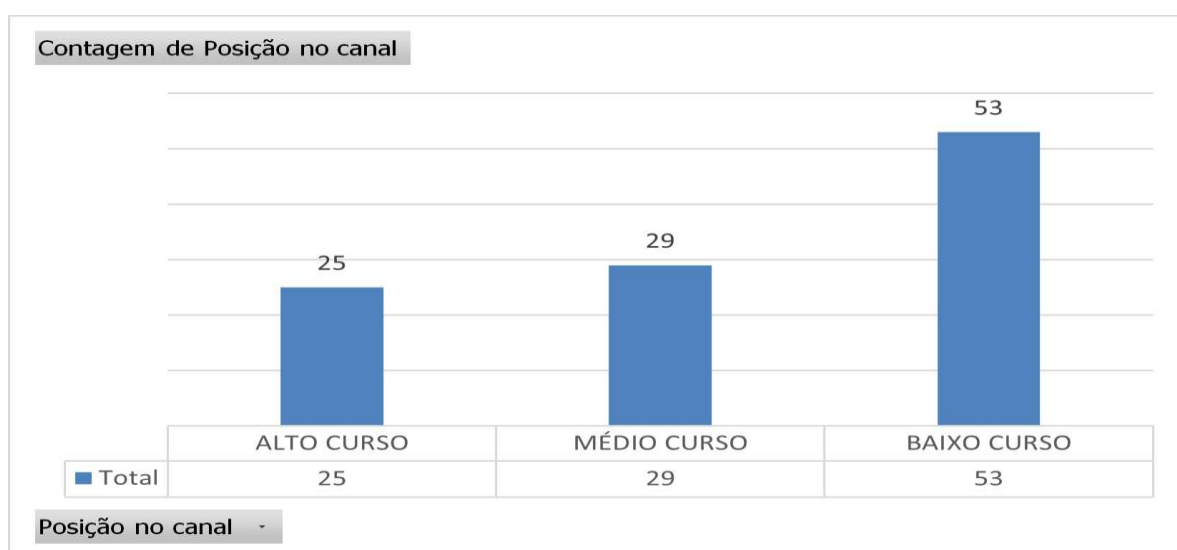
Fonte: elaborado pelo autor (2025).

5.3.2 ANÁLISE DOS *KNICKPOINTS* EM RELAÇÃO À DISTÂNCIA DA FOZ

Para realizar a análise dos *knickpoints* em relação a sua posição nos canais (Figura 17), cada canal foi dividido em 3 partes de extensão proporcionalmente iguais, sendo então categorizadas como alto curso (terço superior, parte mais distante da foz), médio curso (terço central do canal) e baixo curso (terço inferior, parte mais próxima a foz do canal). Com isso, observou-se que 53 dos 107 *knickpoints* estão nas áreas de baixo curso. Em contraste, apenas 29 foram encontrados na região de médio curso, enquanto 25 estão localizados no alto curso.

Dos 53 *knickpoints* que estão em baixo curso, apenas 2 estão localizados na alta BHRC, 22 estão na média BHRC e 29 na baixa BHRC. Essa distribuição revela uma tendência clara, com a maior concentração de *knickpoints* nos trechos mais próximos da foz dos cursos fluviais na baixa e média BHRC. Isso sugere que muitos dos *knickpoints* podem ter relação com modificações nos níveis de base locais.

Figura 17- Distribuição dos 107 *knickpoints* em relação à posição no canal.



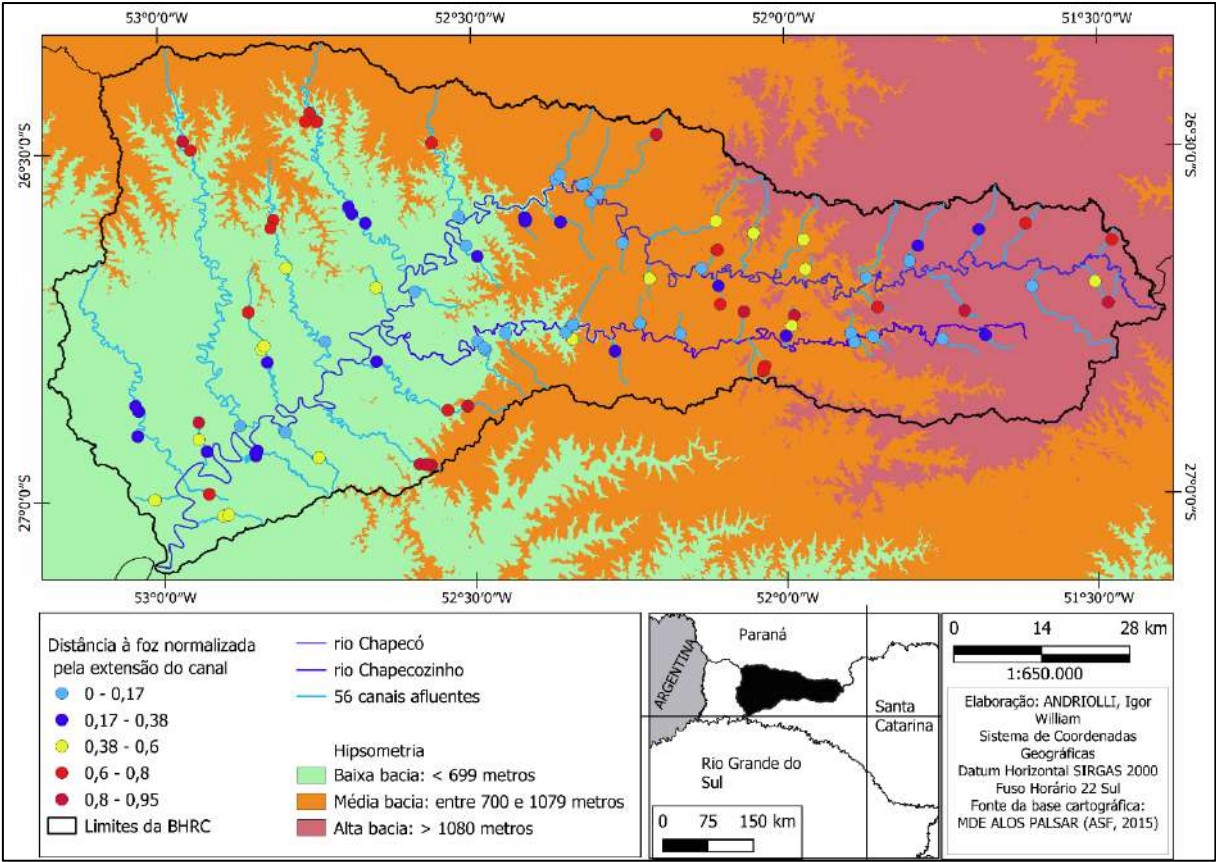
Fonte: elaboração do autor (2024).

A análise da distância entre cada *knickpoint* e a foz do respectivo canal reforça esse padrão: 85 *knickpoints* ($\approx 80\%$ da amostra) estão situados a menos de 20 km da foz, 15 entre 20 e 40 km, 2 entre 40 e 60 km, 3 entre 60 e 80 km e apenas 2 acima de 100 km. Essa tendência se mantém mesmo considerando que 41 dos 56 canais analisados possuem extensões inferiores a 20 km, evidenciando que, na maior parte da rede de drenagem da BHRC, os *knickpoints* se concentram nos baixos cursos.

Para permitir a comparação entre canais com extensões distintas, foi aplicada a normalização pela extensão total do canal, considerando as variações expressivas de extensão entre os 56 canais analisados. Esse procedimento possibilitou representar as distâncias em valores proporcionais entre 0 e 1, em que 0 corresponde à foz e 1 à nascente, viabilizando a comparação entre canais de diferentes comprimentos. Os resultados (Figura 18) indicam que 56 *knickpoints* se concentram na porção inferior dos canais (entre 0 e 0,38), 19 em posições intermediárias (0,38 a

0,60) e 32 na porção superior, mais próximas das cabeceiras (0,60 a 1,0). Essa distribuição evidencia uma predominância de *knickpoints* nas proximidades da foz, sugerindo a influência dos rios Chapecó e Chapecozinho sobre o ajuste longitudinal dos afluentes. Embora os *knickpoints* ocorram ao longo de toda a bacia, observa-se que essa concentração nas porções inferiores de canal é mais expressiva na baixa BHRC, que reúne 30 dos 56 *knickpoints* da classe inferior (0–0,38), seguida pela média bacia, com 20 ocorrências, e pela alta bacia, com 6. Essa distribuição tende a sugerir diferentes eventos que afetaram a origem dos *knickpoints* ao longo dos afluentes, possivelmente eventos que desencadearam o rebaixamento do nível de base do rio Chapecó, que por sua vez pode estar associado a quedas do nível de base no rio Uruguai. A maior concentração de *knickpoints* nos baixos cursos tende a sugerir feições mais recentes desenvolvidas em função de ajustes decorrentes da migração remontante de ondas erosivas remontantes a partir dos níveis de base do rio Chapecó e Uruguai. Na baixa BHRC, os *knickpoints* mais distantes da foz podem estar associados à retração da escarpa erosiva, processo cujo início pode ter se ligado a quedas nos níveis de base dos rios Chapecó e Uruguai, mas que não foi objeto de investigação neste trabalho. Assim, a distribuição espacial dos *knickpoints* na amostra estudada de canais pode representar um estado atual de reorganização da rede de drenagem em resposta a diferentes ondas erosivas remontantes cujo alcance máximo de seus efeitos se verifica atualmente na média BHRC.

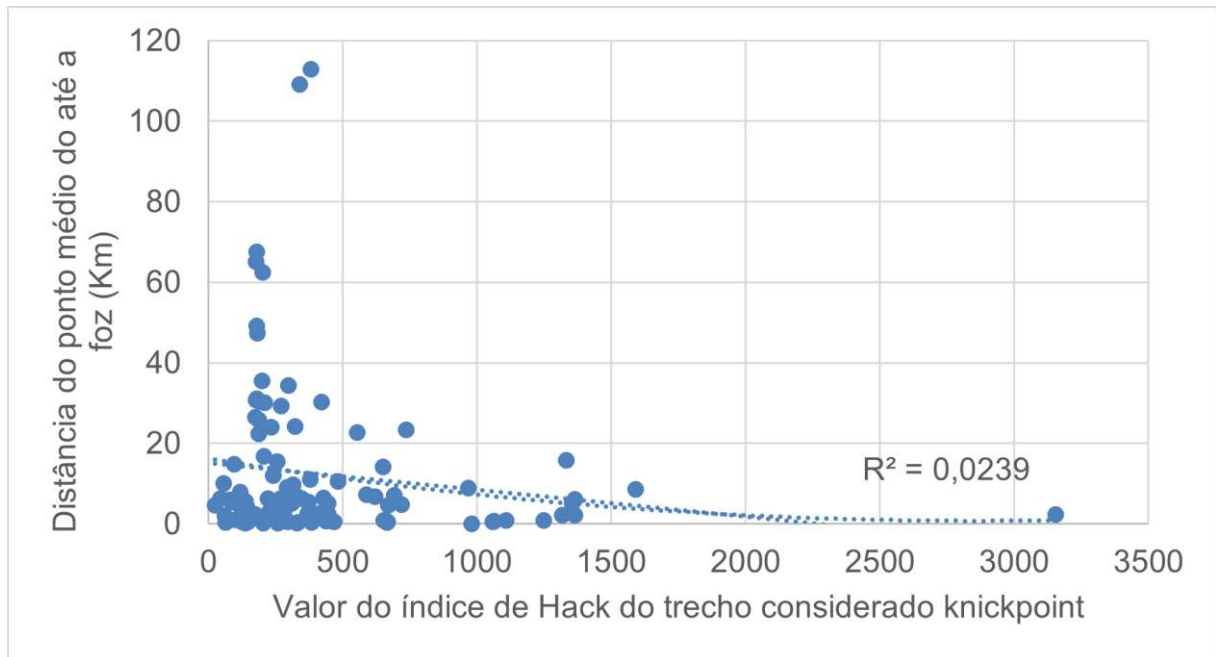
Figura 18- Distância à foz normalizada pela extensão do canal.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A análise da relação entre os valores do índice de Hack e a distância à foz (sem normalização da extensão, Figura 19) indica que os trechos com valores mais altos do índice estão concentrados a menos de 20 km da foz, enquanto os valores menores se distribuem por todos os trechos de canal. Isso demonstra que, embora haja maior incidência dos índices mais elevados próximos à foz, não há uma correlação linear clara entre o valor do índice e a distância ao ponto final do canal.

Figura 19- Distribuição dos *knickpoints* em relação à distância da foz de cada canal.

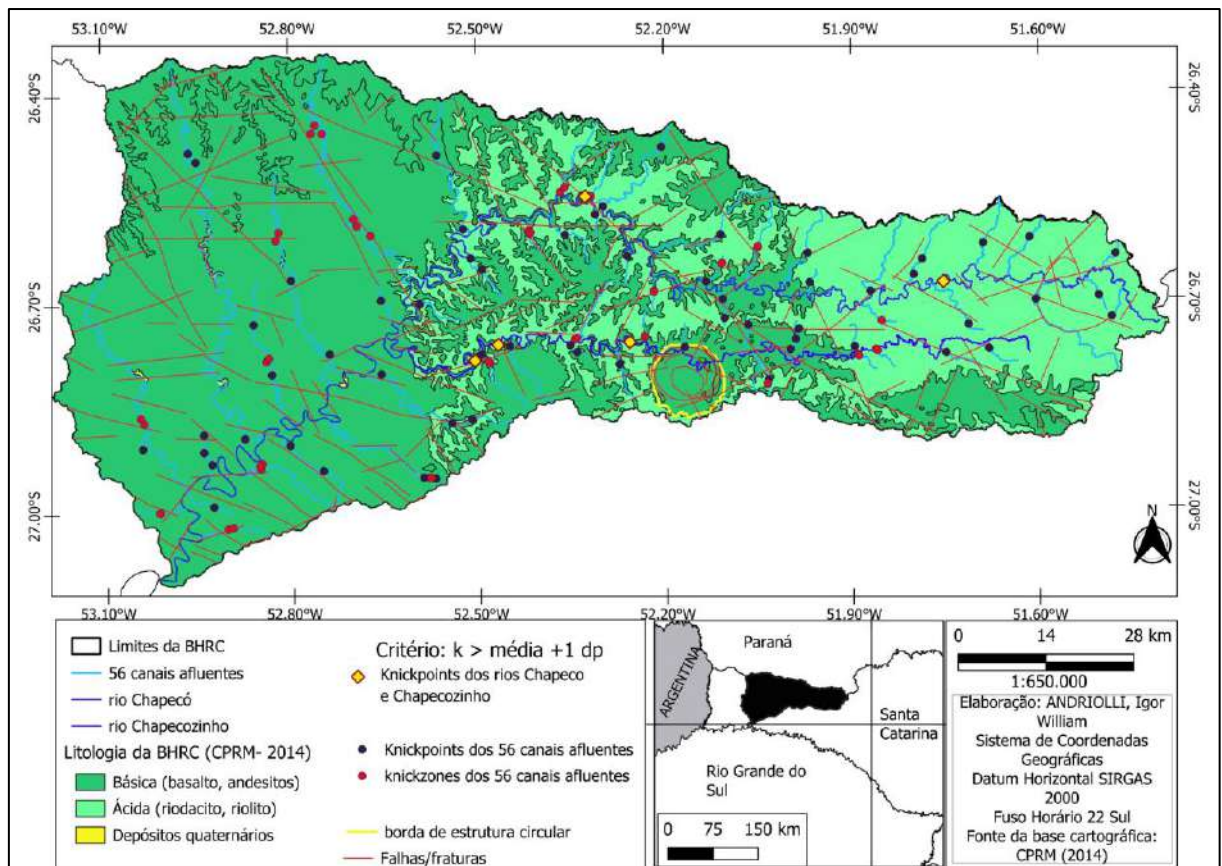


Fonte: elaboração do autor (2024).

