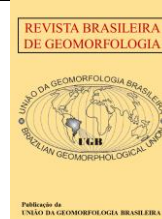




<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664



*Artigo de Pesquisa*

## Bacias hidrográficas em relevos escarpados: implicações para a análise da suscetibilidade a corridas de detritos

*Catchments in escarpments: implications for the analysis of debris flow susceptibility*

Marina Tamaki de Oliveira Sugiyama <sup>1</sup>, Maria Carolina Villaça Gomes <sup>2</sup>

1 Universidade do Estado de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, Brasil. E-mail: [marinatamaki@usp.br](mailto:marinatamaki@usp.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9627-2403>

2 Universidade do Estado de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, Brasil. E-mail: [mcarolvg@gmail.com](mailto:mcarolvg@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7892-0240>

Recebido: 22/06/2022; Aceito: 21/03/2023; Publicado: 11/09/2023

**Resumo:** Bacias hidrográficas em relevos escarpados são, de maneira geral, muito suscetíveis a processos hidrogeomorfológicos como as corridas de detritos. Além disso, em escarpamentos de margem passiva é comum a ocorrência de capturas fluviais no contato escarpa-planalto, promovendo mudanças hidrodinâmicas nos sistemas fluviais. Ao incorporar terrenos com características distintas, a morfometria da bacia, expressa a partir de um conjunto de parâmetros, poderá apresentar valores pouco representativos da dinâmica das bacias em relevos escarpados. O objetivo deste trabalho é comparar a suscetibilidade a corridas de detritos de bacias hidrográficas, analisadas com e sem a área de captura no planalto, através de um método semi-quantitativo baseado na utilização de parâmetros morfométricos. Foram delimitadas 59 bacias na escarpa da Serra Geral no Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul. Houve diferenças expressivas nas classes de maior suscetibilidade: das bacias analisadas com a área de contribuição no planalto, 35% foram classificadas como de Alta suscetibilidade e 10,1% como Muito Alta, enquanto as bacias analisadas sem área de contribuição no planalto foram 22% Alta e 44,1% de Muito Alta. Considerando os registros de eventos recentes de corridas de detritos, os resultados parecem mais ajustados à realidade quando consideradas as bacias sem a área de drenagem no planalto.

**Palavras-chave:** Processos hidrogeomorfológicos; Morfometria; Capturas fluviais; Serra Geral.

**Abstract:** Escarpments' watersheds are, in general, very susceptible to hydrogeomorphological processes such as debris flows. Furthermore, in escarpments with passive margins, the occurrence of river captures in the escarpment-plateau contact is common, promoting hydrodynamic changes in the river systems. When incorporating terrains with different characteristics, the morphometry of the basin, expressed from a set of parameters, may present values that are not representative of the watersheds' dynamics in steep reliefs. The objective of this work is to compare the susceptibility to debris flows of watersheds, analyzed with and without the capture area in the plateau, through a semi-quantitative method based on the use of morphometric parameters. Therefore, 59 basins were delimited on the Serra Geral escarpment in the Caminhos dos Cânions do Sul Geopark. There were significant differences in the classes of greater susceptibility: the basins analyzed with the contribution area on the plateau presented 30.5% classified as High susceptibility and 10.1% as Very High, while the basins analyzed without a contribution area on the plateau were 22% High and 44.1% of Very High. Considering the records of recent debris flow events, the results seem more adjusted to reality when considering the basins without the drainage area on the plateau.

**Keywords:** *Hydrogeomorphological processes; Morphometry; River captures; Serra Geral.*

---

## 1. Introdução

Considerando as diferentes metodologias empregadas na previsão de áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, dois importantes critérios para se determinar o método mais adequado são a escala espacial da análise e a qualidade dos dados de entrada disponíveis. Assim, para estudos em escala regional, dentre os métodos existentes, destacam-se aqueles com base em modelos digitais do relevo, uma vez que dispensam a obrigatoriedade da utilização de dados físicos ou de inventários de eventos pretéritos (ainda que possam ser complementares) (COROMINAS et al., 2014).

A análise quantitativa do relevo, em nível de bacia hidrográfica, busca extrair informações sobre a configuração do relevo e da rede de drenagem através de parâmetros morfométricos que podem ser aplicados a diferentes escalas (espaciais e temporais) (MOORE; GRAYSON; LADSON, 1991), ou seja, ao mesmo tempo em que podem ser utilizados para a previsão de áreas suscetíveis a movimentos de massa, também podem ser utilizados para estudos relacionados à análise estrutural, compartimentação e evolução do relevo e da rede de drenagem (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Em se tratando das corridas de detritos, uma tipologia de movimento de massa de baixa recorrência e que, conseqüentemente, não dispõe de tantos estudos produzidos quanto as demais tipologias (mais frequentes), a escolha do método em função da escala de análise e disponibilidade de dados sobre eventos pretéritos é evidenciada. Alguns autores utilizaram de modelos matemáticos para a previsão de áreas suscetíveis a corridas de detritos (GOMES, 2006; CONTERATO, 2014; FRANK et al., 2017; SALVATICI et al., 2017; WEI et al., 2018), contudo, estes trabalhos necessitam de dados hidrológicos e geomecânicos difíceis de serem obtidos para áreas extensas. Além disso, em ambientes tropicais úmidos as corridas de detritos geralmente são desencadeadas por escorregamentos, dificultando a utilização de modelos matemáticos de base física, uma vez que as corridas possuem condicionantes deflagradores relacionados à instabilidade da encosta e à dinâmica do canal.

Assim, ainda que os parâmetros morfométricos resultem em uma análise mais subjetiva, se comparado as de modelos matemáticos e estatísticos, constituem uma importante ferramenta para análises em escalas regionais ou para áreas que não dispõem de um extenso banco de dados sobre eventos pretéritos. Dessa forma, justifica-se o grande número de trabalhos ao redor do mundo que, nas últimas décadas, utilizaram os parâmetros morfométricos na determinação de áreas suscetíveis à ocorrência de corridas de detritos (JAKOB, 1996; VAN DINE, 1996; VIEIRA et al., 1997; KANJI; GRAMANI, 2001; WILFORD et al., 2004; TAKAHASHI, 2007; CHEN; YU, 2011; DIAS et al., 2016; GOMES et al., 2018; CABRAL et al., 2021).

Em território brasileiro as corridas de detritos são típicas de bacias hidrográficas na vertente oceânica de escarpamentos de margem passiva, uma vez que tendem a apresentar maiores índices pluviométricos devido ao efeito orográfico exercido pelas escarpas, favorecendo a ocorrência de processos torrenciais.

As estruturas existentes nestes escarpamentos, comumente associadas ao processo de rifteamento, desempenham um importante papel na evolução do relevo, pois a drenagem encaixada nos lineamentos favorece a incisão de vales profundos que, em contrapartida, propiciam maior energia para a drenagem vencer os divisores d'água, a partir da erosão remontante. Dessa forma, as estruturas facilitam a ocorrência das capturas fluviais, apontadas por alguns autores como um dos principais mecanismos de recuo das escarpas, visto que alteram o gradiente de energia potencial das bacias captadoras (BISHOP, 1995; CHEREM et al., 2014; SORDI et al., 2015a).

As capturas fluviais representam significativas mudanças morfológicas e morfométricas para as bacias hidrográficas captadoras (e capturadas), uma vez que incorporam terrenos com características muito distintas. Dentre os diversos efeitos que as capturas fluviais podem ocasionar, destacam-se a evolução diferenciada do relevo em sistemas fluviais adjacentes, as alterações nos níveis de base locais e regionais, alterações nos regimes de fluxo e reorganização da rede de drenagem (AB'SABER, 1957; BISHOP, 1995; MATHER, 2000). Sendo assim, o aumento da área da bacia captadora implicará no aumento da sua área de drenagem e da vazão do canal, o que, em situações extremas, poderá levar à ocorrência de eventos hidrogeomorfológicos de maior magnitude. Entretanto, ainda que a ocorrência destes processos seja influenciada pelos condicionantes hidrológicos, a ação da gravidade também possui grande protagonismo, sendo refletida em parâmetros morfométricos como a declividade média da bacia, declividade do canal principal, relação de relevo, entre outros.

Nas Escarpas da Serra Geral, sobretudo na sua área de ocorrência nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, as bacias de drenagem apresentam características típicas de escarpamentos de margem passiva, contudo, uma particularidade desta escarpa é o fato de que as áreas de captura no planalto são extremamente planas, o que interfere de forma expressiva nas características morfométricas da bacia.

Dessa forma, este trabalho objetiva comparar a suscetibilidade de corridas de detritos em bacias de relevos escarpados com e sem a área no planalto, a fim de avaliar sua influência na suscetibilidade obtida por metodologias que se baseiam em parâmetros morfométricos que expressam o gradiente de energia potencial das bacias. Para isso, foram selecionadas as bacias hidrográficas que conformam o território do Geoparque Caminho dos Cânions do Sul - RS/SC (GCCS), onde a incidência de processos hidrogeomorfológicos do tipo corridas é grande e são representativas de bacias de regiões escarpadas (escarpa-planície ou planalto-escarpa-planície).

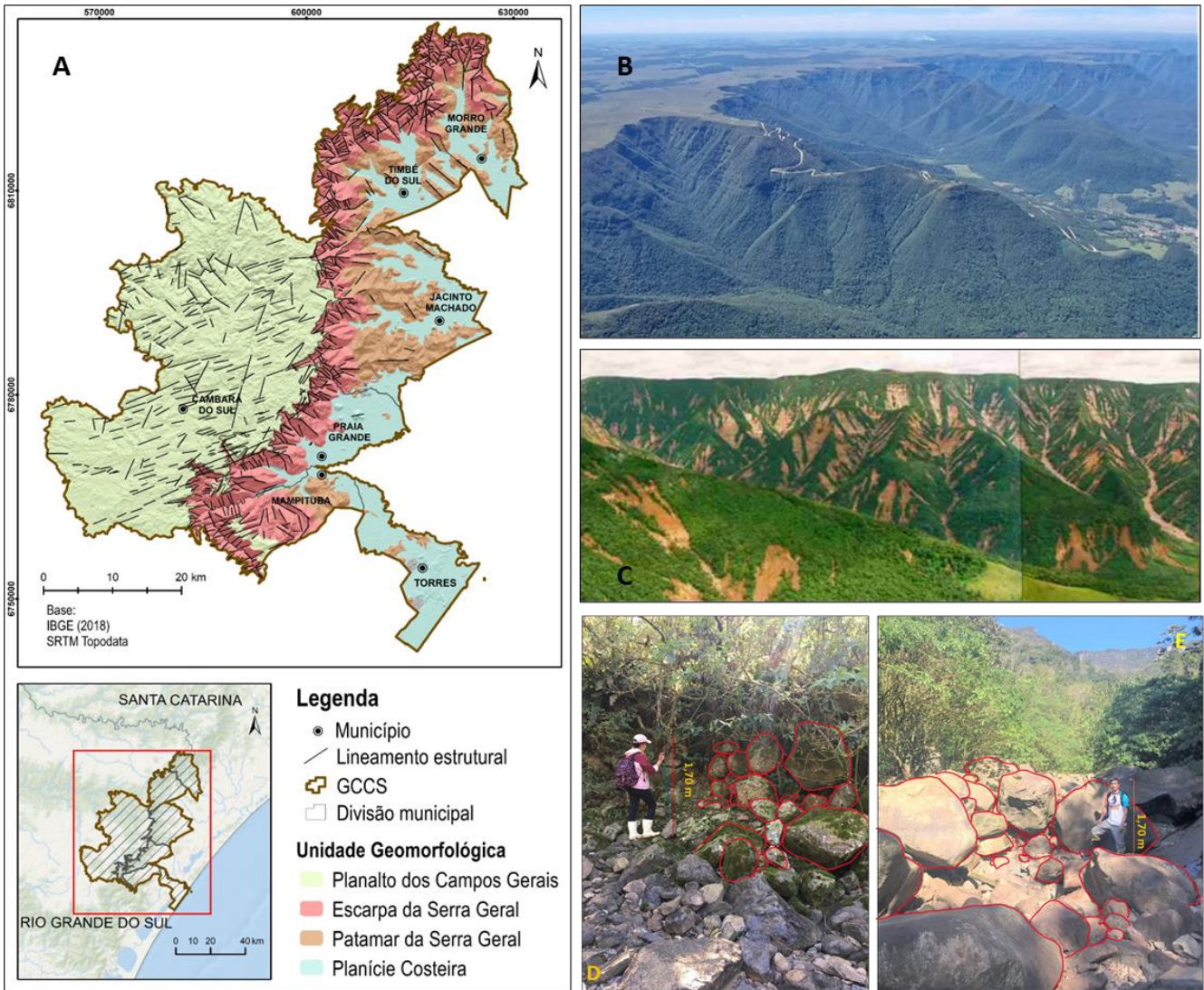
## 2. Área de Estudo

O Geoparque Caminho dos Cânions do Sul (GCCS) abrange sete municípios pertencentes aos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo eles: Morro Grande (SC), Timbé do Sul (SC), Jacinto Machado (SC), Praia Grande (SC), Torres (RS), Mampituba (RS) e Cambará do Sul (RS). O arcabouço geológico compreende duas das seis Supersequências que formam a Bacia do Paraná: a Supersequência Gondwana I, com os arenitos eólicos, pelitos lacustres, lobos deltaicos e depósitos fluviais da Formação Rio do Rasto; e a Supersequência Gondwana III, com os arenitos eólicos (finos a médios) de estratificação cruzada da Formação Botucatu e os derrames vulcânicos do Grupo Serra Geral (ROSSETTI et al., 2021).

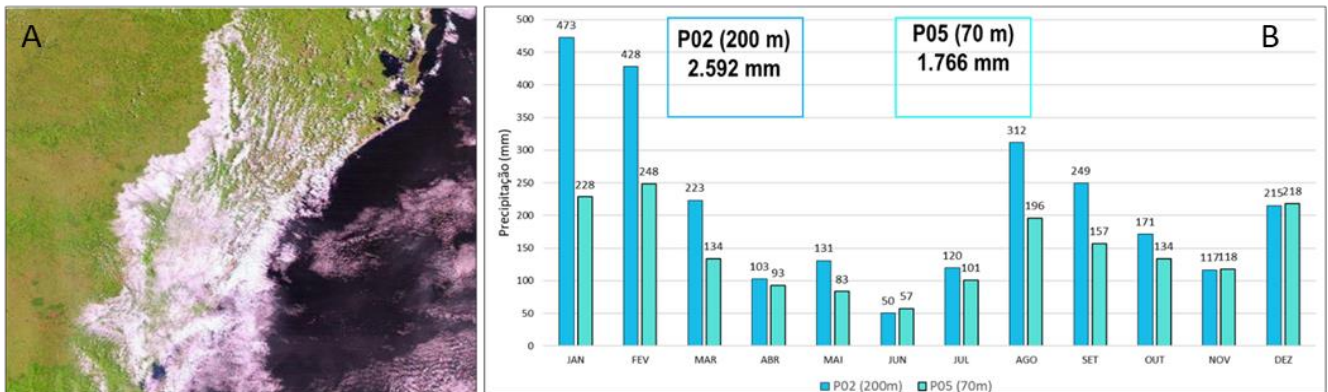
O soerguimento decorrente da separação do supercontinente Gondwana fez com que fosse exposto todo o pacote de rochas sedimentares da borda leste da Bacia do Paraná (SCHEIBE, 1986). Esta mudança no nível de base submeteu estas litologias a intensos fenômenos erosivos, com a formação de desníveis superiores a 1.000 m e de quatro compartimentos de relevo bem delimitados: o Planalto dos Campos Gerais, com formas planas e suavemente onduladas, de baixa declividade, em altitudes superiores aos 900 m; a Escarpa da Serra Geral, caracterizada pela intensa dissecação de suas vertentes, com formas abruptas e escarpadas e profundos vales em "V" encaixados nas estruturas existentes; os Patamares da Serra Geral, de menor declividade e caracterizado como um relevo intermediário que testemunha o recuo erosivo do Planalto e das Escarpas e; a Planície Costeira formada por sistemas deposicionais continentais e costeiros, de baixa declividade e situada em cotas inferiores aos 200 m (Figura 1).

A escarpa da Serra Geral representa uma expressiva barreira orográfica que, somada à atuação de sistemas frontais, proporciona a ocorrência de eventos pluviométricos intensos e concentrados e que, em muitos casos, podem resultar na ocorrência de movimentos de massa e enxurradas de grande poder destrutivo. Ainda que a precipitação média anual na região seja relativamente baixa, se comparada à de outros escarpamentos brasileiros, variando de 1507mm no município de Torres (Planície Costeira), a 8,47m de altitude, e 1823mm em Cambará do Sul (Planalto), a 1015m (INMET, 2020), a precipitação nas Escarpas da Serra Geral podem apresentar valores nitidamente superiores. A precipitação total registrada no ano de 1998 nas Escarpas da Serra Geral, a 70m de altitude, foi de 1766mm, enquanto a 220m de altitude o total anual foi de 2519mm, representando um aumento de 30% na precipitação em apenas 160m de variação altimétrica (Valdati, 2000) (Figura 2). Vale destacar que a Escarpa da Serra Geral atinge valores superior a 1000m de altitude, sendo esperado que, devido ao efeito orográfico, a precipitação nas cabeceiras seja superior ao registrado na Planície Costeira e no Planalto.

Dessa forma, no período de 1974 a 2017 foram registradas cerca de 16 ocorrências de movimentos de massa e 63 enxurradas no território do GCCS (PIMENTA; FREITAS; SUNG, 2018). Dentre os eventos de maior magnitude, destaca-se o evento de dezembro de 1995 nos municípios de Jacinto Machado e Timbé do Sul, quando os elevados índices pluviométricos, associados à passagem de um sistema frontal e um vórtice ciclônico, ocasionaram escorregamentos e corridas de detritos generalizados que mobilizaram aproximadamente  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de material, resultando na morte de 29 pessoas (PELLERIN et al., 1996; VALDATI, 2000) (Figura 1). Além disso, os depósitos encontrados em fundos de vale e na Planície Costeira demonstram que o fenômeno é recorrente na história geomorfológica da região (DUARTE, 1995; PONTELLI, 2005).