5.3.3 ANÁLISE DOS *KNICKPOINTS* EM RELAÇÃO A LITOLOGIA E LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Em termos da distribuição dos 107 *knickpoints* em relação à litologia da BHRC (Figura 20), obteve-se 38 *knickpoints* posicionados em litologia ácida (riolitos e dacitos), enquanto 65 estão em litologia básica (basaltos e andesitos). Apenas 4 são encontrados em área de transição litológica entre as ácidas e básicas. O que se denomina de transição litológica suscita uma questão ligada à precisão associada à escala de mapeamento. No caso da escala de 1:500.000 do mapeamento geológico considerado, em que um centímetro equivale a cinco quilômetros, a precisão cartográfica admite um erro de 100 metros, já que se considera que não é possível representar detalhes menores que 0,2 mm no mapa. Nesse sentido, para identificar se o *knickpoint* enquadra-se dentro do critério de transição foi considerado uma distância de 100 metros a partir da linha divisória entre as litologias. Litologicamente, os *knickpoints* mais a montante dos rios Chapecó e Chapecozinho estão em litologia ácida, enquanto um dos *knickpoints* do rio Chapecó está em transição litológica (ácida-básica), e os demais encontram-se dispostos em litologia básica.

Figura 20- Mapa dos 107 *knickpoints* da BHRC em contraposição à litologia.

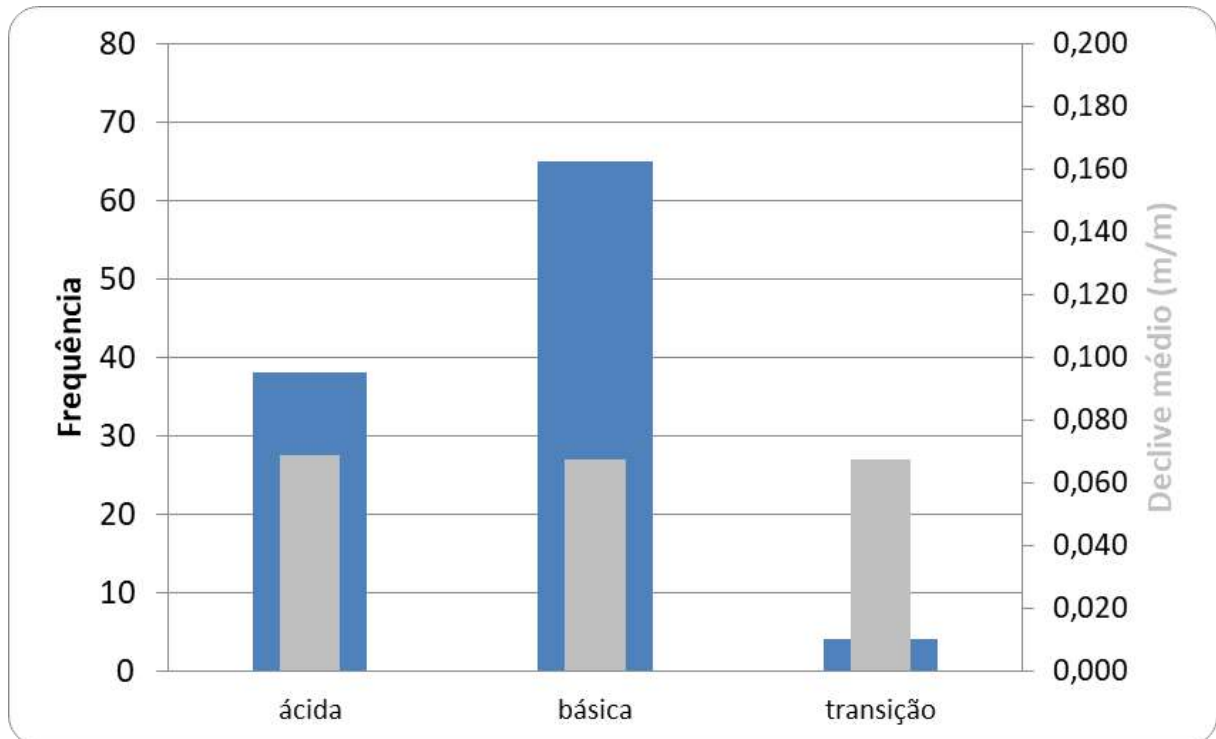


Fonte: Elaboração do autor (2024).

Observou-se também a associação de 17 dos 107 *knickpoints* com falhas e fraturas de natureza indiscriminada do mapeamento geológico da área (CPRM, 2014). Desses 17, 2 *knickpoints* também possuem associação com as escarpas erosivas e 1 está associado a falha na borda da cratera de impacto do Domo de Vargeão. Importante ressaltar que as feições estruturais do mapeamento geológico disponível não discriminam entre falhas e fraturas, o que dificulta uma interpretação mais precisa desta associação.

A análise dos declives dos *knickpoints* associados à litologia (Figura 21) permite dizer que a média das declividades não variou em relação às litologias. Nas três categorias litológicas a declividade média manteve-se entre 0,06 m/m e 0,08 m/m, mesmo havendo uma frequência maior de *knickpoints* em litologia básica.

Figura 21- Declives dos 107 *knickpoints* associados à litologia.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Em conclusão, a análise dos 107 *knickpoints* e suas declividades revela um padrão claro de distribuição em função da extensão dos canais e das características litológicas. A maioria apresenta declividades menores que 0,1 m/m, concentrando-se na baixa bacia, possivelmente devido ao ajuste dos canais a um suposto evento de mudança do nível de base a que toda a rede da bacia esteve sujeita. As declividades moderadas (0,1 a 0,3 m/m) ocorrem com maior frequência em canais curtos da média bacia, sugerindo uma interação entre a dinâmica fluvial, os controles litológicos e o controle geomorfológico das escarpas erosivas. Já os *knickpoints* com declividades superiores a 0,3 m/m são raros, localizados em canais curtos da média e baixa bacia.

5.4 KNICKPOINTS VISÍVEIS NOS PERFIS LONGITUDINAIS

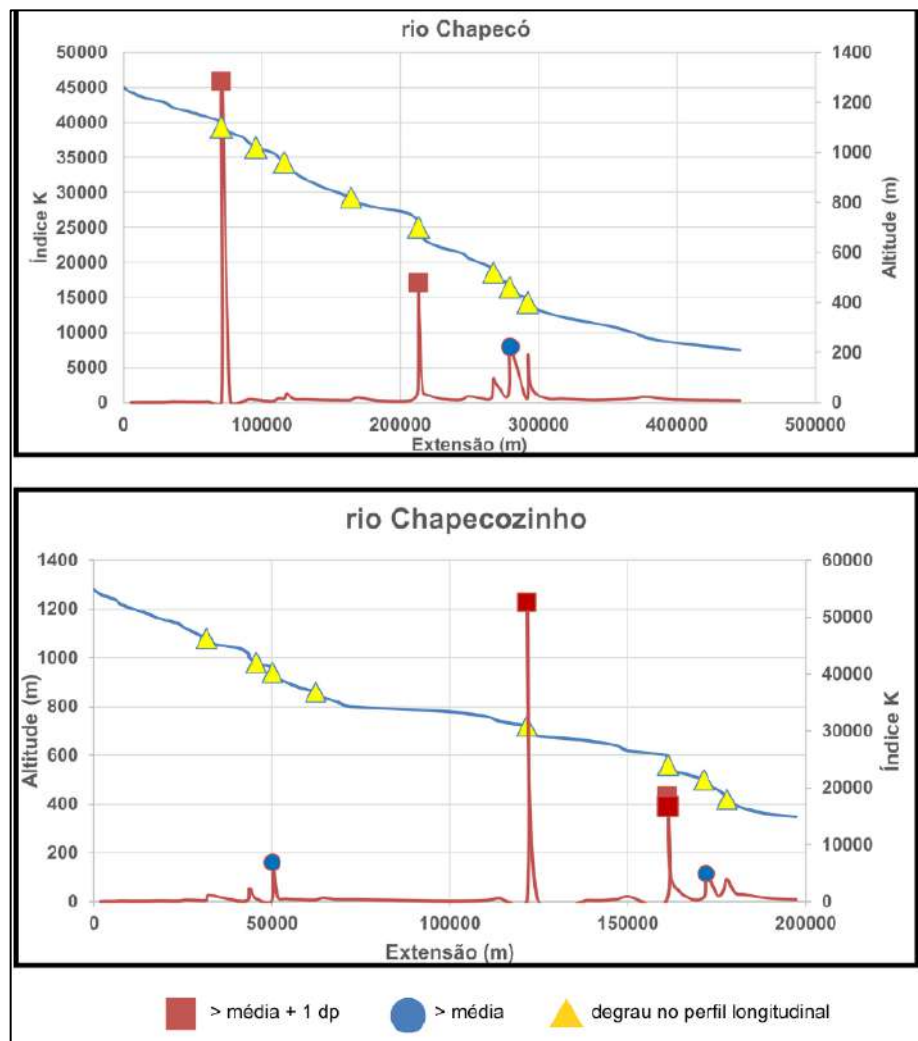
A análise dos perfis longitudinais, derivados de dados topográficos na escala 1:50.000, possibilitou a identificação de 118 degraus nos perfis, que foram considerados como *knickpoints*. A amplitude dos valores do índice K obtidos para esses *knickpoints* variou de 31,18, (lajeado Limoeiro), a 3154,6, (arroio Jaguatirica).

Já os valores médios de K (por canal) variaram de 19,71, no córrego do Campo, a 388,47 no arroio Jaguatirica.

Analisando os perfis longitudinais dos rios Chapecó e Chapecozinho (Figura 22), foi possível identificar 8 *knickpoints* em cada um dos dois canais. Sendo que dos 16 *knickpoints*, apenas o mais a montante do rio Chapecó encontra-se na alta bacia, os demais se localizam na transição entre alta e média e na baixa BHRC. Apenas 6 *knickpoints* estão no contexto do Planalto dos Campos Gerais. Apenas um em proximidade da escarpa erosiva e 4 associados às falhas/fraturas do mapeamento geológico da área CPRM (2014).

Todos os *knickpoints* identificados pelos critérios estatísticos nos rios Chapecó e Chapecozinho coincidiram com os *knickpoints* identificados nos perfis longitudinais. O que chama atenção também, é que todos os *knickpoints* visíveis nos perfis coincidem com elevações no índice K, mesmo que essas elevações não tenham sido consideradas *knickpoints* pelos critérios $K > \text{média}$ e $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$.

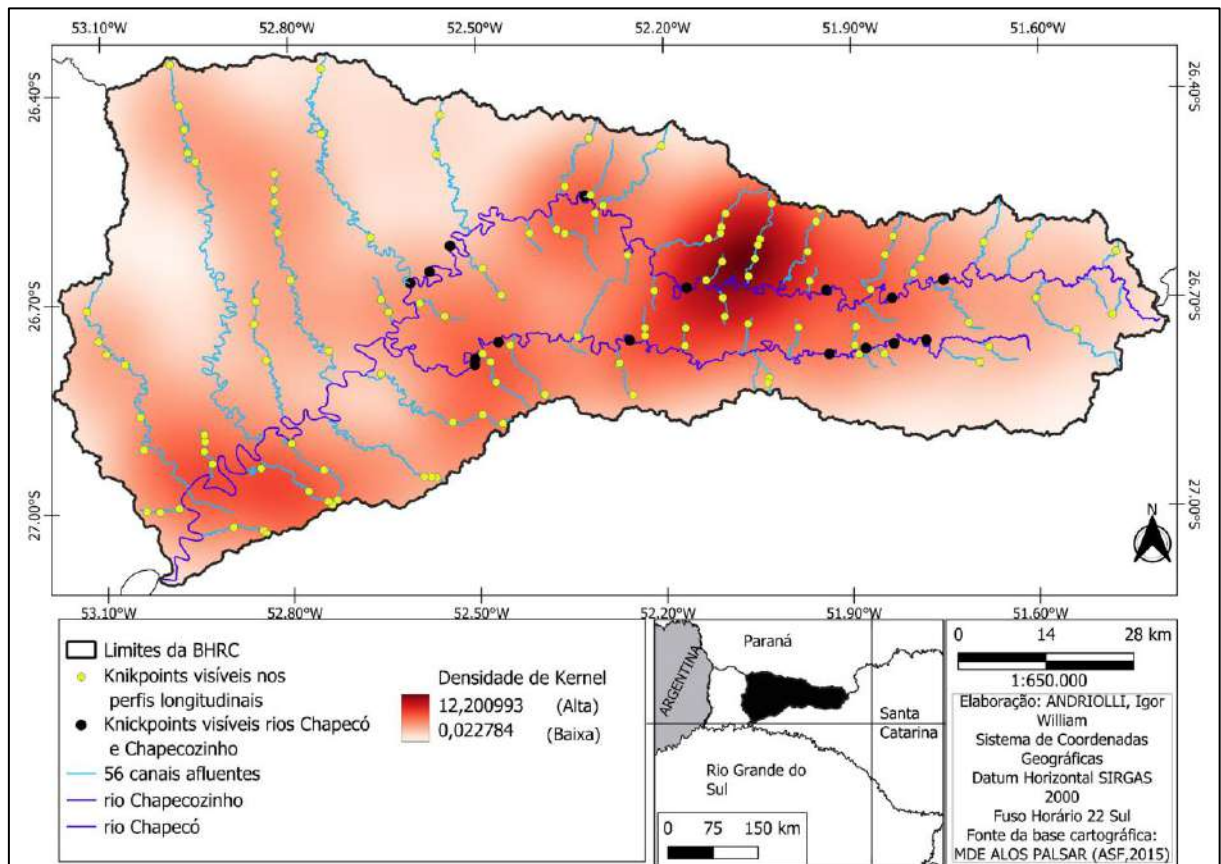
Figura 22- Perfis longitudinais dos rios Chapecó e Chapecozinho.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Utilizando a função interpoladora de Kernel do QGis, pode-se verificar as zonas com maior densidade de *knickpoints*. Para os visíveis nos perfis longitudinais (Figura 23) pode-se observar que há uma concentração maior na média bacia, diferente da densidade de Kernel aplicada ao critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$ que demonstrou manchas geograficamente distintas de maior densidade na média e baixa BHRC, entretanto a mancha da média bacia coincide com a apresentada pelo critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$.

Figura 23- Mapa de densidade de Kernel dos *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

No que se refere à litologia, observou-se também para este critério definidor de *knickpoints* o predomínio sobre litologia básica; 68 ocorrências em basaltos e andesitos, seguida por 34 em riolitos e riodacitos, e em locais de transição litológica (16). Assim como para os critérios do índice de Hack $>$ média e $>$ média + 1 dp, houve uma predominância maior de *knickpoints* em litologia básica.

A análise destes *knickpoints* segundo a compartimentação geomorfológica revelou uma distribuição de 59 deles no Planalto dos Campos Gerais (PCG) e 59 no Planalto Dissecado do rio Uruguai (PDU), diferente do que havia sido observado pelos critérios estatísticos onde havia maior frequência de *knickpoints* no PDU do que no PCG. Quanto às feições associadas, foram identificadas relações diretas com estruturas e formas erosivas: 17 *knickpoints* em escarpas erosivas, 15 em falhas/fraturas indiscriminadas e 3 em situações combinadas de falha/fratura e

escarpa erosiva. Esses dados demonstram que, novamente, os condicionantes litológico/estruturais não parecem ser determinantes na ocorrência dos *knickpoints* na BHRC.

Tabela 4- Associação dos *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais à litologia, compartimentação geomorfológica e feições.