**Figura 1.** (A) Território do Geoparque Caminhos dos Sul (GCCS) e unidades geomorfológicas existentes; (B) Contraste entre o relevo pouco dissecado do Planalto dos Campos gerais e as encostas íngremes da Escarpa da Serra Geral. Foto: Fernando Damiani, 2021; (C) Cicatrizes de escorregamentos e processos hidrogeomorfológicos deflagrados nos municípios de Timbé do Sul e Jacinto Machado em 1995. Foto: Joel Pellerin, 1995; (D) Depósitos exumados por canal fluvial no evento de 1995, município de Timbé do Sul, destacando a inversão granulométrica dos clastos, típico das corridas de detritos. Foto: autores, 2022. E) Depósitos do evento de 1995 no leito do rio Pinheirinho. Foto: autores, 2022.



**Figura 2.** (A) Imagem Landsat 5 TM de 6 de fevereiro de 1999, demonstrando a barreira orográfica da Escarpa da Serra Geral. As nuvens provenientes do oceano apresentam o exato contorno das escarpas; (B) Precipitação mensal do ano de 1998 mensurada a partir de dois pluviômetros instalados a 70m de altitude (P05) e 200m de altitude (P02).

Os totais anuais indicam uma diferença de aproximadamente 30% na precipitação entre os dois pontos. Fonte: Valdati, 2000.

### 3. Materiais e Métodos

Este trabalho foi dividido em cinco etapas: (i) seleção das bacias hidrográficas; (ii) delimitação das bacias sem a área de drenagem no planalto; (iii) geração dos parâmetros morfométricos; (iv) avaliação da suscetibilidade a corridas de detritos e; (v) comparação do resultado entre as bacias com e sem a área de contribuição no planalto.

Todo o processamento dos dados foi realizado no software ArcGis 10.5, disponibilizado pela empresa ESRI. As curvas de nível e cartas de declividade foram geradas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), elaborado com base nos dados SRTM com resolução de 30 m. Para o refinamento da drenagem gerada a partir do MDE, foi utilizada a base hidrográfica do Estado de Santa Catarina da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS), elaborada em escala 1:10.000 e produzida a partir de dados com 1m de resolução. Ainda que a literatura aponte para a ocorrência de corridas de detritos em bacias de 0 ordem hierárquica (VAN DINE, 1996), ou seja, em bacias de canais efêmeros, devido ao caráter regional deste trabalho, optou-se por considerar bacias de ordem superior ou igual à 1.

A delimitação das bacias de drenagem considerou o ponto de espraiamento, no desconfinamento do vale, onde se inicia a área de deposição das corridas de detritos, conforme os critérios adotados pelo projeto GIDES-JICA (CPRM, 2018). Uma vez delimitado o ponto de espraiamento, as bacias foram delimitadas de modo automático a partir da ferramenta *pour point*, sendo posteriormente refinadas com base nas curvas de nível, geradas com o intervalo de 5m.

Após a seleção das bacias que atendem ao critério considerado, foi realizada, a partir das curvas de nível e cartas de declividade, a delimitação das bacias sem sua área de contribuição no planalto. Assim, foram estabelecidos dois grupos de bacias: bacias com a área de contribuição do planalto (BCAP) e bacias sem a área de contribuição no planalto (BSAP). Aqui cabe destacar que ambos os grupos de bacias se referem às mesmas bacias, entretanto, no primeiro, as bacias foram analisadas em sua totalidade, enquanto no segundo grupo, foram excluídas suas áreas de contribuição localizadas no planalto. Além disso, não são todas as bacias no território do GCCS que apresentam área de contribuição no planalto, de forma que mesmo entre o grupo das BSAP apenas algumas bacias tiveram sua área modificada.

Uma vez delimitado os dois grupos de bacias, foram gerados os parâmetros morfométricos para ambos, sendo eles: área da bacia (A); índice de circularidade ( $I_c$ ), porcentagem da área acima de 30° (A<sub>30</sub>); declividade média do canal principal (SL); amplitude altimétrica (H); comprimento do canal principal (L); comprimento total dos canais (L<sub>c</sub>); densidade de drenagem (D<sub>d</sub>) e; taxa de relevo (Tr). Os parâmetros foram definidos com base no uso recorrente na literatura e conforme a metodologia proposta por Gramani et al. (2005) (Tabela 1), desenvolvida com o intuito de identificar o grau de criticidade das bacias a partir de uma análise qualitativa dos parâmetros morfométricos considerados críticos para a geração de corridas.

**Tabela 1.** Parâmetros e pesos utilizados para a determinação da suscetibilidade conforme metodologia de Gramani (2005)

Parâmetro	Peso
Porcentual de declividade superior a 30° (A <sub>30</sub> )	2,5
Inverso da área da bacia ( $\frac{1}{A}$ )	0,5
Amplitude da bacia (H);	1,0
Declividade do canal principal (SL)	0,5
Inverso do índice de circularidade ( $\frac{1}{I_c}$ )	0,5

Para se obter o índice de criticidade das bacias, em um primeiro momento, os resultados dos parâmetros são transformados em índices adimensionais, a partir da divisão dos valores de cada parâmetro pelo menor valor obtido para o mesmo, dentro do grupo de bacias, de forma que o menor valor será sempre igual à um. Em seguida, os valores são ponderados a partir de pesos definidos segundo sua importância no processo de geração de corridas. Por fim, para cada bacia são somados os valores ponderados de cada parâmetro, sendo que o resultado da

somatória deve ser novamente normalizado, resultando no índice de criticidade das bacias. Vale destacar que, para a avaliação do grau de criticidade das bacias, os parâmetros A e Ic são analisados em seu inverso ( $\frac{1}{A}$  e  $\frac{1}{Ic}$ ), uma vez que a metodologia parte do pressuposto de que bacias mais estreitas e de menor área possuem maior suscetibilidade ao desenvolvimento de corridas.

Vale ressaltar que o índice de criticidade é obtido através da relativização dos valores dos parâmetros ponderados, de forma que o índice aponta para uma criticidade relativa entre as bacias, indicando o maior ou menor grau de criticidade de uma bacia em relação às demais.

Devido à extensão espacial da área de estudo, para fins de comparação, os resultados dos índices de criticidade obtidos foram agrupados em quatro classes de suscetibilidade de intervalo homogêneo, sendo elas: Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

Por fim, os resultados dos parâmetros morfométricos e a classificação da suscetibilidade, para ambos os grupos de bacias (BCAP e BSAP), foram comparados entre si, a fim de avaliar a influência da área de contribuição do planalto no grau de suscetibilidade ao desenvolvimento de corridas de detritos. Cabe destacar que, ainda que não tenha sido realizada uma investigação detalhada de feições indicativas de capturas fluviais como cotovelos de capturas, canais residuais, vales mortos, secos ou abandonados (BISHOP, 1995; MATHER, 2000) neste trabalho, infere-se que as áreas de contribuição no planalto foram incorporadas às bacias estudadas a partir de capturas fluviais. Esta interpretação se deveu às pronunciadas rupturas no perfil longitudinal do canal principal de diversas bacias, coincidentes com a transição planalto-escarpa, indicando o desajuste fluvial neste trecho dos perfis longitudinais fluviais.

#### 4. Resultados

Foram delimitadas 59 bacias de drenagem no território do GCCS, sendo que, dessas, apenas 26 bacias possuem área de contribuição no Planalto (Figura 3). O resultado dos parâmetros morfométricos indica bacias com características variadas, tanto em relação à morfologia do terreno quanto à rede de drenagem, ainda que, em sua maioria, possuam características típicas de relevo escarpado.

##### 4.1. Características morfométricas das bacias de drenagem na Escarpa da Serra Geral

O resultado dos parâmetros morfométricos para o grupo das BCAP (levando-se em conta toda a área de contribuição das bacias) e BSAP, são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3. Além da mudança observada na amplitude dos parâmetros das BCAP e BSAP, as médias gerais também sofreram alterações, com as mais expressivas para A (de 14 km<sup>2</sup> para 9 km<sup>2</sup>), A30 (de 26,8% a 32,6%), SL (de 14,3° para 16,2°) e Lc (de 27,4 km para 20,3 km). Os demais parâmetros apresentaram mudanças sutis em suas médias: de com Ic de 0,57 a 0,54, H de 889 a 866 m, L de 6 a 5 km, Dd de 1,7 a 1,8 e Tr de 233 para 243 m/km.