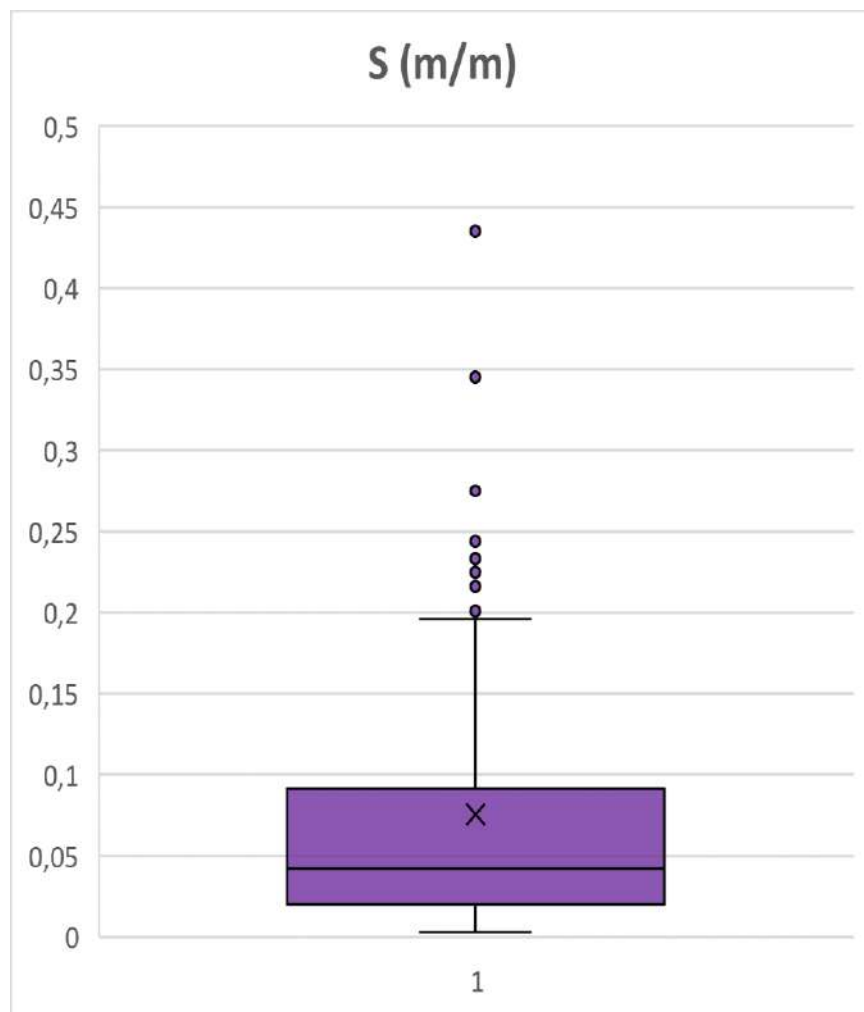
Categoria	Litologia	Compartimentação geomorfológica	Feições associadas
Rochas básicas	68	—	—
Rochas ácidas	34	—	—
Transição litológica	16	—	—
Planalto dos Campos Gerais (PCG)	—	59	—
Planalto Dissecado do rio Uruguai (PDU)	—	59	—
Escarpas erosivas	—	—	17
Falhas/fraturas	—	—	15
Falha + escarpa (combinadas)	—	—	3
Total	118	118	35

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A declividade desses 118 *knickpoints* (Figura 24) variou entre 0,003 m/m (rio Feliciano) e 0,438 m/m (lajeado Cerro Alto), revelando uma amplitude semelhante ao critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$, tendo como declividade média dos valores (0,075 m/m) que se apresenta levemente superior à mediana (0,042 m/m), reflexo direto da influência dos *outliers* sobre a distribuição. Observa-se novamente uma maior concentração de *knickpoints* em declividades inferiores a 0,1 m/m, sugerindo que a maior parte deles está vinculada a contextos de energia fluvial relativamente baixa a moderada. Ainda assim, a presença de *outliers*, especialmente aqueles acima de 0,2 m/m, tendem a indicar pontos isolados de maior energia, que podem ou não estar condicionados por fatores estruturais e/ou litológicos. Essa configuração reforça que, embora

predominem declividades suaves, os *knickpoints* associados aos trechos mais declivosos ($> 0,2$ m/m) são elementos importantes para a compreensão da dinâmica erosiva e do controle geológico-estrutural na BHRC, e neste caso todos estão localizados na média e baixa bacia.

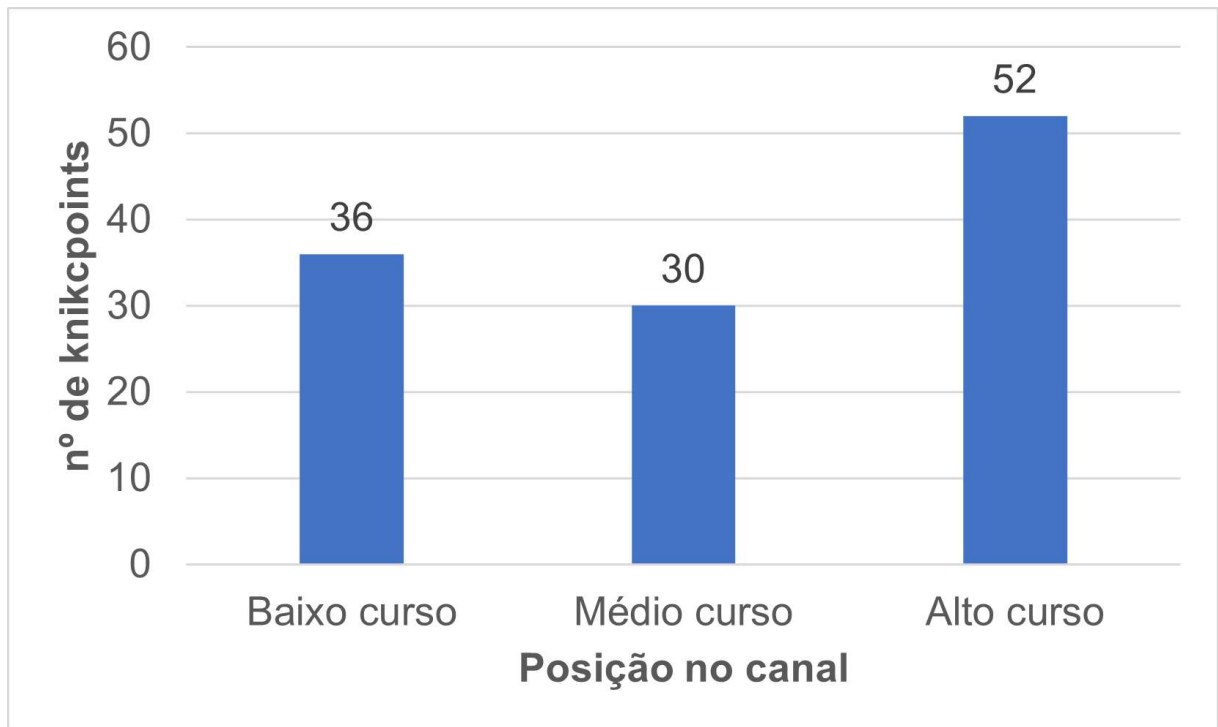
Figura 24- Declividade dos 118 *knickpoints* identificados visualmente nos perfis longitudinais dos 56 canais.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

No que se refere à posição ao longo dos canais (Figura 25), a distribuição mostrou predomínio no alto curso, com 52 *knickpoints*, seguido pelo baixo curso, com 36, e pelo médio curso, com 30. Esse padrão indica maior frequência de *knickpoints* em áreas de cabeceira, diferente do observado pelos critérios estatísticos do índice de Hack.

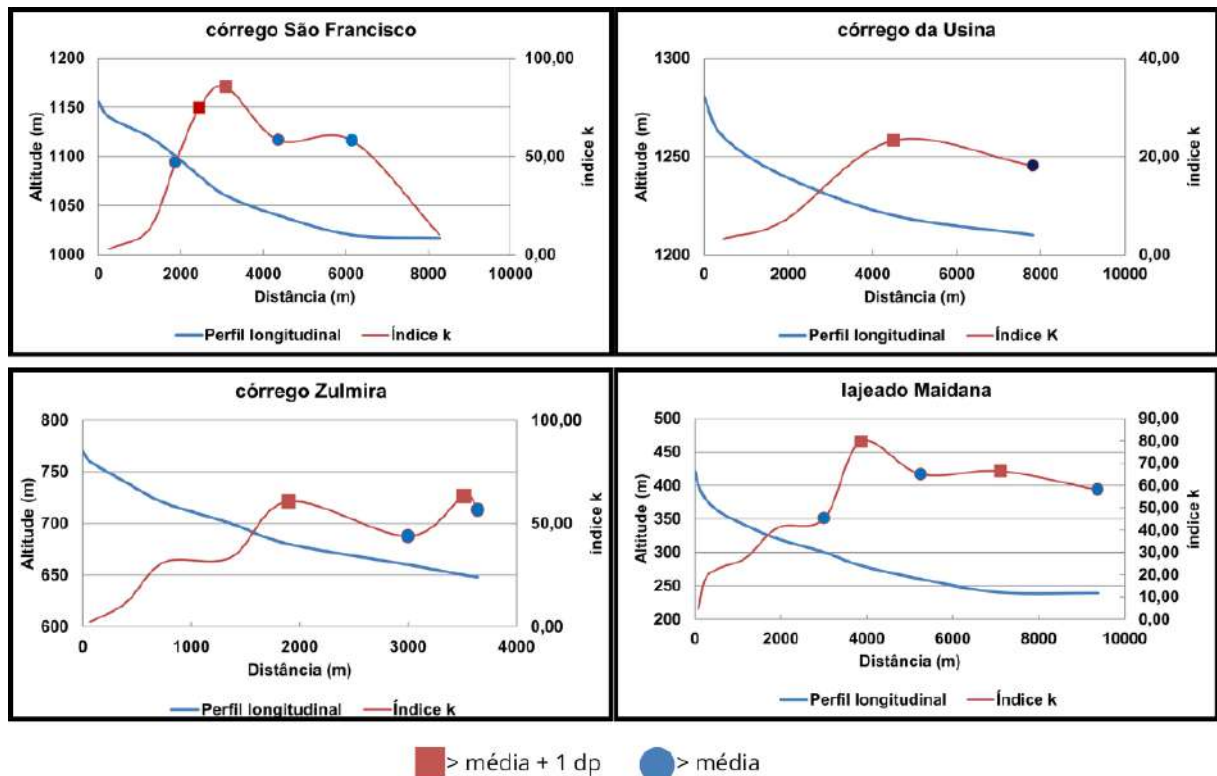
Figura 25 - Gráfico com a posição no canal dos 118 *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Dentre os 56 canais analisados apenas quatro não apresentaram descontinuidades altimétricas visíveis nos perfis (Figura 26): córrego da Usina (alta bacia), lajeado Maidana (baixa bacia), córrego São Francisco (transição entre alta e média bacia) e córrego Zulmira (transição entre média e baixa bacia). Esses canais exibem perfis tipicamente côncavos, forma que a literatura associa a sistemas próximos ao equilíbrio dinâmico entre processos de incisão fluvial e a resistência do substrato. A ausência de *knickpoints* visíveis nesses casos não implica necessariamente que não existam rupturas, mas sim que elas podem não ter sido captadas na escala de análise adotada (1:50.000). O exemplo do córrego Zulmira, onde foram identificados *knickpoints* menores que 1 metro de altura, reforça que descontinuidades de ordem centimétrica podem não ser detectadas nos perfis longitudinais derivados do mapeamento cartográfico nessa escala.

Figura 26- Canais que não apresentaram *knickpoints* bem-marcados nos perfis longitudinais.

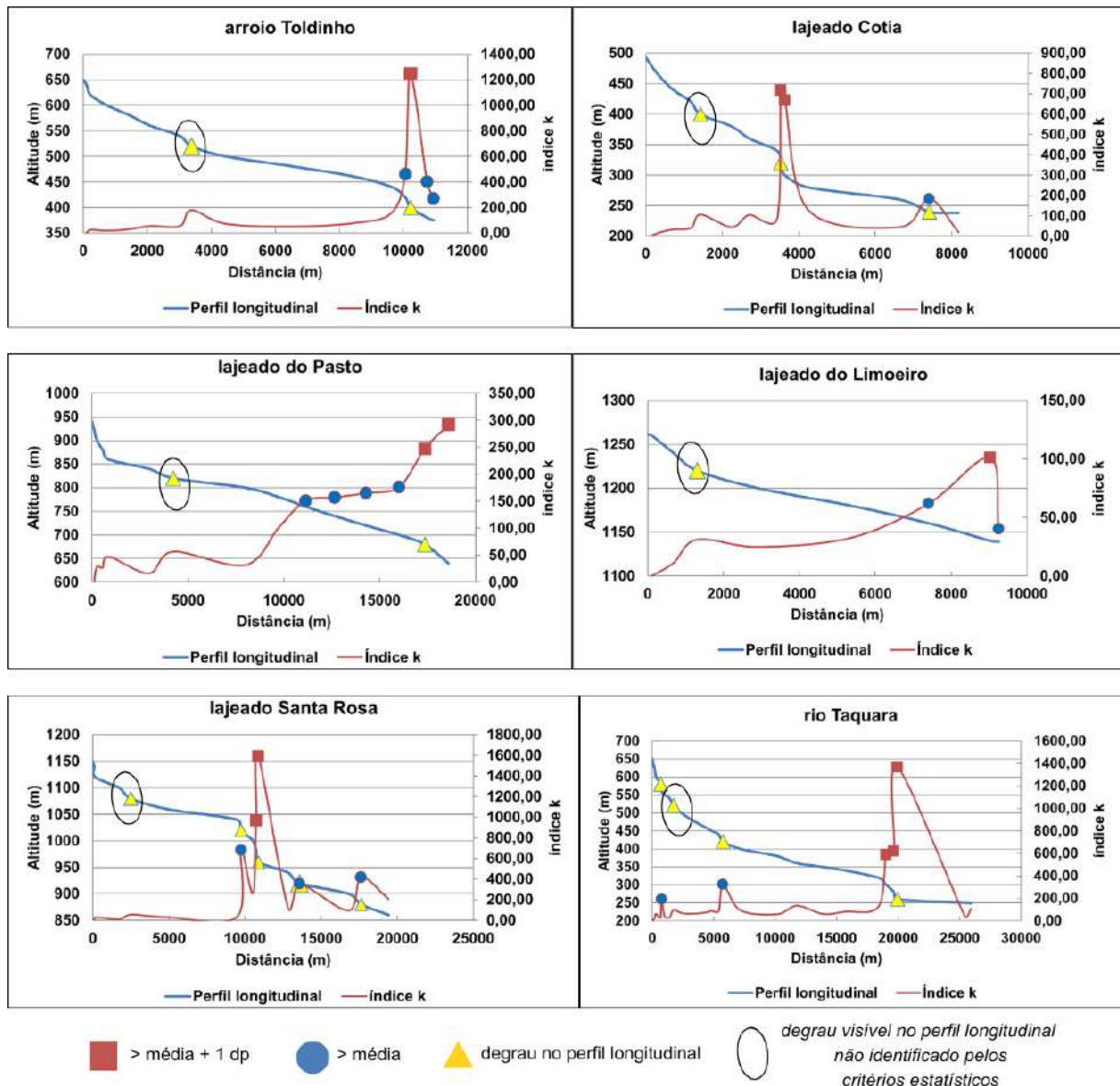


Fonte: elaborados pelo autor (2025).

Ao comparar os 118 *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais com os critérios estatísticos aplicados ao índice de Hack, constata-se que 18 deles não apresentaram coincidência com nenhum dos dois critérios estatísticos utilizados anteriormente (> média e > média + 1dp). Assim, considerando que cerca de 85% dos *knickpoints* identificados nos perfis coincidem com os resultados do índice, pode-se afirmar que os perfis longitudinais elaborados em escala 1:50.000 apresentaram boa consistência com os critérios estatísticos, reforçando a confiabilidade da metodologia aplicada. Eles são encontrados nos seguintes canais: rio Aguapeí, rio Burro Branco, lajeado Cotia, lajeado Dom José, rio Golfo, rio Jacutinga, lajeado Limoeiro, rio do Ouro, lajeado Passo da Divisa, lajeado do Pasto, lajeado Santa Rosa, rio Santo Antônio do Pinhal, rio Saudades, rio Taborda, rio Taquara, arroio Toldinho e rio Toldo Velho (exemplos na Figura 27). Esses casos representam situações em que a análise estatística não foi capaz de captar *knickpoints* claramente perceptíveis nos perfis, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada. Entretanto nota-se que mesmo esses

degraus não sendo coincidentes com os critérios estatísticos, em alguns casos há uma elevação nos valores do índice K no exato ponto onde ocorre o degrau no perfil longitudinal.

Figura 27 - Exemplos de perfis longitudinais com *knickpoints* não coincidentes com os critérios estatísticos adotados.

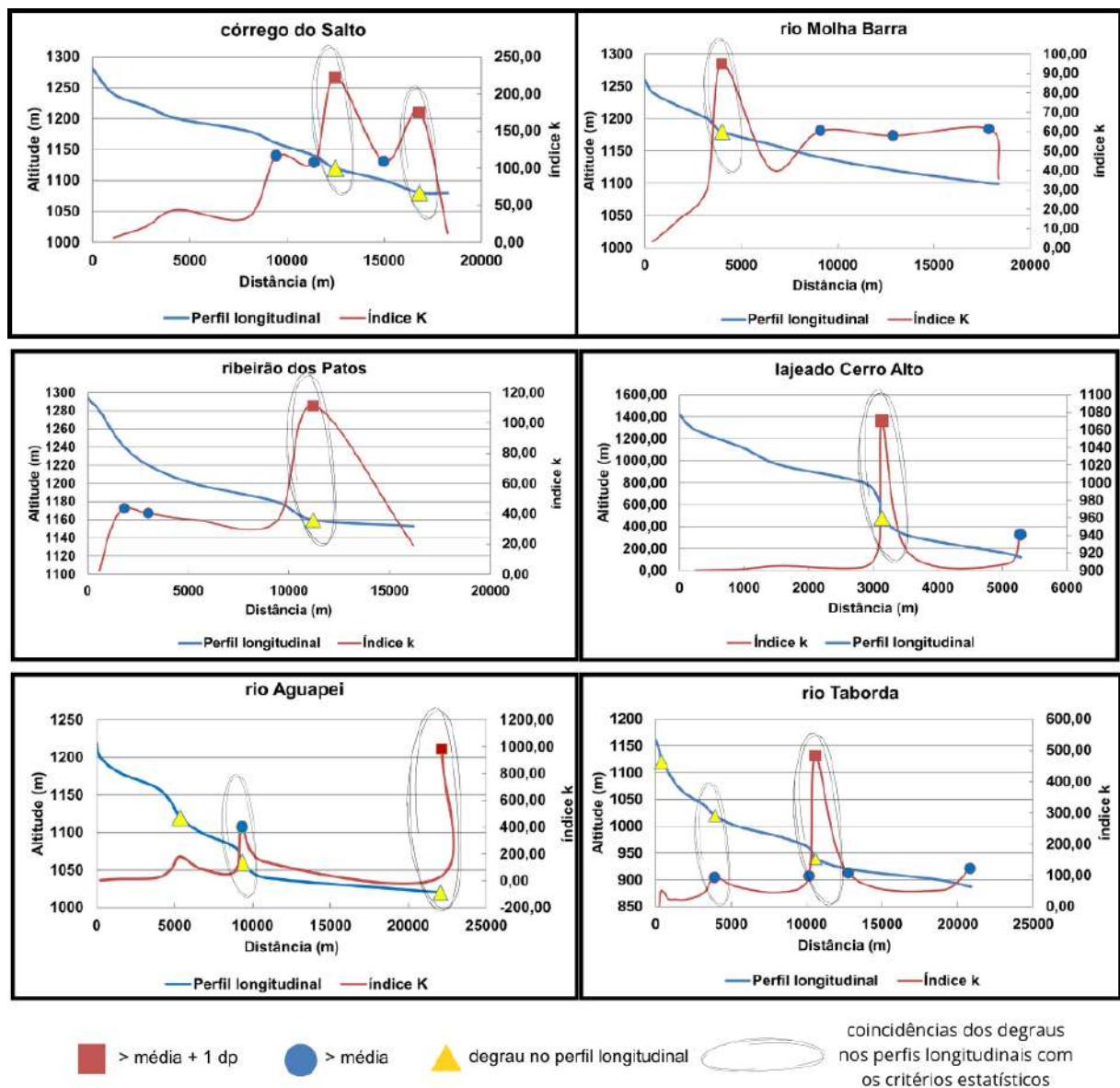


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Houve coincidência de 67 *knickpoints* visíveis pelos perfis longitudinais com o critério Hack $> \text{média} + 1 \text{ dp}$, enquanto 100 coincidiram com o critério Hack $> \text{média}$ (exemplos na Figura 28). Desta forma pode-se constatar que apesar das não

coincidência os critérios estatísticos aplicados ao índice de Hack representaram a maioria dos *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais.

Figura 28- Exemplos de coincidências dos *knickpoints* nos perfis longitudinais com os critérios estatísticos aplicados ao índice de Hack.

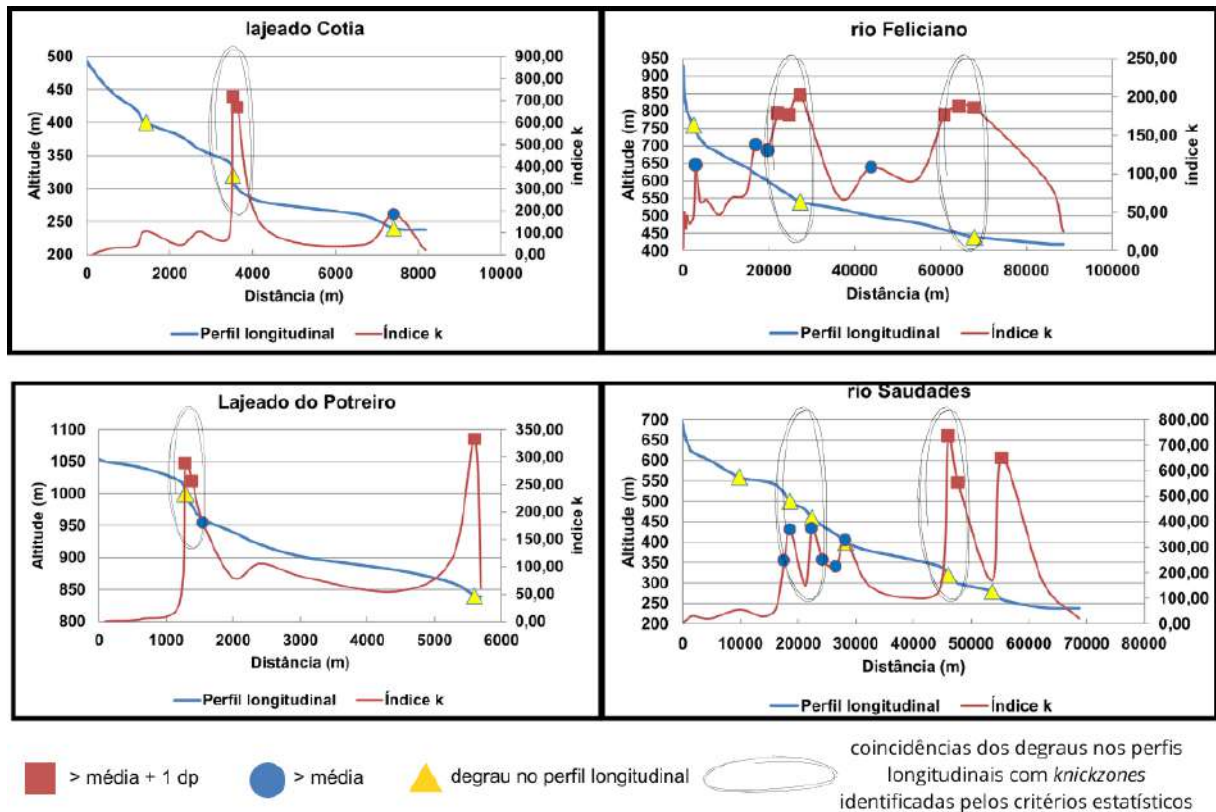


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Muitos dos *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais coincidiram com as *knickzones* delimitadas pelos critérios estatísticos (exemplos na Figura 29). Em alguns casos, porém, um mesmo degrau do perfil esteve associado a mais de um ponto identificado pelos critérios; nesses casos, optou-se por considerar apenas o *knickpoint* visível no perfil. As *knickzones* delimitadas pelos critérios estatísticos, quando

associadas a um mesmo degrau topográfico, foram consideradas como um único *knickpoint* visível no perfil longitudinal.

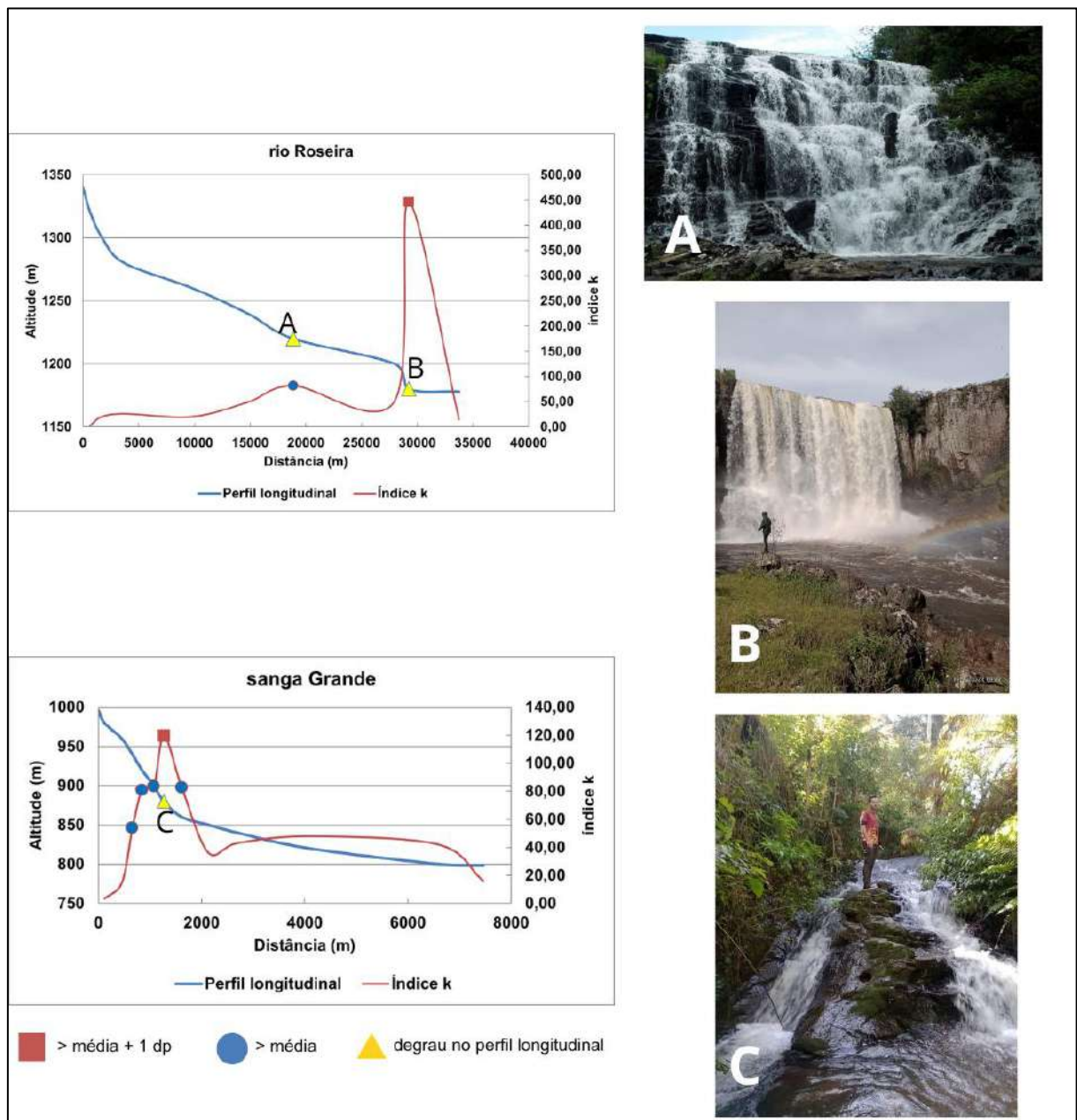
Figura 29- Exemplos de coincidência entre os *knickpoints* nos perfis longitudinais e as *knickzones* identificadas pelos critérios estatísticos.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Alguns *knickpoints* visíveis nos perfis longitudinais e identificados pelos critérios estatísticos foram visitados em campo, tendo sido possível comprovar a sua existência. Um exemplo é o *knickpoint* do rio Roseira (Figura 30A e 30 B), localizado na alta BHRC, no domínio do Planalto dos Campos Gerais; e o da sanga Grande, localizado na média BHRC, no Planalto Dissecado do rio Uruguai (Figura 30C).

Figura 30- Exemplos de knickpoints que foram visualizados in loco.



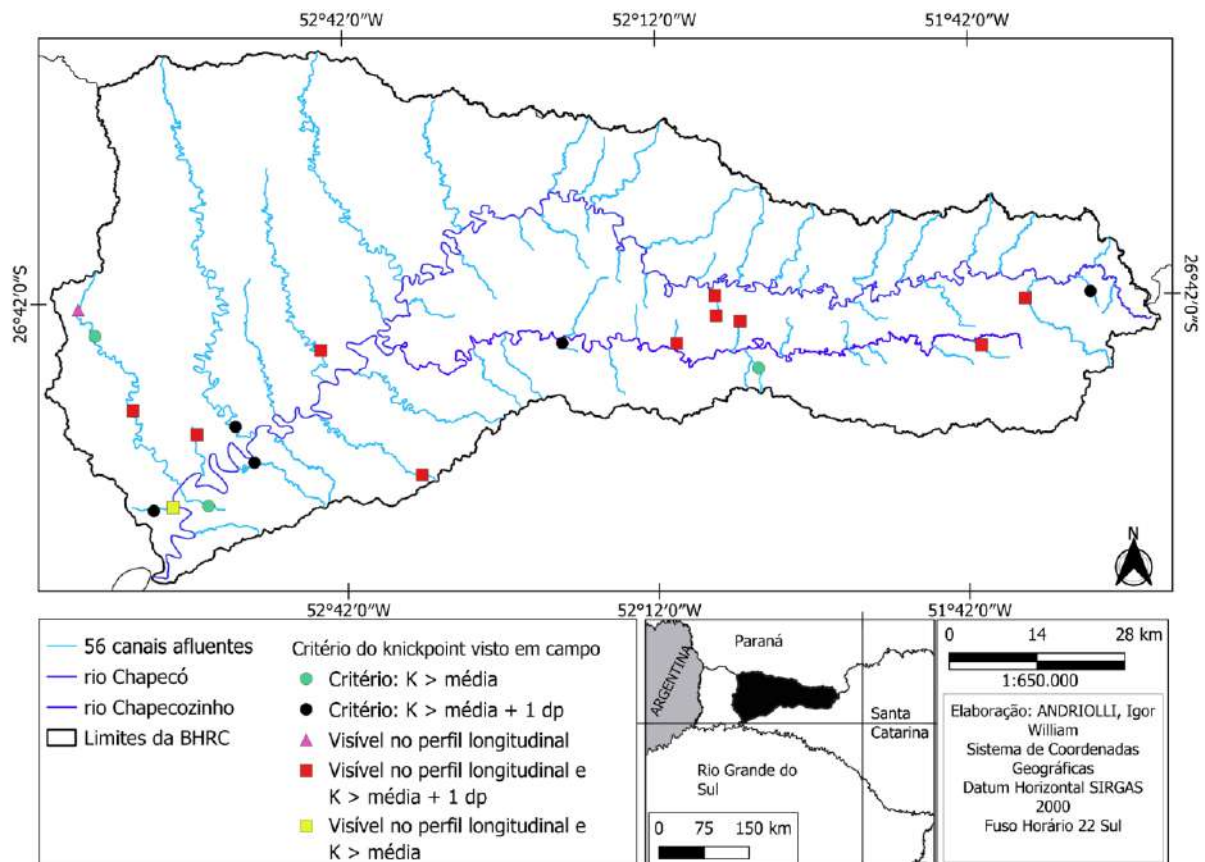
Fonte: A - imagem da internet¹, B e C - Registros fotográficos do autor. Compilação do autor.