**Tabela 2.** Resultado dos parâmetros morfométricos para o grupo de bacias analisadas em sua integridade (BCAP).

Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr	Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr
B1	7,7	13	11,3	0,8	605	3,5	17	2,2	175	B31	1,2	14	10	0,4	918	2,1	2,1	1,7	445
B2	8,6	14,7	29,5	0,7	1065	4,9	24,3	2,8	216	B32	9,1	13,8	44,5	0,6	961	4,9	16	1,8	198
B3	28,2	13,3	43	0,6	1068	7,6	67,6	2,4	140	B33	17,3	12,9	31,9	0,5	982	8,4	35,3	2	117
B4	34,6	15,4	49,4	0,4	1138	11,8	117,3	3,4	96	B34	10,3	11,7	32,8	0,6	912	6,6	19,9	1,9	139
B5	32,7	14,4	53,2	0,6	1093	9,5	104,6	3,2	114	B35	3,2	11,9	3,1	0,7	648	2,2	2,2	0,7	291
B6	5,5	12,7	7,1	0,8	871	4,1	7	1,3	211	B36	4,3	13,5	10,5	0,8	830	3,2	4	0,9	258
B7	4,8	10,7	9	0,6	933	4,2	6,3	1,3	224	B37	4,2	16,9	35,6	0,5	986	3	6	1,4	327
B8	7,1	10,6	11,3	0,7	628	3,6	12	1,7	175	B38	1,2	17,6	36,7	0,4	836	2,6	2,6	2,2	318
B9	7,1	14	38,1	0,5	1065	5,4	10,7	1,5	199	B39	2,5	15,9	45,2	0,6	814	3,1	4,6	1,8	260
B10	5,2	14,2	40,6	0,6	1033	4,8	10,8	2,1	217	B40	79,7	9,1	5,9	0,4	895	19,4	117,3	1,5	46
B11	21,6	11,6	45,8	0,6	1042	10,2	60,2	2,8	102	B41	3,7	10,8	4,9	0,6	728	4,1	7,7	2,1	176
B12	6,9	12,9	48,1	0,4	1057	6,8	13,3	1,9	155	B42	2,6	15,9	4,6	0,8	745	1,9	3,5	1,4	399
B13	6,6	15,2	44,6	0,7	969	4,1	15,6	2,4	235	B43	8,7	13,6	24,5	0,7	867	4,7	11,4	1,3	186
B14	43,4	10,8	34,7	0,4	1070	15,4	102,4	2,4	69	B44	0,8	20,1	32,5	0,5	706	1,8	1,8	2,3	385

Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr	Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr
B15	24,5	12	41	0,7	1066	7,8	48,7	2	137	B45	1,2	21,6	40,8	0,6	830	2,3	2,3	1,9	363
B16	25,2	10,6	32,3	0,6	1032	7,4	50,8	2	140	B46	1,1	23,2	32,7	0,6	785	1,7	1,7	1,5	475
B17	19,6	11,8	40,4	0,6	953	9,2	54,7	2,8	103	B47	0,8	16,3	6,3	0,7	551	1	1	1,3	531
B18	26,2	10,9	31,1	0,5	995	9,9	73,2	2,8	101	B48	3,3	13	29,7	0,4	803	4,5	4,5	1,4	178
B19	8	11,6	3,2	0,6	778	5,6	13,7	1,7	139	B49	69,3	12	14,5	0,5	879	19,3	131,7	1,9	46
B20	19,4	12,9	32,8	0,7	998	7,7	48,6	2,5	130	B50	21	12	17,1	0,5	838	7,4	22,9	1,1	114
B21	2,2	11,6	3,6	0,6	664	2,3	2,3	1	293	B51	64	9,4	23,9	0,4	870	16,8	108,9	1,7	52
B22	8,4	14,6	26,6	0,7	929	4,9	12,4	1,5	191	B52	0,9	13,2	23,3	0,6	647	1,1	1,1	1,3	571
B23	5,7	13,9	25,3	0,7	935	3,8	7,7	1,4	245	B53	0,7	16,1	28,6	0,7	681	1	1	1,4	706
B24	20,3	21,3	35	0,4	958	8	42,2	2,1	119	B54	1,5	11,5	34,7	0,5	856	1,1	1,1	0,8	746
B25	45,3	16,2	20,4	0,3	953	16,3	77,8	1,7	58	B55	1,3	13,9	26,2	0,6	765	1	1	0,7	795
B26	9,8	13,5	2,6	0,6	848	6	8,6	0,9	141	B56	5,3	14,5	13,6	0,4	895	5,6	5,6	1,1	159
B27	3,9	23	8,9	0,7	877	3,8	3,8	1	234	B57	15	12,9	20,7	0,6	934	5,8	16,7	1,1	161
B28	10,2	20,4	49,3	0,7	975	4,7	16,4	1,6	208	B58	13,8	12,1	17,1	0,7	936	5,1	14,7	1,1	184
B29	5,3	28,4	54,7	0,6	938	3,8	6,9	1,3	244	B59	19,7	11,2	12,5	0,3	948	13,6	18,2	0,9	70
B30	5,6	17,4	44,7	0,6	920	3,7	11	2	251										

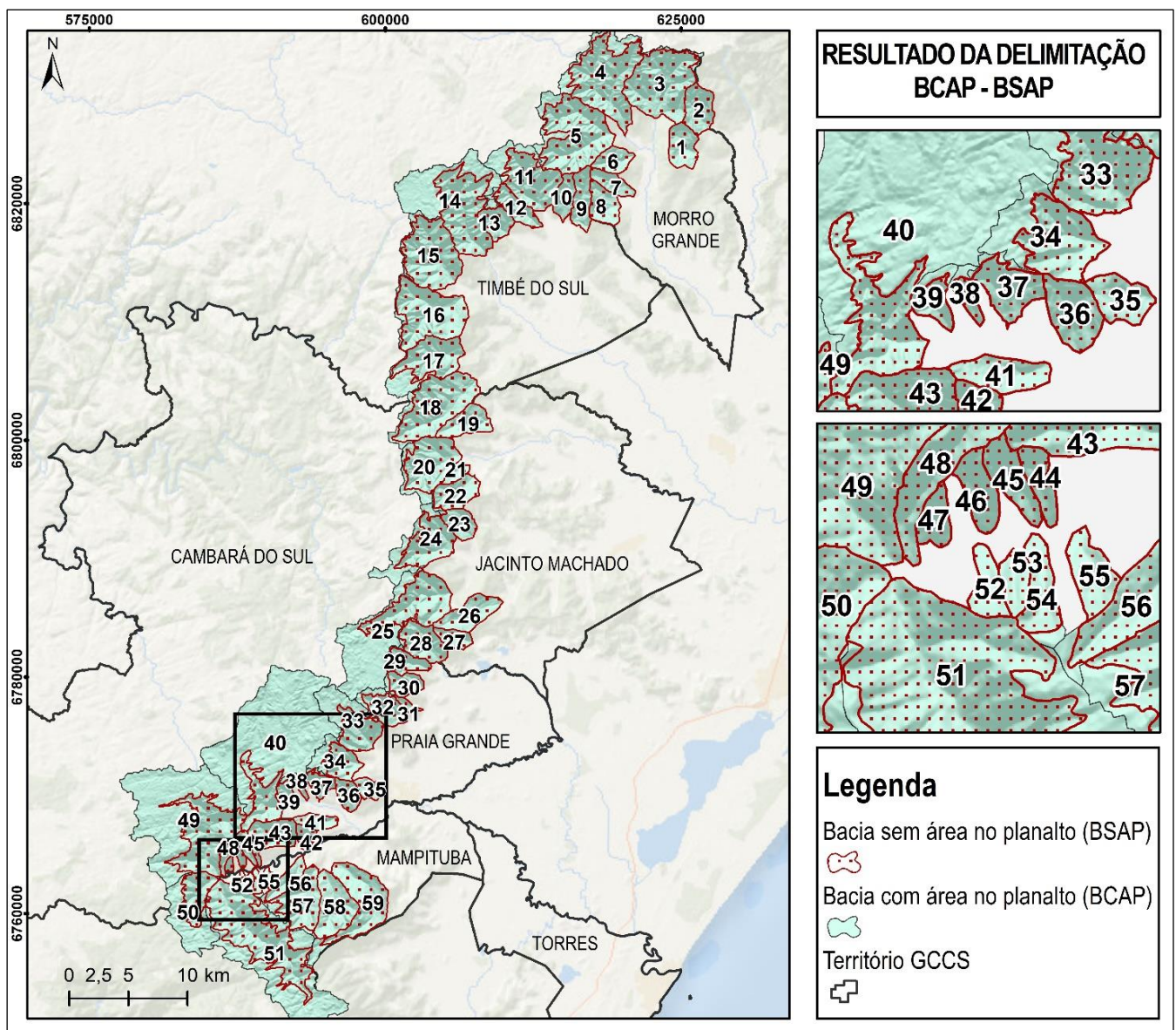
**Legenda:** B = bacia; A = área da bacia (km<sup>2</sup>); SL = declividade média do canal principal (graus); A30 = porcentagem da área acima de 30°; Ic = Índice de circularidade; H = amplitude altimétrica (m); L = comprimento do canal principal (km); Lc = comprimento total dos canais (km); Dd = densidade de drenagem; Tr = taxa de relevo. Em negrito as bacias que possuem área de contribuição no Planalto.

**Tabela 2.** Resultado dos parâmetros morfométricos para as bacias analisadas sem sua área de contribuição no Planalto (BSAP).

Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr	Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr
B1	7,7	13,0	11,3	0,8	605	3,5	17,0	2,2	175	B31	1,2	14,0	10,0	0,4	918	2,1	2,1	1,8	445
B2	8,6	14,7	29,5	0,7	1065	4,9	24,3	2,8	216	B32	7,0	16,9	55,7	0,5	890	4,7	13,9	2,0	191
B3	27,0	15,4	44,7	0,6	1035	7,4	67,1	2,5	139	B33	9,3	20,5	57,5	0,5	884	5,1	22,7	2,4	175
B4	27,7	21,3	61,2	0,3	1071	10,9	91,9	3,3	98	B34	6,6	17,8	49,0	0,5	832	4,0	12,8	1,9	210
B5	27,8	16,9	62,2	0,4	1066	8,4	89,9	3,2	127	B35	3,2	11,9	3,1	0,7	648	2,2	2,2	0,7	291
B6	5,5	12,7	7,1	0,8	871	4,1	7,0	1,3	211	B36	4,3	13,5	10,5	0,8	830	3,2	4,0	0,9	258
B7	4,8	10,7	9,0	0,6	933	4,2	6,3	1,3	224	B37	3,7	19,4	40,4	0,5	846	3,0	4,9	1,3	287
B8	7,1	10,6	11,3	0,7	628	3,6	12,0	1,7	175	B38	0,9	25,0	48,5	0,5	819	2,0	2,0	2,2	410
B9	7,1	14,0	38,1	0,5	1065	5,4	10,7	1,5	199	B39	1,9	19,8	60,1	0,6	803	2,8	3,8	2,0	292
B10	5,2	14,2	40,6	0,6	1033	4,8	10,8	2,1	217	B40	10,4	15,5	43,6	0,2	790	7,6	25,5	2,4	104
B11	16,1	19,2	60,9	0,5	1014	6,7	43,8	2,7	151	B41	3,7	10,8	4,9	0,6	728	4,1	7,7	2,1	176
B12	6,3	17,9	52,3	0,5	1037	6,1	12,1	1,9	170	B42	2,6	15,9	4,6	0,8	745	1,9	3,5	1,4	399
B13	5,9	19,5	49,3	0,7	952	3,2	14,1	2,4	295	B43	8,7	13,6	24,5	0,7	867	4,7	11,4	1,3	186
B14	23,9	17,7	61,7	0,3	1032	9,5	61,9	2,6	109	B44	0,8	20,1	32,5	0,5	706	1,8	1,8	2,3	385
B15	22,7	14,9	43,7	0,6	1049	7,2	46,9	2,1	146	B45	1,2	21,6	40,8	0,6	830	2,3	2,3	1,9	363
B16	23,7	12,1	34,0	0,6	1003	7,0	48,9	2,1	143	B46	1,1	23,2	32,7	0,6	785	1,7	1,7	1,5	475
B17	14,4	14,1	53,4	0,4	953	7,3	40,1	2,8	130	B47	0,7	16,3	6,3	0,6	551	1,0	1,0	1,4	531
B18	23,6	12,2	34,1	0,6	944	9,7	69,0	2,9	97	B48	3,3	13,0	29,7	0,4	803	4,5	4,5	1,4	178
B19	8,0	11,6	3,2	0,6	778	5,6	13,7	1,7	139	B49	23,7	18,6	42,1	0,2	805	9,8	57,1	2,4	82
B20	16,0	13,9	38,5	0,6	915	7,4	46,3	2,9	123	B50	8,9	17,3	39,8	0,5	724	5,4	15,9	1,8	134
B21	2,2	11,6	3,6	0,6	664	2,3	2,3	1,0	293	B51	34,2	12,5	43,8	0,2	781	15,1	71,6	2,1	52
B22	8,0	14,6	26,6	0,7	929	4,8	12,4	1,5	192	B52	0,9	13,2	23,3	0,6	647	1,1	1,1	1,3	571
B23	5,5	13,9	25,3	0,8	935	3,8	7,7	1,4	245	B53	0,7	16,1	28,6	0,7	681	1,0	1,0	1,3	706
B24	13,0	27,5	52,3	0,4	911	5,8	29,2	2,2	157	B54	1,3	11,5	34,7	0,5	856	1,1	1,1	0,9	746

Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr	Bacia	A	SL	A30	Ic	H	L	Lc	Dd	Tr
<b>B25</b>	<b>18,7</b>	<b>26,8</b>	<b>47,6</b>	<b>0,3</b>	<b>939</b>	<b>9,6</b>	<b>38,3</b>	<b>2,1</b>	<b>98</b>	B55	1,3	13,9	26,2	0,6	765	1,0	1,0	0,7	795
B26	9,8	13,5	2,6	0,6	848	6,0	8,6	0,9	141	B56	4,9	14,5	13,6	0,5	895	5,5	5,5	1,1	164
B27	3,9	23,0	8,9	0,7	877	3,8	3,8	1,0	234	B57	13,2	12,9	20,7	0,5	934	5,8	16,5	1,3	162
<b>B28</b>	<b>9,6</b>	<b>18,1</b>	<b>52,1</b>	<b>0,7</b>	<b>932</b>	<b>4,3</b>	<b>15,9</b>	<b>1,7</b>	<b>215</b>	B58	13,7	12,1	17,1	0,7	936	5,1	14,7	1,1	184
B29	4,7	28,4	54,7	0,6	938	3,8	6,9	1,5	244	<b>B59</b>	<b>17,7</b>	<b>12,3</b>	<b>14,0</b>	<b>0,4</b>	<b>859</b>	<b>11,9</b>	<b>16,4</b>	<b>0,9</b>	<b>72</b>
B30	4,7	17,4	44,7	0,7	920	3,6	10,3	2,2	254										

**Legenda:** B = bacia; A = área da bacia (km²); SL = declividade média do canal principal (graus); A30 = porcentagem da área acima de 30°; Ic = Índice de circularidade; H = amplitude altimétrica (m); L = comprimento do canal principal (km); Lc = comprimento total dos canais (km); Dd = densidade de drenagem; Tr = taxa de relevo. Em destaque (negrito) as bacias que possuem área de contribuição no Planalto.

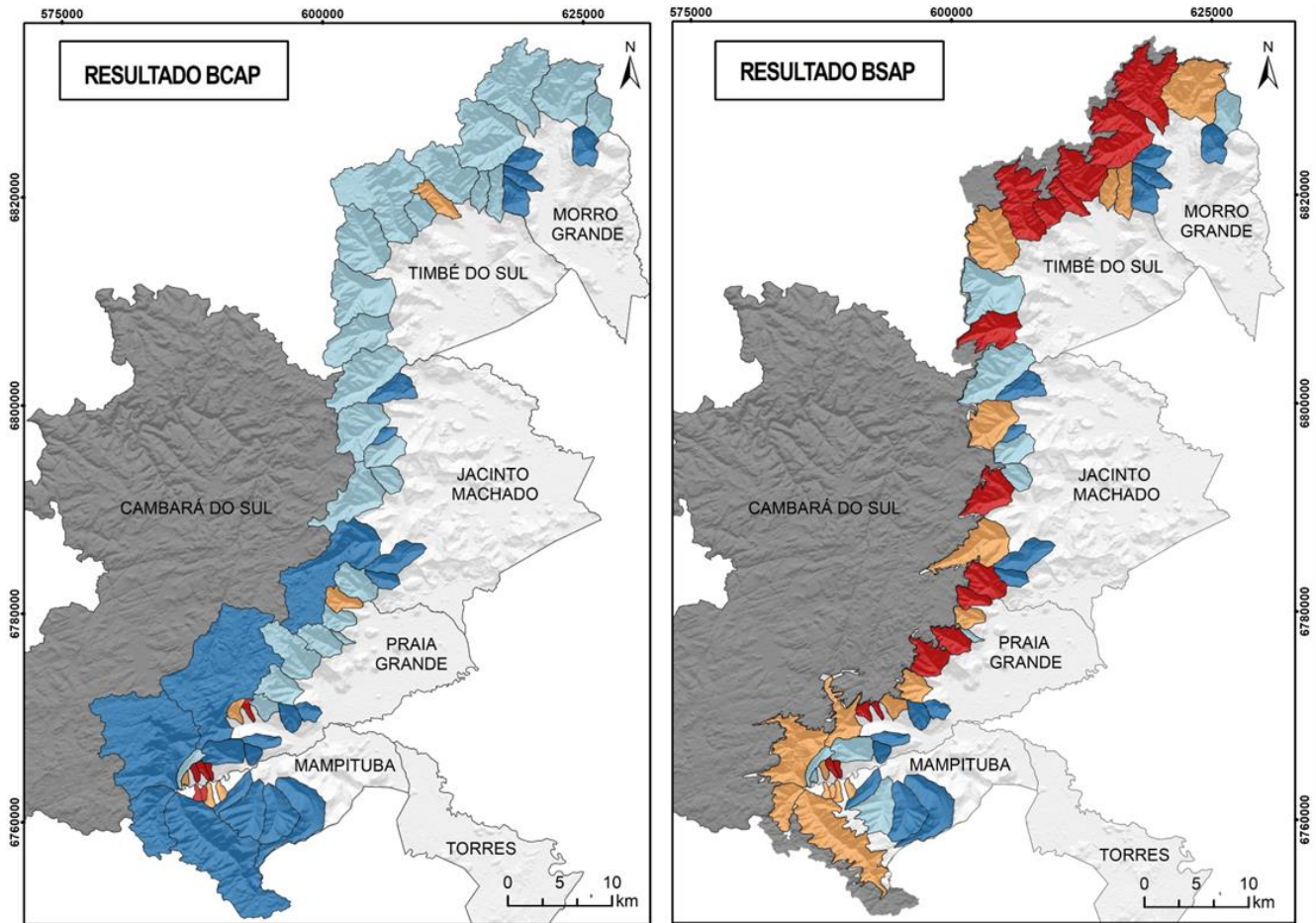


**Figura 3.** Resultado da delimitação dos grupos de bacias com (BCAP) e sem (BSAP) a área de contribuição no planalto, totalizando 59 bacias para grupo.