¹ [Cachoeira Mendes - Google Maps](#)

5.5 OBSERVAÇÕES DE CAMPO E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS *KNICKPOINTS*

Ao longo dos oito trabalhos de campo realizados na BHRC (Figura 31), entre 2023 e 2025, foi possível verificar *in loco* 19 dos 284 *knickpoints* identificados pelo critério $K > \text{média}$, 16 dos 107 definidos pelo critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$ e 12 dos 118 visíveis nos perfis longitudinais, totalizando 20 *knickpoints* distintos, considerando os coincidentes por diferentes critérios de identificação. Foram observados *knickpoints* na alta, na média e na baixa BHRC nos dois compartimentos geomorfológicos que constituem o seu relevo. Ressalta-se que, apesar do número relativamente baixo de *knickpoints* visitados em relação ao total, muitos não apresentavam acesso viável ou estavam localizados em áreas de difícil deslocamento, além de ocorrerem casos de restrição de entrada por tratar-se de propriedade privada. Nos trabalhos de campo, foi possível aplicar os critérios analíticos definidos e detalhar aspectos da morfologia dos *knickpoints*, das formas do leito fluvial e da configuração dos vales onde se encontram.

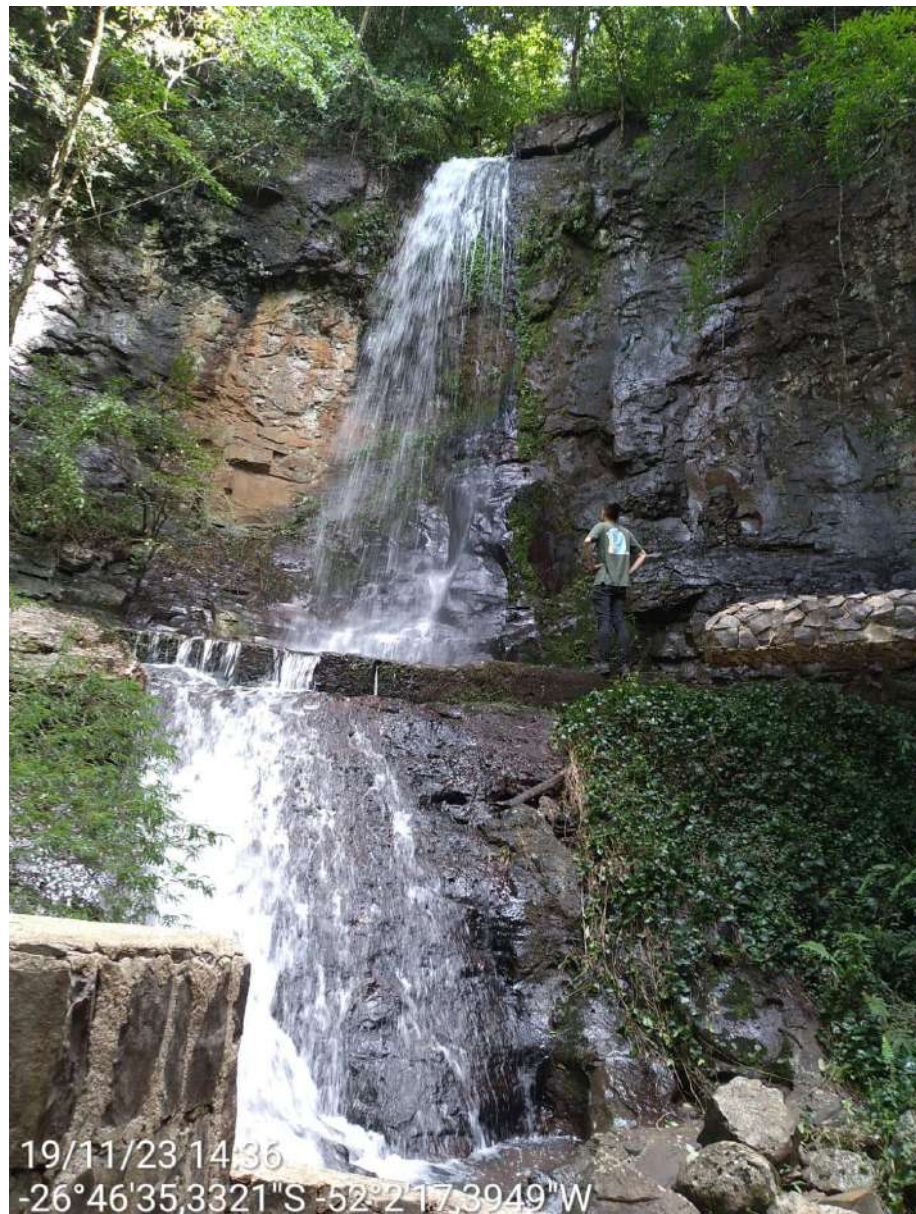
Figura 31- Mapa dos *knickpoints* visitados em campo.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A partir das observações de campo, é possível dizer com segurança que a presença de *knickpoints* é muito mais difundida na rede de drenagem do que aqueles extraídos e aqui analisados para os 56 afluentes. Em campo foi possível verificar *knickpoints* de grande desnível entre topo e base configurando cachoeiras em canais de baixa ordem; por exemplo, a cachoeira da Gruta (Figura 32) em contexto de escarpa erosiva e em afluente de primeira ordem do rio Chapecozinho na média BHRC, com cerca de 20 metros de altura.

Figura 32- Cachoeira da Gruta, em Passos Maia, em afluente de 1ª ordem do rio Chapecozinho, em contexto de escarpa erosiva.



Fonte: Registro fotográfico de William Zanete Bertolini (2023).

Na maior parte dos canais visitados, observou-se a presença de morfologias dos tipos degrau-poço (*step-pool*) e poço-corredeira (*pool-riffle*) associadas aos *knickpoints*. A morfologia degrau-poço (*step-pool*) (Figura 33A) é caracterizada por uma sequência alternada de pequenos degraus formados por blocos de rocha, cascalho ou material resistente no leito, seguidos por poços mais profundos. Esses degraus atuam como barreiras que dissipam a energia do fluxo de água, enquanto os

poços, por serem zonas de menor energia e apresentarem maior profundidade, tendem a acumular sedimentos devido à redução da capacidade de transporte e à presença de zonas de recirculação dos fluídos que favorecem a deposição. Já a morfologia poço-corredeira (*pool-riffle*) (Figura 33B) apresenta uma alternância entre poços mais profundos e áreas rasas e de fluxo mais turbulento, conhecidas como corredeiras. Os poços são áreas de fluxo mais lento, onde sedimentos finos podem se acumular, enquanto as corredeiras apresentam maior energia do fluxo e são normalmente compostas por um leito rochoso protuberante e provavelmente mais resistente e por sedimentos mais grosseiros. A carga de fundo predominante nos trechos de corredeira é constituída de cascalhos e seixos, com presença comum de blocos rochosos.

Figura 33- A - Trecho de degrau-poço (*step-pool*) no rio Xaxim com *knickpoint* com cerca de 1,5 metros de altura. B - Trecho de poço-corredeira (*pool-riffle*) no arroio Caramujo. Ambos os afluentes da margem esquerda do rio Chapecó.

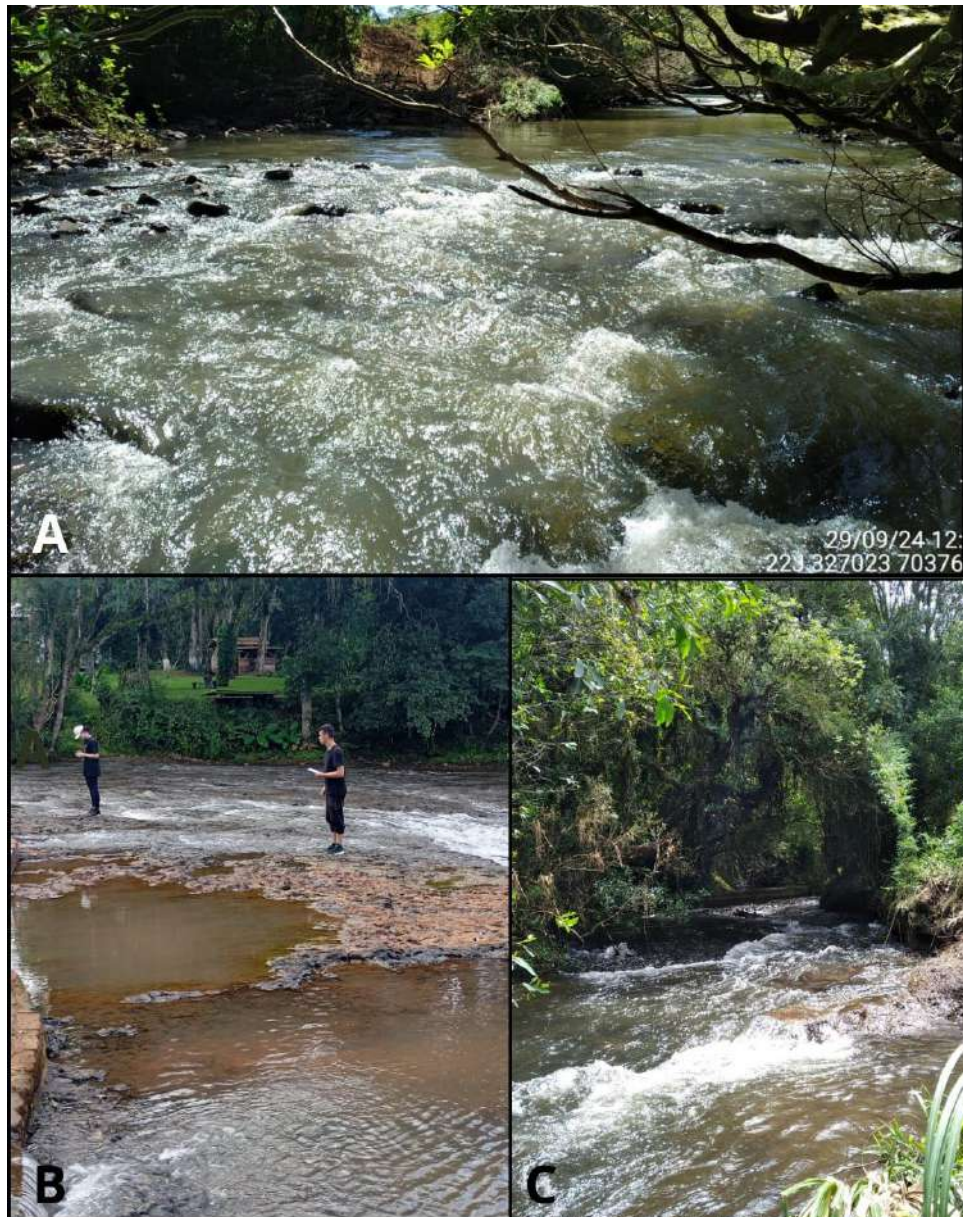


Fonte: registro fotográfico do autor (2024).

Pelas observações de campo, os trechos de corredeiras (Figura 34) normalmente estão associados a carga de fundo de maior calibre na forma de cascalhos e blocos rochosos de baixa esfericidade. Também não é incomum a presença de rocha exposta nesses trechos, o que configura tipicamente soleiras rochosas nos leitos, podendo ser considerados níveis de base secundários do canal, já que “representam mudanças nos padrões hidrológicos, erosivos e sedimentares” (Barros e Magalhães Júnior, 2020, p.28). Entende-se que em função da vazão os

trechos de corredeiras compostos por carga de alto calibre se alteram em função da variabilidade da vazão. Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), nesses trechos pode ocorrer o efeito de pavimentação (*armouring effect*), no qual as partículas mais finas são removidas, permanecendo clastos maiores, como cascalhos, no fundo do canal. Contudo, tal estrutura pode ser rompida durante cheias extraordinárias, quando a energia do fluxo é suficiente para mobilizar também os sedimentos de maior granulometria. As corredeiras representam morfologias de *knickpoints* cuja declividade é de difícil mensuração em campo, em razão de sua extensão variável e do volume de água, que dificulta a visualização e a quantificação exata do desnível.

Figura 34- A - Trecho de corredeira com carga de fundo de calibre grosseiro no rio do Ouro (baixa bacia); B - Trecho em corredeira sob exposição rochosa no rio Saudades (baixa bacia); C - Trecho em corredeira no córrego das Porteiras (alta bacia).



Fonte: registro fotográfico do autor (2024; 2025).

Do ponto de vista das características geológicas, a maioria dos *knickpoints* verificados em campo está disposta em litologias basálticas maciças. Níveis vesiculares-amigdaloides foram verificados em menor número, mas não associados aos *knickpoints*. Provavelmente e a depender da incisão e do aproveitamento de fraturas pré-existentes, alguns *knickpoints* podem ter se desenvolvido ao longo de níveis diferentes de derrames. É o caso, por exemplo, da cachoeira do rio Roseira,

onde foi possível verificar níveis diferentes de textura da rocha ígnea associados com diferentes derrames sobrepostos.

Em muitos canais, foi possível identificar a presença de muitos blocos rochosos caídos (Figura 35), dos mais variados tamanhos e formatos. Pôde-se observar blocos caídos com formatos arredondados (Figura 35B), blocos com faces retilíneas (Figura 35A) e blocos poligonais com formatos variados (Figura 35C) indicando quedas recentes no tempo geológico. Parte desses blocos caídos acaba por interromper ou alterar localmente a velocidade do fluxo de água dos canais, desviando-os e possibilitando represamentos ou até mesmo facilitando a formação de barras de sedimentos laterais em alguns canais. Por vezes, acabam por se tornarem *knickpoints*, que normalmente apresentam desníveis centimétricos. Blocos rochosos com faces arredondadas tendem a indicar transporte fluvial causado por vazões esporádicas de grande potência, mesmo em canais de baixa ordem. Esse formato, também constatado em campo, sugere a capacidade erosiva de vazões esporádicas elevadas, capazes de deslocar grandes fragmentos e modificar o leito fluvial. Nesse sentido, muitos *knickpoints* parecem estar associadas a um fraturamento ou diaclasamento vertical das rochas. A quantidade significativa de blocos caídos próximos aos *knickpoints* é coerente com tal constatação. Foi amplamente observado em campo margens de canais que apresentam presença de rochas com alto grau de fraturamento, fator que possibilita a queda desses blocos para dentro dos canais (Figura 35C).

Figura 35 - A - Blocos caídos com faces retilíneas, leito do lajeado Tarumã (afluente do lajeado Dom José, na baixa bacia); B - Bloco caído com formato mais arredondado e outros blocos com formatos e tamanhos variados, leito do rio Xaxim (baixa bacia); C- Bloco c caído interrompendo/desviando o fluxo d'água no leito do rio Xaxim, apresentando morfologia de *knickpoint* com poucos centímetros de desnível. Ambos os canais estão dispostos sobre litologia básica e no Planalto Dissecado do rio Uruguai.

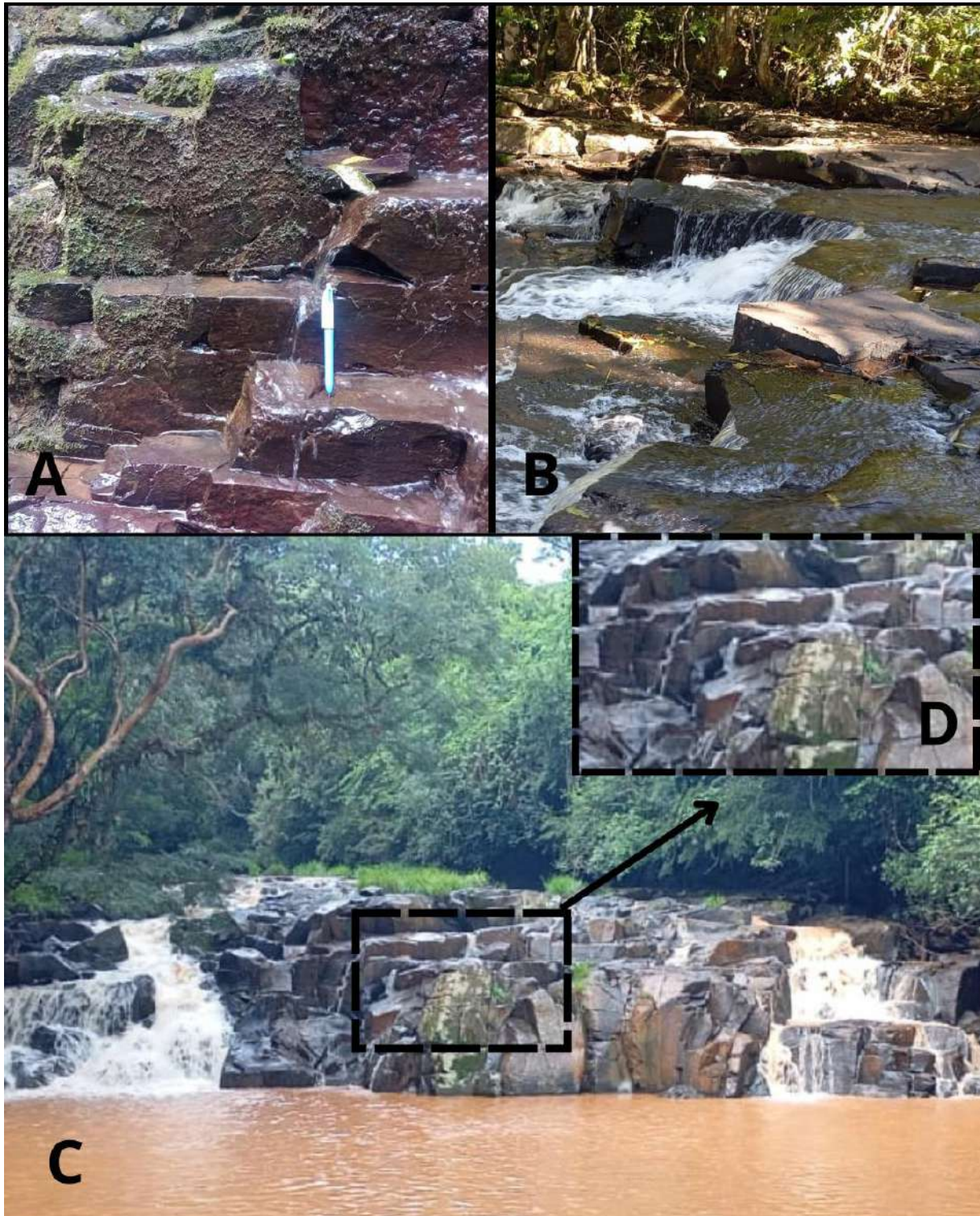


Fonte: Registro fotográfico A- William Zanete Bertolini; B e C - Igor William Andriolli. (2024), compilação do autor.

Além da intensiva presença de diáclases, também foram observadas fraturas no fundo dos leitos, associadas aos *knickpoints* (Figura 36). Na maioria dos casos, as fraturas se apresentam em faces retilíneas, formando padrões de blocos predominantemente retangulares. Dessa forma, os blocos acumulados na base ou dispostos nas margens dos canais evidenciam processos de queda, os quais podem

corroborar a hipótese de migração remontante dos *knickpoints*, já que havendo o arrancamento, principalmente por “tombamento que é restrito às frentes dos *knickpoints*” (Lamb; Dietrich, 2009 *apud* Lima, 2023) acarreta-se com isso o recuo deste. Um exemplo ocorre no alto curso do rio Xaxim (Figura 36A), onde há ocorrência de rochas basálticas diaclasadas na margem direita e na face da cachoeira. Situação semelhante é observada no baixo curso do rio Taquara (Figura 36B), cuja margem esquerda apresenta basaltos com fraturas retilíneas ortogonais, bem como no próprio leito associados ao *knickpoint*. No alto curso do rio Saudades (Figuras 36C e 36D), destaca-se o elevado grau de fraturamento do basalto associado ao *knickpoint*, com blocos que podem ser facilmente deslocados, evidência que reforça a possibilidade de migração remontante.

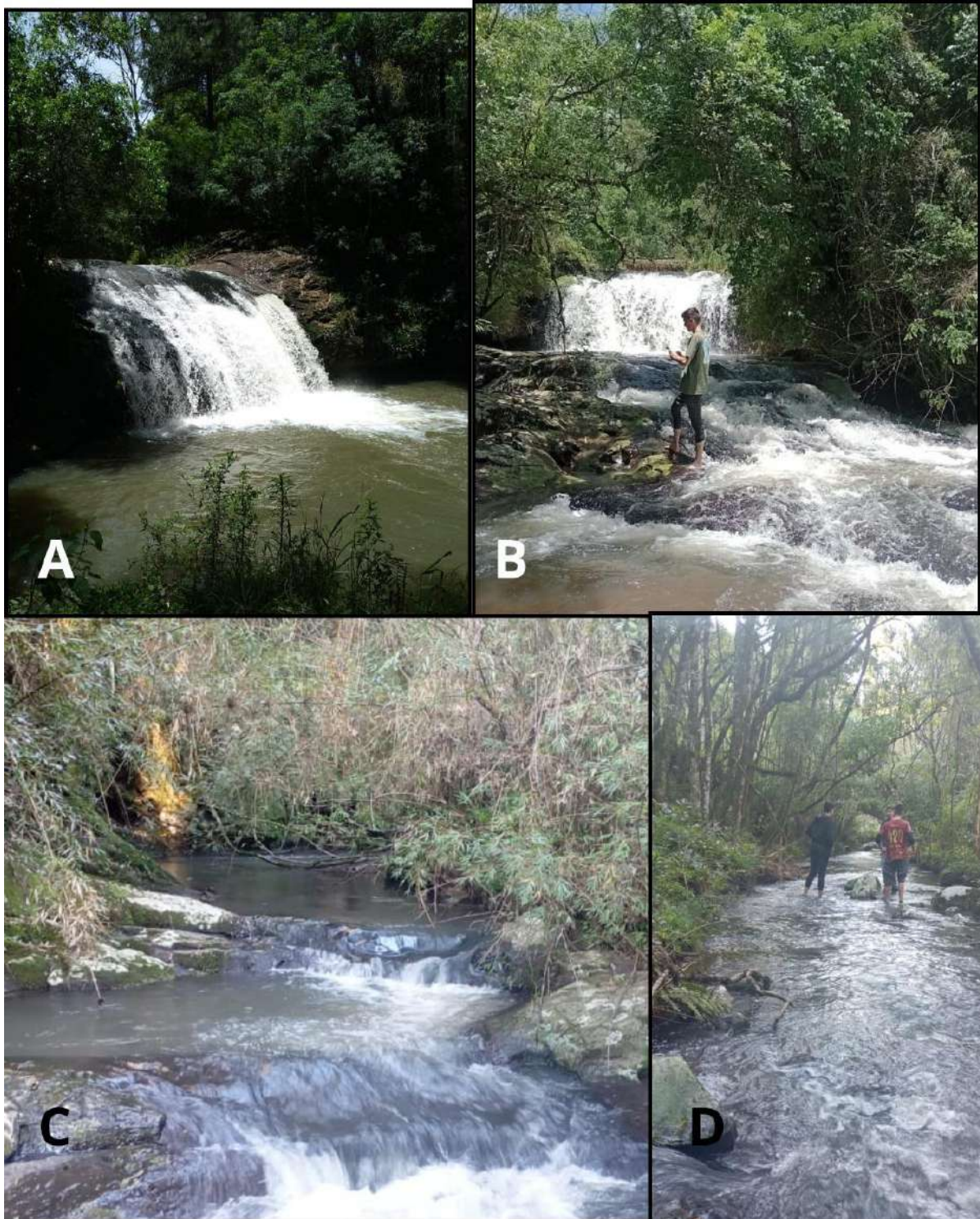
Figura 36- A- Fraturamento basáltico na margem direita do rio Xaxim (baixa BHRC), próximo a um *knickpoint*; B - *Knickpoint* no rio Taquara (baixa BHRC); C - *Knickpoint* no rio Saudades (baixa BHRC); D - Detalhe do fraturamento da rocha.



Fonte: registro fotográfico do autor (2025).

Alguns canais visitados apresentaram um ou mais *knickpoint* em um mesmo trecho entre curvas de nível, como é o caso do rio Bebedor (Figura 37). Nesse local, localizado na média BHRC, verificaram-se três quedas em um único trecho entre curvas de nível, e as três apresentam morfologias diferentes. A primeira queda constitui cachoeira (Figura 37A) com aproximadamente 4 metros de altura, em formato convexo com presença de poço na sua base, além de possuir uma pequena concavidade em sua base da qual se infere estar sendo formada pela circulação do fluxo d'água dentro do poço. A segunda cachoeira (Figura 37B) está localizada aproximadamente a 150 metros a jusante da primeira: ela apresenta queda verticalizada com formação de poço incipiente. Após cerca de 3 metros desta verifica-se uma terceira queda em formato de degraus com pequeno poço em formação. Toda essa sequência de encachoeiramentos é seguida de um estreitamento do canal antes de receber outro afluente de menor ordem. Essa *knickzone* do rio Bebedor está no Planalto Dissecado do rio Uruguai em litologia básica. Esta *knickzone* foi identificada apenas pelo critério estatístico de Hack $>$ média e não por Hack $>$ média + 1 dp. A montante da primeira cachoeira desvela-se um longo trecho de corredeiras e poços de pouca profundidade (~ 20-30 cm) onde se constatou a presença de *knickpoints* centimétricos formados inclusive por troncos caídos e dispostos transversalmente ao leito (Figura 37D).

Figura 37- *knickpoints* do rio Bebedor: A - Cachoeira com morfologia convexa, com poço e concavidade na base da queda; B- segunda e terceira quedas, com morfologia retilínea e poço incipiente e terceira queda em degraus com poço em formação; C - Trecho de corredeira com degraus formados por soleiras e pequenos poços. D - Aspecto de extenso trecho tipicamente rochoso e com carga de fundo grosseira, a montante da cachoeira da foto A.



Fonte: Registro fotográfico do autor (2024).

Outros *knickpoints* apresentam-se na forma de quedas retilíneas, como por exemplo é o caso da cachoeira no baixo curso do rio Roseira (Figura 38A e 38C), localizado na alta bacia, no contexto do Planalto dos Campos Gerais. Verifica-se aí uma queda de aproximadamente 30 metros de desnível, com a margem esquerda do canal confinada e escarpada a jusante da queda. Neste *knickpoint* está instalada a Central Geradora Hidrelétrica - CGH (TONET). Acredita-se que neste caso se trate de um *knickpoint* originado ou minimamente condicionado em seu desenvolvimento por ação de falha. A morfologia local é condizente com esse tipo de estrutura geológica, além do mapa geológico (CPRM, 2014) indicar a presença de falha/fratura de natureza indiscriminada junto a esse *knickpoint*. Na parede desta queda, podem ser observados os contatos entre diferentes derrames vulcânicos, e ainda uma protuberância maior na sua base, que pode indicar se tratar de um derrame mais resistente que os demais.

No alto curso do rio Xaxim (Figuras 38B e 38D), pôde-se observar um *knickpoint* com morfologia semelhante: neste caso, trata-se de uma cachoeira com morfologia retilínea de aproximadamente 15 metros de desnível, em litologia basáltica com alto grau de fraturamento e presença de pequenos degraus na parede do encachoeiramento. Há a formação de poço na base da queda com depósito de sedimentos e escoamento do canal pela lateral da margem direita.

Figura 38- A - escarpamento da margem esquerda no baixo curso do rio Roseira, na alta bacia; B - visão ampla do *knickpoint* do alto curso do rio Xaxim, na baixa bacia; C - detalhe do *knickpoint* do rio Roseira; D - detalhe do *knickpoint* do rio Xaxim.



Fonte: registro fotográfico do autor (2024).

Outro *knickpoint* visitado em campo, localizado no rio Burro Branco e comumente denominado pela população local como “Salto da Meia-Lua” (Figura 39), apresenta morfologia retilínea, mas com a particularidade de formar uma feição com geometria côncava que se estende por todo o leito do canal. A queda concentra a energia erosiva na base, originando um poço de abrasão com aproximadamente 2 metros de profundidade (ou mais), o que intensifica o desgaste do substrato e favorece o recuo progressivo da borda do *knickpoint* ao longo do tempo.

Figura 39- Salto da meia-lua no rio Burro Branco (baixa BHRC): *knickpoint* com desnível de cerca de 2 metros.



Fonte: registro fotográfico do autor (2024).

Outras morfologias de *knickpoints* foram observadas em outros canais (Figura 40). O *knickpoint* localizado no alto curso da Sanga Grande (Figura 40B), em litologia básica na alta bacia, possui uma morfologia bastante peculiar dentre as observadas em campo. O *knickpoint* se inicia após um confinamento das duas margens do canal, e apresenta uma queda côncava de aproximadamente 4 metros, com protuberância da rocha em meio ao canal que divide a queda em dois fluxos: o da margem direita apresenta uma leve convexidade e o da margem esquerda apresenta pequenos degraus.

O *knickpoint* do baixo curso do córrego Zulmira (Figura 40A), na transição da média para a baixa BHRC, apresenta morfologia em degraus com uma distância de poucos metros entre cada degrau. Possui margens assimétricas, com depósitos sedimentares pouco selecionados e pouco espessos na margem esquerda do canal. Aparentemente trata-se de um pacote aluvionar com contribuição de depósitos de vertente.

O *knickpoint* do baixo curso do arroio Cedrinho (Figura 40C e 40D), localizado na média bacia e no contexto da borda da estrutura circular do Domo de Vargeão, possui duas quedas seguidas separadas entre si por cerca de 5 metros de distância. Este *knickpoint* foi identificado através dos três critérios estatísticos, como pertencente a uma *knickzone* pelo critério $> \text{média}$, e como *knickpoint* pelo critério $> \text{média} + 1dp$, além de ser um dos 40 *outliers* identificados na bacia. No trecho analisado, ocorrem duas sequências duplas de cachoeiras ao longo do mesmo canal. A primeira sequência é composta por uma queda de aproximadamente 3 metros de desnível, com poço incipiente, seguida, a montante, por uma segunda queda de cerca de 6 metros, com poço bem desenvolvido na base. Cerca de 120 metros a jusante, ocorre a segunda sequência, formada por duas quedas sucessivas com morfologia semelhante às anteriores e desnível total de cerca de 8 metros, localizadas aproximadamente 100 metros antes da foz do canal no rio Chapecozinho.

Figura 40- A – *Knickpoint* na sanga Grande; B - *Knickpoint* no córrego Zulmira; C - *Knickpoint* no arroio Cedrinho.



Fonte: A - Registro fotográfico de Fernanda Guimarães de Quadros Bé; B - registro fotográfico do autor; C e D - registro fotográfico de William Zanete Bertolini (2024).

Outro *knickpoint* visitado em campo que apresentou morfologia interessante foi o *knickpoint* do Lajeado Cotia (Figura 41), canal este que escoia sobre litologia básica, na baixa bacia, no contexto do Planalto Dissecado do rio Uruguai. Esse *knickpoint* foi identificado apenas pelo critério do índice de Hack $>$ média. Trata-se de um *knickpoint* localizado em um dos meandros do canal, com uma sequência de seis degraus centimétricos (Figuras 41B e 41D), seguida de um rampeamento e desnível de aproximadamente 10 metros (Figura 41A e 41C), com formação de um poço ao final.

Figura 41- *Knickpoint* do lajeado Cotia (baixa BHRC).



Fonte: A, B e D: registro fotográfico do autor (2025); C: registro de Tayná Aymé Pelegrini Mohr (2025).