4.2. Suscetibilidade a corridas de detritos para as bacias com área no planalto (BCAP) e sem área no Planalto (BSAP)



A classificação das bacias conforme a suscetibilidade ao desenvolvimento de corridas de detritos, considerando as bacias com toda sua área de contribuição (BCAP), resultou em 22 (37,3%) bacias de Baixa Suscetibilidade, 25 (42,4%) de Média Suscetibilidade, 6 (10,1%) de Alta Suscetibilidade e 6 (10,1%) de Muito Alta Suscetibilidade (Figura 4). A bacia que obteve o menor valor do índice de criticidade foi a B40 (1,0) enquanto a maior criticidade foi obtida para a B53 (10,8). Já a classificação da suscetibilidade para as bacias analisadas sem a área de contribuição do planalto (BSAP), resultou em 15 (25,4%) bacias de Baixa Suscetibilidade, 10 (16,9%) de Média Suscetibilidade, 18 (30,5%) de Alta Suscetibilidade e 16 (27,1%) de Muito Alta Suscetibilidade. Para este grupo de bacias, a B26 apresentou o menor índice de criticidade (1,0) enquanto a B39 o maior (9,8).



**Legenda**

Planalto GCCS Suscetibilidade MUITO ALTA ALTA MEDIA BAIXA

		Grau de criticidade																												
Bacia	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
BCAP	2,0	3,9	4,9	5,6	5,9	1,8	2,3	2,1	5,0	5,5	5,3	6,1	5,7	4	4,7	3,9	4,7	3,7	1,3	4	3,1	3,7	3,8	4,3	2,6	1,1	2,6	5,9	7,0	5,9
BSAP	2,1	4,7	6,6	9,0	9,0	1,8	2,1	2,2	6,0	6,4	8,9	8,0	7,5	9,0	6,5	5,1	7,9	5,1	1,1	5,8	1,9	4,3	4,3	7,8	7,2	1,0	2,3	7,8	8,4	7,0
Bacia	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40	B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48	B49	B50	B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B59	
BCAP	5,8	5,5	3,9	4,2	2,2	2,6	5,3	8,6	7,1	1,0	2,2	2,8	3,4	10,3	9,0	8,5	7,6	5	1,9	2,3	2,9	8,6	10,8	7,4	7,1	2,8	2,8	2,5	1,9	
BSAP	3,8	8,3	8,5	7,4	1,5	2,3	6,6	9,6	9,8	6,8	1,6	1,9	4	7,8	8,0	7,1	4,4	5,2	6,4	6,1	6,6	6,1	7,5	6,9	5,7	2,8	3,4	2,9	2,5	

**Figura 4.** Resultado do índice de criticidade e da classificação da suscetibilidade a corridas de detritos para as bacias analisadas com e sem a área de contribuição no planalto (BCAP e BSAP). Os intervalos de classe de suscetibilidade para as BCAP são: BAIXA = [1,0; 3,45], MÉDIA = [3,45; 5,9], ALTA = [5,9; 8,35], MUITO ALTA = [8,35; 10,8]; Já para as BSAP os intervalos de classe são: BAIXA = [1,0; 3,2], MÉDIA = [3,2; 5,4], ALTA = [5,4; 7,6], MUITO ALTA = [7,6; 9,8].

#### 4. Discussão

A comparação entre as BCAP e BSAP demonstra expressivas alterações na classificação do grau de criticidade em virtude do resultado dos parâmetros morfométricos, muito distintos para as bacias dos dois grupos, destacando-se aqueles relativos à área (A), declividade média do canal principal (SL) e área acima de 30° (A30). As maiores variações de área foram obtidas para as bacias B14, B25, B40, B49 e B51 do grupo das BSAP, todas com mais de 25 km<sup>2</sup> de diferença em relação às BCAP. Dentre elas, destacam-se a B40, para a qual houve uma redução de 87%, passando de 79,7 para 10,4 km<sup>2</sup>, e a B49, com redução de 65,8%, sendo ambas as maiores bacias dentre as BCAP. Em relação à declividade do canal principal (SL), todas as 26 bacias que possuem área no planalto, com exceção da B28, apresentaram valores superiores para as BSAP em relação às BCAP, com expressivas diferenças para as bacias B11, B25, B33 e B38, sendo o maior aumento obtido para a B25 (de 16,2° para 26,8°). O parâmetro porcentagem de área acima de 30° (A30), por sua vez, sofreu um aumento em todas as bacias analisadas sem a área de contribuição no planalto, com destaque para a B14, B24, B25, B33, B40, B49 e B50, todas com acréscimo superior a 20% de A30, com a maior diferença obtida para B40.

O parâmetro índice de circularidade (Ic) das BSAP apresentou resultados variados, ora com aumento, ora com redução do seu valor, embora haja uma ligeira tendência de redução, indicando bacias com formatos mais alongados. As maiores diferenças de Ic entre as 26 bacias analisadas sem área no planalto foram obtidas para B49 (de 0,46 para 0,2), B40 (de 0,41 para 0,71), B5 (de 0,59 para 0,36) e B51 (de 0,38 para 0,17). Da mesma forma, para o parâmetro amplitude altimétrica (H), a tendência identificada para as BSAP foi de decréscimo, com apenas a bacia B17 permanecendo com o mesmo valor. Variações mais significativas foram registradas para as bacias B33, B37 e B51, com aproximadamente 100 m de diferença em relação aos seus valores no grupo das BCAP.

Em relação ao comprimento do canal principal (L) e comprimento total dos canais (Lc), todas as 26 bacias analisadas sem área no planalto, no grupo das BSAP, apresentaram valores inferiores, com exceção da B37. As bacias que apresentaram maiores diferenças para estes parâmetros foram B14, B25, B40, B49 e B51. Ainda em relação à Lc, destacam-se as bacias B4 e B5 que, apesar da pequena área no planalto e, portanto, sutil redução da área no grupo das BSAP, apresentou expressiva mudança para Lc. Tal fato se relaciona à elevada densidade de drenagem (Dd) destas bacias, pois mesmo com a exclusão de uma pequena área no planalto foram excluídas muitas drenagens.

Os valores de densidade de drenagem (Dd) das BSAP e BCAP mostram que houve uma tendência de aumento nas bacias sem área do planalto, principalmente para as bacias B20, B33, B40, B49 e B50 – com destaque para a B40 que aumentou de 1,5 para 2,4 km/km<sup>2</sup>, sendo essa também a bacia com maior redução de área (A). Em relação à taxa de relevo (Tr), ainda que as BSAP em geral tenham apresentado redução nos valores de amplitude altimétrica (H), houve tendência de aumento, uma vez que o comprimento total da bacia também sofreu redução (o parâmetro Tr é obtido em função de H e L), destacando-se a bacia B38, cujo valor foi de 318 no grupo das BCAP e de 410 no grupo das BSAP.

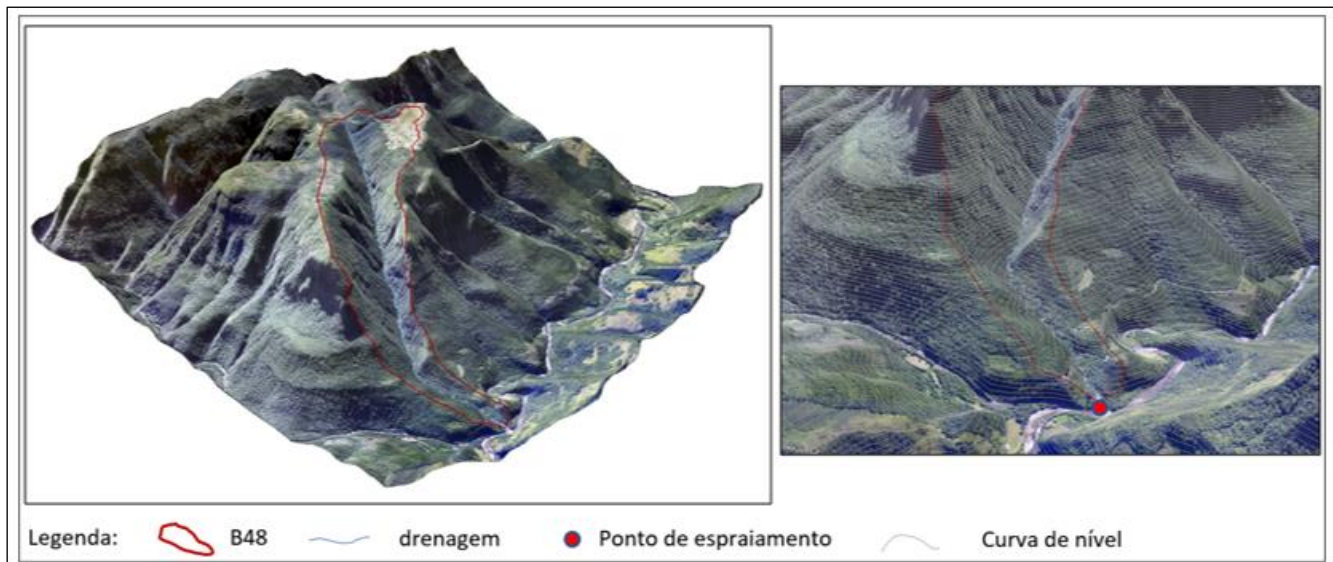
Em relação à diferença da classificação da suscetibilidade entre o grupo das BCAP e BSAP, das 59 bacias analisadas, somente 24 bacias permaneceram na mesma classe de suscetibilidade. A mudança da classificação da suscetibilidade mesmo para bacias que não possuem área de contribuição no planalto e, portanto, não tiveram mudanças nos parâmetros morfométricos, se deve à própria metodologia utilizada, uma vez que essa se baseia na relativização dos resultados dos parâmetros morfométricos das bacias, ou seja, apresenta a suscetibilidade de uma bacia em relação às demais do conjunto analisado.