Nas observações de campo, foram identificados trechos de corredeiras associados à presença de carga de fundo predominantemente grosseira (cascalhos e seixos) (Figura 42A e 42B). Nessas condições, a vazão atual não dispõe de energia suficiente para mobilizar os sedimentos que tendem a permanecer estáveis no fundo do canal. Entretanto, em eventos excepcionais de aumento da energia do fluxo (descarga de margens plenas), esses materiais podem ser removidos, retrabalhados e transportados a jusante. Além disso, observaram-se degraus no leito formados a partir da queda de troncos de árvores que o atravessam (Figura 42C), promovendo a retenção de cascalhos a montante e, conseqüentemente, a formação de corredeiras sob esses sedimentos acumulados. Contudo, em uma escala temporal mais ampla, esses *knickpoints* tendem a ser eliminados em função do apodrecimento natural da madeira, visto que se trata de material orgânico morto.

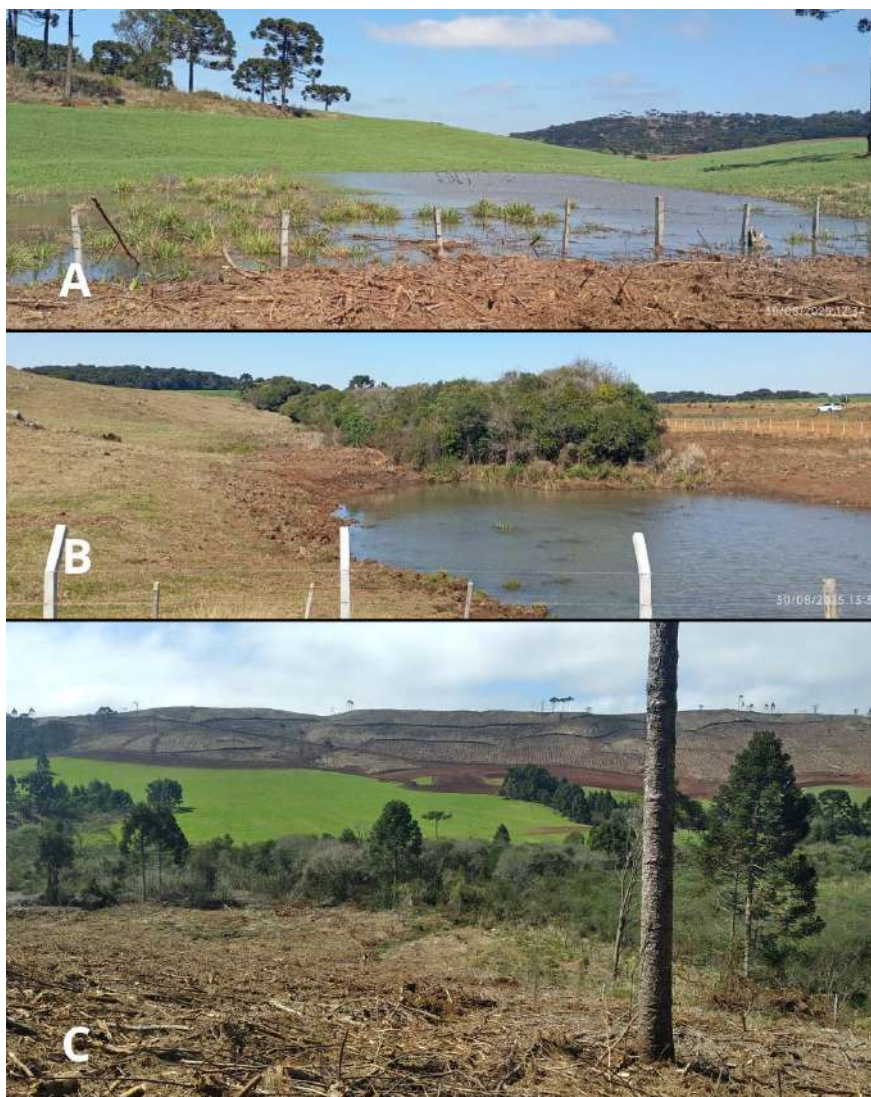
Figura 42- A e B - Trechos de corredeira sob carga de fundo grosseira no arroio Caramujo (média BHRC); C - *Knickpoint* originado por tronco de madeira caído no leito (círculo vermelho) e associado a bloco rochoso que funciona como ponto de sustentação do tronco: rio Bebedor (média BHRC)



Fonte: Registro fotográfico do autor (2025).

Em toda a bacia hidrográfica do rio Chapecó (BHRC) são observadas modificações antrópicas na rede de drenagem (Figura 43), especialmente as associadas a barramentos de variadas amplitudes para tomadas de água para dessedentação animal. Entretanto, no compartimento do Planalto dos Campos Gerais (PCG) essas alterações são mais evidentes, sobretudo em função da intensa presença de plantações vinculadas à indústria madeireira. Nessa região, destacam-se os barramentos de talvegue para a formação de açudes e a canalização de trechos fluviais por meio de bueiros/condutos/galerias, práticas que alteram significativamente a dinâmica natural dos canais.

Figura 43- A - Barramento de talvegue na bacia do córrego Cachacinha (alta BHRC, PCG); B- Barramento seguido de bueiro no córrego do Campo (alta BHRC, PCG); C - Solo exposto no alto vale do rio Cachacinha pela atividade de silvicultura. (alta BHRC, PCG).



Fonte: Registro fotográfico do autor (2025).

As observações de campo atestam uma ampla diversidade de variáveis que interagem na origem e desenvolvimento dos *knickpoints* na bacia hidrográfica do rio Chapecó, como estruturas rúpteis nas rochas, contexto geomorfológico, processos erosivos, e retroalimentações hidrodinâmicas. A predominância de *knickpoints* associados a litologias básicas, combinada com a ocorrência significativa de blocos caídos e a alta variabilidade nos desníveis, reforça a influência do fraturamento e da estrutura interna das rochas na formação dessas feições. Além disso, as variações de morfologias dos *knickpoints*, desde quedas retilíneas, passando por encachoeiramentos duplos e a extensiva presença de trechos do tipo poço-corredeira

e degrau-poço, torna difícil a identificação de algum fator principal a ser apontado na gênese dos *knickpoints*. Por fim, os exemplos documentados sugerem que os *knickpoints* desempenham um papel central na dinâmica sedimentar e na distribuição da energia dos canais, constituindo elementos-chave para compreender a evolução dos perfis longitudinais e a interação entre processos geomorfológicos e hidrológicos na BHRC. Essas feições atuam como zonas de intensa dissipação de energia, influenciam o transporte e a retenção de sedimentos e podem indicar diferenças de resistência litológica, contatos rochosos, fraturas e falhas. Assim, configuram-se como registros integrados da relação entre geologia, hidrodinâmica e morfologia fluvial. A associação da gênese dos *knickpoints* a marcadores (neo)tectônicos é, aparentemente, um tanto quanto difícil de ser estabelecida para a BHRC. A extensiva distribuição dessas morfologias fluviais por diferentes trechos de canal nas mais variadas altitudes pela bacia, torna difícil a identificação de um fator comum que os relacione a condicionantes de ordem tectônica.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como objetivo principal caracterizar e analisar os *knickpoints* na Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó (BHRC), a partir de métodos morfométricos, cartográficos e observações de campo. Ao longo do trabalho, buscou-se compreender de que maneira os *knickpoints* estão distribuídos na bacia, como eles atuam na dinâmica fluvial, suas relações com as compartimentações geomorfológicas e com a geologia da região na qual estão inseridos.

A análise dos 56 canais da BHRC evidenciou grande amplitude nos valores médios do índice de Hack por canal (12,32 a 388,47), com média geral de aproximadamente 121,6, e nos desvios padrão (8,1 a 759,41), refletindo valores que se distribuem dentro da mesma ordem de grandeza, variando aproximadamente entre uma ordem de grandeza abaixo e até meia ordem de grandeza acima da média, o que evidencia forte heterogeneidade morfométrica entre os canais. Quarenta trechos fluviais foram classificados como *outliers*, distribuídos em 30 dos 56 canais, com predominância no baixo curso e no contexto do Planalto Dissecado do Rio Uruguai, confirmando a relevância de *outliers* como indicadores de zonas de instabilidade geomorfológica.

A aplicação do índice de Hack permitiu identificar 284 *knickpoints* pelo critério $K > \text{média}$, 107 pelo critério $K > \text{média} + 1 \text{ desvio padrão}$ e também foi possível identificar 118 visíveis nos perfis longitudinais. Destes, 20 foram verificados em oito trabalhos de campo ao longo de 2 anos de pesquisa. Essa abordagem mostrou-se eficaz para mapear a distribuição espacial dos *knickpoints* e validar, *in loco*, a ocorrência de rupturas significativas. Constatou-se em campo que os *knickpoints* são feições fluviais muito abundantes em toda a rede de drenagem da bacia, inclusive em canais de primeira ordem, e que não há uma relação direta entre o valor do índice de Hack e a altura dessas feições. Observou-se ainda que há um número expressivo de *knickpoints* em canais não amostrados, especialmente nos trechos em que os canais cruzam escarpas erosivas. Essas observações sugerem que a gênese dos *knickpoints* pode estar associada à presença da escarpa e aos declives acentuados desses locais.

Em campo, também foi possível observar que os desníveis dos *knickpoints* variam amplamente, abrangendo desde pequenos degraus centimétricos, normalmente formando trechos extensos com corredeiras, até cachoeiras que

ultrapassam 20 metros de altura. Durante as análises de campo, também foi comum identificar a ocorrência de mais de uma queda em um mesmo trecho do canal entre curvas de nível. Os *knickpoints* da BHRC apresentam uma grande variedade de morfologias. Essa diversidade morfológica associada à dispersão dos *knickpoints* por vá reforça o caráter multifatorial dessas feições, evidenciando que o sistema fluvial da BHRC não se encontra em equilíbrio longitudinal clássico.

Ao comparar todos os *knickpoints* identificados pelos diferentes critérios aos compartimentos geomorfológicos, observou-se uma maior concentração de *knickpoints* no Planalto Dissecado do rio Uruguai do que no Planalto dos Campos Gerais. Além disso, foram identificadas associações de rupturas com escarpas erosivas, incluindo canais além dos 56 afluentes analisados.

Litologicamente, a distribuição dos *knickpoints* não demonstrou relação clara com os tipos litológicos da bacia, uma vez que foram identificados tanto em litologias básicas (basaltos e andesitos) quanto em ácidas (riolitos e riodacitos). A maior concentração de *knickpoints* em rochas básicas deve ser interpretada considerando sobretudo a sua maior representatividade espacial e, principalmente, diferenças no estilo de fraturamento dessas unidades, que favorecem a formação de descontinuidades no leito. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar que a litologia exerça controle direto na ocorrência dos *knickpoints*.

A análise das declividades dos 107 *knickpoints* mostrou que a maioria se encontra em trechos fluviais com declives inferiores a 0,1 m/m, distribuída em diferentes extensões de canais, mas com frequência decrescente à medida que estes se alongam. Os *knickpoints* de declividade moderada (0,1 a 0,3 m/m) ocorrem preferencialmente em canais curtos e predominam na média bacia do rio Chapecó, sugerindo influência de controles litológicos e estruturais locais e caracterizando uma zona de transição erosiva. Já aqueles de declividade mais acentuada ($> 0,3$ m/m) são raros, restritos a canais de até 10 km, reforçando a tendência de associação entre maiores declividades e trechos de menor extensão.

A análise dos perfis longitudinais demonstra que muitos deles estão longe de apresentar concavidades típicas associadas a canais em equilíbrio, como normalmente se pressupõe na literatura. A reduzida concavidade e a abundante presença de trechos convexizados em diversos perfis indicam que a bacia responde a perturbações que estão registradas nos cursos d'água. Possivelmente a

configuração das escarpas erosivas no interior da BHRC tem associação com o desenvolvimento de alguns dos *knickpoints* e a concentração destes constatada pelos *clusters* de kernel na média bacia tende a concordar com esta conclusão.

Constatou-se uma maior concentração de *knickpoints* na média bacia. Considerando que os *knickpoints* correspondem a áreas de intensificação dos processos erosivos e de maior energia de fluxo, infere-se que essa região apresenta maior probabilidade de estar sob influência de uma onda erosiva, atualmente associada às escarpas erosivas presentes. Em contraste, a alta bacia não apresentou grande concentração, embora ali existam *knickpoints* de elevado desnível, possivelmente associados a falhas e fraturas, conforme sugerem a morfologia dessas feições e lineamentos geológicos considerados. Com a normalização da extensão dos canais houve a constatação de que 52,34% dos *knickpoints* estão no baixo curso dos canais e em maior proporção na baixa BHRC, sugerindo a interferência dos rios Chapecó e Chapecozinho no ajuste dos canais.

Ao comparar os dois critérios estatísticos utilizados ($K > \text{média}$ e $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$), observa-se que, de fato, um valor limiar do índice é algo importante, mas ao mesmo tempo difícil de definir. O valor desse limiar é o que de fato irá definir a quantidade de *knickpoints*. O critério $K > \text{média}$ é mais abrangente e destacou trechos com variações menores no índice, sendo adequado para mapear tendências gerais na bacia. Já o critério $K > \text{média} + 1 \text{ dp}$ pareceu mais seletivo e identificou trechos com maior discrepância, representando zonas de maior instabilidade morfodinâmica. Portanto, os resultados indicam que nenhum dos critérios é superior isoladamente, e que a combinação de ambos permite uma caracterização mais robusta da distribuição e intensidade dos *knickpoints*.

Todos os resultados obtidos apontam para a complexidade dos processos envolvidos na gênese e na dinâmica dos *knickpoints* na BHRC, decorrente da interação simultânea entre estrutura, fraturamento, compartimentação do relevo e dinâmica fluvial. Essa interpretação ajuda a explicar por que as rupturas se concentram em determinados compartimentos, por que ocorrem com frequência em canais curtos e por que são tão abundantes mesmo em canais de primeira ordem.

As análises realizadas na BHRC evidenciaram lacunas importantes que ainda limitam a compreensão completa da dinâmica dos *knickpoints* na região. Apesar do avanço proporcionado pela integração entre índices morfométricos, cartografia e

validação em campo, ainda faltam estudos de maior resolução que permitam detalhar a influência conjunta entre litologia, declividade e processos erosivos recentes, bem como investigações comparativas com bacias vizinhas para identificar possíveis padrões regionais. Essas abordagens adicionais poderiam contribuir para reduzir as lacunas remanescentes e aperfeiçoar a compreensão sobre os controles que moldam a rede de drenagem da BHRC.

Assim, a dissertação contribuiu para o entendimento geomorfológico da BHRC ao demonstrar que os *knickpoints* são elementos fundamentais de transformação da rede de drenagem e podem refletir tanto processos de ajuste hidráulico em escalas de tempo menor quanto processos extrínsecos aos canais e que operam em escalas de tempo maior.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. de. **Fundamentos da geologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1956.
- ALMEIDA, F. F. M. de. O planalto basáltico da Bacia do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 24, p. 7–48, 1956. Comunicação apresentada ao XVIII Congresso Internacional de Geografia, Rio de Janeiro, ago. 1956.
- AMBILI, V.; NARAYANA, A. C. Tectonic effects on the longitudinal profiles of the Chaliyar River and its tributaries, southwest India. **Geomorphology**, v. 217, p. 37-47, 2014.
- AMOS, C. B.; BURBANK, D. W. Channel width response to differential uplift. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 112, n. F2, 3 maio 2007. DOI: [10.1029/2006JF000672](https://doi.org/10.1029/2006JF000672).
- ASF - Alaska Satellite Facility. 2015. **Radiometrically terrain corrected ALOS PALSAR products**. Product guide. In: ASF Engineering. Disponível em: https://media.asf.alaska.edu/uploads/RTC/rtc_product_guide_v1.2.pdf. Acesso em: 3 jul. 2020.
- BAKER, V. R.; KALE, V.S. The role of extreme floods in shaping bedrock channels. In: TINKLER, K. J.; WOHL, E.E. **Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels**. American Geophysical Union: Washington, DC, 1998, p. 153-166.
- BARTORELLI, A. Origem das grandes cachoeiras do planalto basáltico da Bacia do Paraná: evolução quaternária e geomorfologia. In: BICCA, Yociteru (ed.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. cap. VI, p. 95-111.
- BDGEX - **Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro**. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- BERLIN, M.B.; ANDERSON, R.S. Modeling of *knickpoint* retreat on the Roan Plateau, western Colorado. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, v. 112, 2007. DOI: F03S06, doi:10.1029/2006JF000553
- BERTOLINI, W.Z.; DEODORO, S.C.; ZAMBOT, N. Morphometric analysis of Chapecó river basin: Searching for vestigial trace of neotectonic on a basaltic landscape at southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. 124, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104271>
- BERTOLINI, W. Z.; CHEREM, L. F. S. Relação entre o relevo e a rede de drenagem na análise da condição de equilíbrio no alto Rio Piranga (MG). **Revista Geografias**, v. 12, n. 1, p. 102-118, 2017.