Dentre as bacias que não apresentaram alteração no resultado dos parâmetros morfométricos, seis bacias (B9, B10, B29, B30, B43 e B57) enquadraram-se em uma classe mais crítica para o grupo das BSAP em relação à BCAP, enquanto outras quatro inserem-se em uma classe menos crítica (B46, B47, B52 e B53) - as demais mantiveram-se com a mesma classificação. Quanto às bacias que contêm área de contribuição no planalto (26 bacias) e que, deste modo, apresentam diferenças no resultado de seus parâmetros morfométricos, 23 bacias foram classificadas com maior suscetibilidade no grupo das BSAP, sendo que apenas 3 bacias (B16, B18 e B59) permaneceram na mesma classe de suscetibilidade - ainda que os valores de criticidade obtidos para estas bacias tenham sido superiores no grupo das BSAP.

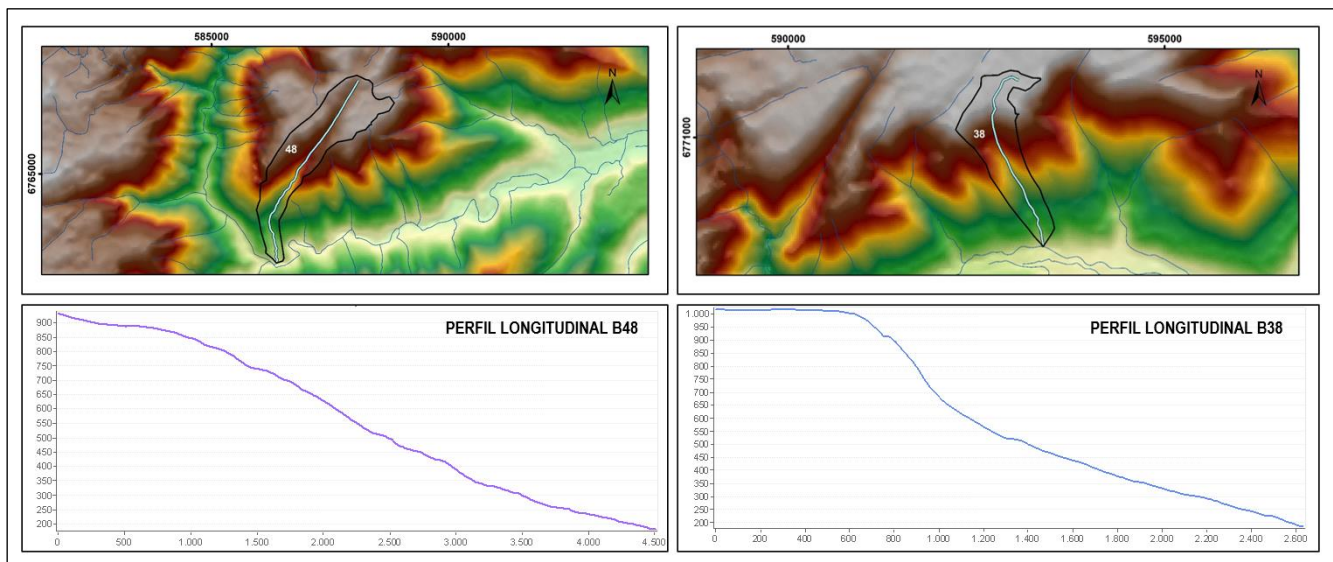
No que se refere à distribuição espacial da classificação das bacias no grupo das BCAP e BSAP, ainda que seja notável a diferença entre a classificação, é possível verificar que, para ambos os grupos, as bacias localizadas nos Patamares da Serra Geral, no geral, foram classificadas em classes inferiores (baixa a média), condizendo com o

esperado para estas bacias, uma vez que tendem a apresentar menor declividade e amplitude altimétrica se comparado com as bacias localizadas nas Escarpas.

A delimitação das bacias a partir da metodologia empregada, que adota a definição de bacias a montante da área de deposição, no desconfinamento do vale (Figura 5), resultou em um significativo número de bacias de primeira ordem (14 bacias). É possível notar que muitas destas bacias estão localizadas em áreas de forte controle estrutural, favorecendo a incisão fluvial sobre as estruturas e gerando canais de 1ª ordem, bastante retilíneos, com cabeceiras no terço superior da escarpa e que atingem a planície colúvio-aluvionar ainda nessa ordem (Figura 6). A marcante incisão fluvial dos cursos d'água encaixados nas estruturas condiciona a existência de canais muito próximos aos divisores de água, resultando em uma maior dissecação da paisagem.



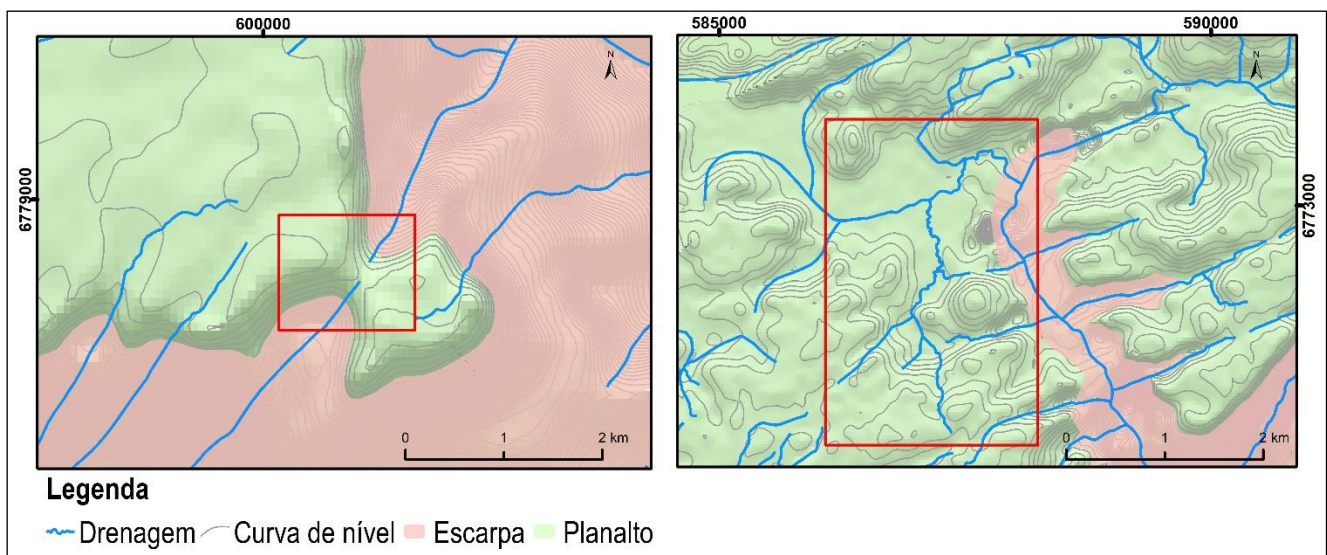
**Figura 5.** Modelo tridimensional com exagero vertical de 1,5 da bacia B48, de primeira ordem, demonstrando o forte controle estrutural existente no território do GCCS.



**Figura 6.** Perfil longitudinal da bacia B48 (à esquerda) e B38 (à direita). Ainda que ambas as bacias possuam um forte controle estrutural, constituindo bacias de 1ª ordem, é possível notar diferenças no perfil longitudinal do canal principal destas bacias. Enquanto o canal principal da B48 possui uma declividade acentuada desde sua nascente, muito próxima ao divisor, o perfil da bacia B38 indica uma dissecação menos proeminente no planalto, com ruptura positiva de declive entre o planalto e a escarpa, ainda que exista um nítido controle estrutural que permite que o canal atinja a planície colúvio-aluvial ainda nessa ordem.