BISHOP, P.; HOEY, T. B.; JANSEN, J. D.; ARTZA, I. L. *Knickpoint* recession rate and catchment area: the case of uplifted rivers in Eastern Scotland. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 30, n. 6, p. 767-778, 2005.

BULL, W.B. Tectonic Geomorphology of Mountains: a new approach to Paleoseismology. Oxford, UK: **Blackwell Publishing Ltd**, 2007.

BURBANK, D. W.; ANDERSON, R. S. Geomorphic markers. Tectonic Geomorphology. Malden:(ed.) **Blackwell Publishing**, p. 13-32, 2001.

CARRETIER, S.; NIVIÈRE, B.; GIAMBONI, M.; WINTER, T. **Do river profiles record along-stream variations of low uplift rate?** Journal of Geophysical Research, v. 111, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blüncher, 2 ed./ ver. e. ampl., 188 p., 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blücher. V. 1. 1981.

CROSBY, B.T.; WHIPPLE, K.X. *Knickpoint* initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand. **Geomorphology**, v. 82, n. 1-2, p. 16-38, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.08.023>.

DAS, S. Geomorphic characteristics of a bedrock river inferred from drainage quantification, longitudinal profile, *knickzone* identification and concavity analysis: a DEM-based study. **Arabian Journal of Geosciences**. 11. 2018.

DOLE, G.; DAS, S.; KALE, V. S. Tectonic framework of geomorphic evolution of the Deccan Volcanic Province, India. **Earth-Science Reviews**, v. 228, p. 103988, maio 2022. DOI: 10.1016/j.earscirev.2022.103988.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal of Royal Society**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

FLINT, J.J. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. Water Resour. Res. 10, 1974, p.969–973. <https://doi.org/10.1029/WR010i005p00969>.

FLORES, D.M.; LIMA, A.G.; OLIVEIRA, D. **Rupturas de declive fluvial em basaltos hipoialinos: natureza e características**. Boletim Paulista de Geografia, v. 96, 2017, p.91-111.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Governo de Santa Catarina. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina** - PERH/SC. Florianópolis: governo de Santa Catarina, 2017.

GAILLETON, B.; MUDD, S.M.; CLUBB, F.J.; PEIFER, D.; HURST, M.D. A segmentation approach for the reproducible extraction and quantification of *knickpoints* from river long profiles. **Earth Surface Dynamics**. 7, 211-230, 2019 <https://doi.org/10.5194/esurf-7-211-2019>

GARDNER, T. W. Experimental study of *knickpoint* and longitudinal profile evolution in cohesive, homogeneous material. **Geological Society of America Bulletin**, [S.l.], v. 94, p. 664-672, 1983.

GRIMAUD, J.L.; PAOLA, C.; VOLLER, V. Experimental migration of *knickpoints*: influence of style of base-level fall and bed lithology. **Earth Surface Dynamics**, 4, 2016. p-11-23. DOI:10.5194/esurf-4-11-2016.

GROH, E. L.; SCHEINGROSS, J. S. Morphologic signatures of autogenic waterfalls: A case study in the San Gabriel Mountains, California. **Geology**, v. 50, n. 2, p. 248-253, 2022.

GUIDICINI, G.; CAMPOS, J. de O. Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos. **Boletim Soc. Bras. Geol.** n. 17, v. 1, 1968. p.15 -28.

HACK, J.T. Stream profile analysis and stream gradient index. J. Res. US Geol. Survey, v.1, n.4, p.421-429, 1973.

HASBARGEN, L.; PAOLA, C. Landscape instability in an experimental drainage basin. **Geology**, v. 28, n. 12, p. 1067–1070, 2000. DOI: 10.1130/0091-7613(2000)28<1067:LIIAED>2.0.CO.

HOLBROOK, J.; SCHUMM, S. A. Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings. **Tectonophysics**, v. 305, n. 1–3, p. 287-306, 10 maio 1999. DOI: 10.1016/S0040-1951(99)00011-6.

HIRUMA, S.T.; RICCOMINI, C.; MODENESI-GAUTTIER, M.C. Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.31, n.3, p. 375-384, set/2001.

HOWARD, A.D.; DIETRICH, W.E.; SEIDL, M.A. Modeling fluvial erosion on regional to continental scales. **J. Geoph. Research**, v. 99 (B7), p.13971-13986, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento dos Recursos Naturais: folha SG.22 Curitiba, parte da folha SG.21 Assunção e folha SG.23 Iguape. Projeto RADAM BRASIL. Relatório do Volume 35. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=2101617>

JAIN, V.; SINHA, R. Response of active tectonics on the alluvial Baghmata River, Himalayan foreland basin, eastern India. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 339-356, 2005.

JERRAM, D.A.; WIDDOWSON, M. The anatomy of Continental Flood Basalt Provinces: geological constraints on the processes and products of flood system. **Lithos**. 79, 2005. p.385-405. doi:10.1016/j.lithos.2004.09.009

KALE, V. S.; ELY, L. L.; ENZEL, Y.; BAKER, V. R. Geomorphic and hydrologic aspects of monsoon floods on the Narmada and Tapi Rivers in central India. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 10, p. 157–168, 1994.

KELLER, E.A.; PINTER, N. **Active tectonics**: earthquakes, uplift and landscape. 2^a ed. New Jersey. Prentice 569 Hall. 362p. 2002.

KIRBY, E; WHIPPLE, K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54-75, nov. 2012. DOI: 10.1016/j.jsg.2012.07.009.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**. n. 70. p.187-206. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.02.005

LAVAISSIÈRE, L. de; BONNET, S.; GUYEZ, A.; DAVY, P. Autogenic *knickpoints* in laboratory landscape experiments. **Earth Surface Dynamics**, v. 10, p. 229–246, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/esurf-10-229-2022>.

LIFTON, N. A.; CHASE, C. G. Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. **Geomorphology**, v. 5, n. 1-2, p. 77-114, 1992.

LEINZ, V. Contribuições à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. **Boletim CIII**, Geologia, nº 5, São Paulo: Universidade de São Paulo, 1949.

LIMA, A. G; BINDA, A. L. Lithologic and structural controls on fluvial *knickzones* in basalts of the Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.I.], v. 48, p. 262–270, 2013. DOI: [10.1016/j.jsames.2013.10.004](https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.10.004). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981113002033>.

LIMA, A. G. Rios de leito rochoso: aspectos geomorfológicos fundamentais. Guarapuava (PR): **Ambiência**, v.6 n.2. p.339-354. maio/ago. 2010. ISSN 1808-0251.

LIMA, A.G.; FLORES, D.M. River slopes on basalts: Slope-area trends and lithological control. **Journal of South American Earth Sciences**. 76, 2017. p.375–388. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.03.014>.

LIMA, A.G. Rios de leito rochoso: dos processos à paisagem, e de volta. In: COSTA, L.R.F. da (org.). **Geociências**: entraves e lacunas de pesquisa. 3.ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2023. Cap. 2, p.18-37.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P.; LAVARINI, C. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluviais: bases conceituais. In.: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P. **Hidrogeomorfologia**: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 51-77. 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P.; COTA, G. E. M. Classificação de sistemas fluviais. In.: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P. **Hidrogeomorfologia**: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 217-257. 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P; BARROS, L. F. de P.; COTA, G. E. M.; Morfodinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. de P. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 121-163. 2020

MILLER, J. The influence of bedrock geology on *knickpoint* development and channel bed degradation along downcutting streams in South-central Indiana. **Journal of Geology**, v.99, p. 591-605, 1991.

MONTGOMERY, D.R.; BUFFINGTON, J.M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. **Geological Society of America Bulletin**, 109, nº 5; p.596-611. 1997.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standard for old terms. **Geological Society of American Bulletin**. 87. p.1463-1469. 1976.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom

PHILLIPS, Jonathan D.; LUTZ, J. David. Profile convexities in bedrock and alluvial streams. **Geomorphology**, v. 102, n. 3–4, p. 554–566, 15 dez. 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.05.042.

POTTER, P.E. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. **Journal of South American Earth Sciences** 10 (5-6), 331–344, 1997.

PEIFER, D.; CREMON, E.H.; ALVES, F.C. Ferramentas modernas para a extração de métricas de gradientes fluviais a partir de MDEs: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.21, n.1. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/www.ugb.org.br/rbg.v21i1.1732>

PEIFER, D; PERSANO, C. Slope-distance and slope-area indices of channel steepness yield analogous results for a post-orogenic mountainous landscape. In: **9ª Conferência Internacional De Geomorfologia**, 2017, Nova Délhi. Anais. Nova Délhi: [s.n.], 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321155486_Slope-distance_and_Slope-area_Indices_of_Channel_Steepness_Yield_Analogous_Results_for_a_Post-orogenic_Mountainous_Landscape . Acesso em: 4 jun. 2025.

PROESC. Projeto Oeste de Santa Catarina. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina**. Convênio CPRM e governo estadual. Execução: CPRM Porto Alegre. Organização Marcos A. de Freitas, Bráulio R. Caye e José L. F. Machado. Florianópolis: Proesc. 100 p. 2002.

RADAM BRASIL. Folha SG22 Curitiba, parte da folha SG21 Assunción e folha SG23 Iguape. **Levantamento de recursos naturais**. Relatório. v.35. IBGE, Rio de Janeiro, 2018.

RAJAGURU, S. N.; GUPTA, Avijit; KALE, V. S.; MISHRA, Sheila; GANJOO, R. K.; ELY, L. L.; ENZEL, Yahouda; BAKER, V. R. Channel form and processes of the flood-dominated Narmada River, India. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 20, n. 5, p. 437–450, ago. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290200503>.

RODRÍGUEZ TRIBALDOS, V.; WHITE, N. J.; ROBERTS, G. G.; HOGGARD, M. J. Spatial and temporal uplift history of South America from calibrated drainage analysis.

Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017GC006909>.

ROSETTI, L.M.M. ; LIMA, E. F. DE ; WAICHEL, B. L. ; SIMÕES, M.S. ; SCHERER, C. M. ; HOLE, M. J. . Lithostratigraphy and Volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a Formal Stratigraphical Framework. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, p. 98-114, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>

SANTA CATARINA. **Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: CPRM, 2014.

SALAMUNI, E. Dobramentos e redobramentos superpostos na porção sul da zona de cisalhamento Lancinha-Cubatão. **Boletim Paranaense de Geociências** 43, p.135–149. 1995.

SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. do; MORALES, N.; HASUI, Y. Análise morfotectônica da Região Sul do Brasil com vista à caracterização neotectônica. In: **XV Simpósio Nacional De Estudos Tectônicos**, 2015, Vitória. Anais do XV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Vitória, ES: SBG-Sede, 2015. v. único. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280324574>. Acesso em: 30 jun. 2015.

SILVA, T. M.; MONTEIRO, H. S.; CRUZ, M. A.; MOURA, J. R. S. Anomalias de drenagem e evolução da paisagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, 29, p. 210-224, 2006.

SANTOS, Marcilene dos; LADEIRA, Francisco Sérgio Bernardes; BATEZELLI, Alessandro. **Indicadores Geomórficos Aplicados à Investigação de Ação Tectônica**: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 287-316, abr-jun 2019.

SCHEINGROSS, J.S.; LAMB, M.P.; FULLER, B.M. Self-formed bedrock waterfalls. **Nature**; v.567, n. 7747, p.229-233, 2019.

SCHEINGROSS, J. S.; LIMAYE, A. B.; McCOY, S. W.; WHITTAKER, A. C. The shaping of erosional landscapes by internal dynamics. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 661–676, out. 2020.

SORDI, M.V.; SALGADO, A.A.R.; SIAME, L.; BOURLÈS, D.; PAISANI, J.C.; LÉANNI, L. Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. **Geomorphology**. 306, p.155-169, 2018.

SOUZA, D. V.; MARTINS, A. A.; FARIA, A. L. L. de. Aplicação do índice de Hack (SL) a um trecho do rio Zêzere, Portugal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 12, n. 1, 2011. DOI: 10.20502/rbg.v12i1.215. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/215>. Acesso em: 12 set. 2024.

STÉVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. v. 3, São Paulo: Oficina de Textos, 2017. ISBN 978-85-7975-075-5.

STOCK, J. D.; MONTGOMERY, D. R. Geologic constraints on bedrock river incision using the stream power law. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 104, n. B3, p. 4983–4993, mar. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/98JB02139>.

TANCREDI, Nicola Saverio Holanda. **Aplicação de Geoprocessamento na Análise Ambiental das Bacias Hidrográficas do Igarapé Juruti Grande e Rio Aruã - Juruti - Pará**. 111f. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

TINKLER, K. J.; WOHL, E.E. A primer on bedrock channels. In: TINKLER, K. J. & WOHL, E.E. *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels*. **American Geophysical Union**: Washington, DC, 1998, p.1-18. (Geophysical monograph 107).

TROIANI, F.; DELLA SETA, M. The use of the Stream Length-Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy. **Geomorphology**. 102, p.159-168.

TUROWSKI, J. M.; LAGUE, D.; CRAVE, A.; HOVIUS, N. Experimental channel response to tectonic uplift. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 111, n. F3, p. 1–16, ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JF000306>.

WHIPPLE, K.X.; DI BIASE, R.A.; CROSBY, B.T. Bedrock rivers. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), **Treatise on Geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA, vol. 9, Fluvial Geomorphology, pp. 550–573, 2013.

WHIPPLE, K. X.; TUCKER, G. E. Dynamics of the stream-power river incision model: implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 104, n. B8, p. 17661-17674, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999JB900120>

WHITTAKER, A. C.; COWIE, P. A.; ATTAL, M.; TUCKER, G. E.; ROBERTS, G. P. Bedrock channel adjustment to tectonic forcing: Implications for predicting river incision rates. **Geology**, v. 35, n. 2, p. 103–106, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/G23106A.1>.

WHITTAKER, A.; BOULTON, S. Tectonic and climatic controls on *knickpoint* retreat rates and landscape response times. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 117, n. F2, p. 1–18, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011JF002157> .

WOHL, E.E. Bedrock Channel Morphology in relation to Erosional Process. In: TINKLER, K. J.; WOHL, E. E. **Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels**. Washington, DC: American Geophysical Union, 1998. p.133-151. (Geophysical monograph 107).

VEROSLAVSKY, G.; DE SANTA ANA, H.; ROSSELLO, E. A.; ASSINE, M. L.; LÓPEZ-GAMUNDÍ, O.; MARMISOLLE, J.; PERINOTTO, A. de J. Late Paleozoic tectono-sedimentary evolution of eastern Chaco-Paraná Basin (Uruguay, Brazil, Argentina and Paraguay). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 106, p. 102991, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102991>.

ZAIONTZ, C. **Real Statistics Using Excel**. Disponível em: <http://www.real-statistics.com>. Acesso em: mar. 2025.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e sedimentação da bacia do Paraná. **Simpósio Sul-Brasileiro De Geologia**, 1987, Curitiba. Anais [...]. Curitiba, PR, 1987. p. 441-473. V. 1.

ZALÁN P.V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. **Geologia Do Continente Sul-americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 595-612, 2004.

ZAMBOT, N. **Indícios morfotectônicos e estruturais do relevo da bacia do rio Chapecó (SC)**. 2022. p.123. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2022.

ZAPROWSKI, B.J.; PAZZAGLIA, F.J.; EVENSON, E.B. Climatic influences on profile concavity and river incision. **J. Geophys. Res.** 110, F03004, DOI:10.1029/2004JF000138

APÊNDICE A – Perfis longitudinais dos 58 canais amostrados nesta pesquisa