As 59 bacias do território do GCCS delimitadas para a análise da suscetibilidade a corridas de detritos configuram bacias localizadas majoritariamente nas Escarpas da Serra Geral, com características típicas de bacias de escarpamentos de margem passiva. No que tange à sua morfologia e morfogênese, estas bacias encerram significativas diferenças em relação às bacias do GCCS que compartilham o mesmo divisor e drenam em direção ao interior. No geral, as bacias voltadas para a costa oceânica apresentam elevada amplitude altimétrica (alcançando altitudes superiores aos 1.000 m) e vertentes extremamente íngremes, apresentando, em alguns casos, paredões verticalizados (cânions) resultantes da forte incisão fluvial nas estruturas existentes. Além disso, estas bacias apresentam maior poder erosivo (demonstrado pela intensa dissecação de seus vales) devido ao nível de base controlador, resultando em uma maior energia para processos gravitacionais e hidrogeomorfológicos.

O grande número de anomalias de drenagem indicativas de capturas fluviais em algumas das bacias guarda relação com o forte controle estrutural que permite que as drenagens encaixantes vençam mais facilmente os divisores de água (Figura 7). Sordi et al. (2015) ao analisar os cursos d'água em um tríplice divisor no Planalto Santa Catarina, ao norte do estado catarinense, identificou a existência de relevos residuais como parte do processo cíclico de pulsos erosivos decorrentes das capturas fluviais e consequentes ajustes do nível de base, o que leva a pensar que o mesmo mecanismo cíclico pode ocorrer no território do GCCS, com a Escarpa recuando a partir de processos de captura fluvial e permitindo a conservação dos patamares até a retomada de um novo pulso erosivo.



**Figura 7.** Feições indicativas de capturas fluviais. (A) apresenta um baixo divisor e dissecação fluvial fortemente condicionada pelas estruturas; (B) curvas anômalas da drenagem.

Portanto, acredita-se que o mecanismo de captura fluvial é de suma importância para a morfogênese e, consequentemente, para a morfologia e morfometria das bacias do território do GCCS, seja para as bacias capturadas ou capturadoras. Ainda que a área capturada possa influenciar nos regimes de fluxo e no fornecimento de sedimentos (variáveis importantes para os processos hidrogeomorfológicos), a área de contribuição localizada no planalto provoca expressivas mudanças nas bacias de drenagem, uma vez que essas incorporam terrenos em situação geomorfológica muito distinta daquelas da área da bacia capturadora e que podem, de certa forma, “mascarar” a energia potencial destas bacias para gerar estes processos. Em relação aos demais escarpamentos no Brasil, esta situação é ainda mais expressiva, uma vez que se trata de um planalto marcado pela pouca dissecação, ou seja, com relevo bastante plano, principalmente na sua área de ocorrência no território do GCCS.

Este cenário é nitidamente refletido no resultado de parâmetros como declividade do canal principal (SL), porcentagem de área acima de 30° (A30), densidade de drenagem (Dd) e taxa de relevo (Tr), uma vez que as BSAP, analisadas sem a área de contribuição no planalto, apresentaram evidente aumento para estes parâmetros em relação às BCAP, refletindo melhor a configuração de relevo escarpado destas bacias. A bacia B40, por exemplo, quando analisada com a área de contribuição no planalto, apresentou SL de 9,1°, A30 de 5,9%, Dd de 1,5 e Tr de 46, enquanto no grupo das BSAP, esta mesma bacia apresentou SL de 15,5°, A30 de 43,6%, Dd de 2,4 e Tr de 104.

Dessa forma, apesar da delimitação de bacias sem a área do planalto poder resultar na exclusão de áreas de fornecimento de sedimentos e na mudança do formato da bacia, a configuração do Planalto dos Campos Gerais,

de baixa declividade, parece pouco interferir no suprimento de sedimento para a geração de corridas induzidas por escorregamentos. Assim, os parâmetros que apresentam uma relação direta com a suscetibilidade destas bacias ao desenvolvimento de corridas são aqueles que refletem a energia dos processos hidrogeomorfológicos, como declividade do canal principal (SL), área acima de 30° (A30) e amplitude altimétrica (H).

Diversos autores avaliaram o percentual de área da bacia com ângulos críticos para o desenvolvimento de corridas, uma vez que esta reflete a porcentagem de relevo escarpado (COSTA, 1984; VAN DINE, 1996; JAKOB, 2005; TAKAHASHI, 2007; CHEN; YU, 2011). Valores de declividade de encostas superiores a 30° são considerados críticos para a geração de corridas, ainda que os valores mínimos de inclinação variem de 20 a 25°. Já para os canais, a declividade para movimentação do material depositado no leito varia de 15 a 20° (KANJI; GRAMANI, 2001). Do mesmo modo, a amplitude altimétrica da bacia reflete a ação da gravidade sobre estes processos, de forma que, quanto maior a distância percorrida pela corrida, maior poderá ser a velocidade de escoamento do fluxo, interferindo, portanto, na maior ou menor magnitude das corridas.

Ainda que a região do GCCS careça de inventários sobre a ocorrência de processos hidrogeomorfológicos, autores como Pellerin (1997), Duarte (1995; 1997), Valdati (2000) e Pontelli (2005), ao estudarem eventos de grande magnitude na região, apontam para uma elevada suscetibilidade a estes processos em bacias classificadas como de menor suscetibilidade no grupo das BCAP. Valdati (2000) realizou estudos sobre a bacia do rio da Pedra (B25) e apontou para uma grande recorrência de processos hidrogeomorfológicos nesta bacia. A bacia B25 analisada com sua área no planalto, resultou em uma Média Suscetibilidade, entretanto, quando analisada sem a área de contribuição no planalto, esta bacia foi classificada como de Alta Suscetibilidade. O mesmo cenário é encontrado em relação às bacias do rio Fortuna (B17) Figueira (18) e rio Pinheirinho (B20), intensamente afetadas pelos eventos de 1995 (PELLERIN, 1996) e que possuem grau de criticidade inferior no grupo das BCAP. Além disso, ainda que a suscetibilidade apresentada seja baseada na relativização do resultado dos parâmetros morfométricos, indicando uma suscetibilidade relativa entre as bacias, entende-se que grande parte das bacias do GCCS possui uma alta suscetibilidade, uma vez que são frequentemente atingidas por eventos hidrogeomorfológicos e possuem características típicas de bacias de escarpamentos de margem passiva.

Dessa forma, em contextos fisiográficos como o do GCCS onde as áreas de captura no Planalto pouco contribuem com o fornecimento de sedimentos para deflagração de corridas de detritos iniciadas por escorregamentos (mais comuns no Brasil), a aplicação de métodos heurísticos que visam determinar a suscetibilidade de bacias a partir de parâmetros morfométricos apresentam-se mais adequadas quando excluem da análise as áreas capturadas. Entretanto, destaca-se que este cenário é válido somente para os métodos que não consideram, diretamente, informações sobre os condicionantes hidrológicos, como os modelos em bases físicas.

Sendo a análise da suscetibilidade predecessora das análises de perigo, vulnerabilidade e risco, justifica-se a utilização de métodos de rápida aplicação em escala regional, para uma análise ágil em um território vasto e perigoso como o do GCCS, onde são recorrentes os processos hidrogeomorfológicos (conforme revelam os depósitos pretéritos existentes na planície). A identificação das bacias com maior grau de suscetibilidade pode auxiliar na seleção de áreas para a aplicação de métodos mais precisos (modelagens estatísticas ou em base física), assim como os locais de maior criticidade para a aplicação estudos de risco e vulnerabilidade, fomentando, dessa forma, planos preventivos de riscos e desastres.

## 5. Conclusões

Das 26 bacias que contêm área de contribuição no planalto e, portanto, apresentam diferenças no resultado dos parâmetros morfométricos entre o grupo das BCAP e BSAP, 23 foram enquadradas em classes de maior suscetibilidade no grupo das BSAP.

O quadro estrutural associado às drenagens possui grande importância na evolução de escarpamentos de margens passivas, favorecendo a atuação de mecanismos como as capturas fluviais que, apesar de típicas da morfogênese regional, representam expressivas mudanças nas características morfológicas das bacias, refletindo diretamente no resultado dos parâmetros morfométricos. Além disso, as alterações no nível de base condicionam maiores taxas denudacionais e a maior magnitude e recorrência de movimentos de massa.

Ainda que os parâmetros morfométricos apresentem resultados simplificados, se comparado aos de modelos matemáticos e estatísticos, estes constituem uma ferramenta relevante e de fácil utilização para análises em escalas

regionais ou para áreas que não dispõem de um extenso banco de dados sobre eventos pretéritos, como no caso do território do GCCS.

Além disso, tendo em vista a importância do gradiente de energia potencial para a deflagração de processos hidrogeomorfológicos, como as corridas de detritos, é justificável, e mesmo aconselhável, que a análise da suscetibilidade a estes processos a partir da utilização de parâmetros morfométricos, em contextos fisiográficos como o do território do GCCS, considerem as bacias sem sua área de contribuição no planalto, principalmente para as metodologias que não utilizam, diretamente, informações de fluxo e vazão dos cursos d'água.

**Contribuições dos Autores:** M. T. O. SUGIYAMA: Concepção, metodologia, gráficos, software, redação e revisão. M. C. V. GOMES: Concepção, metodologia, redação e revisão.

**Financiamento:** Bolsa de pós-doutorado do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo: 152964/2022-3).

**Agradecimentos:** Os autores agradecem as contribuições dos avaliadores.

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

## Referências

1. AB'SABER, A. O problema das conexões antigas e da separação da drenagem do Paraíba e do Tietê. **Boletim Paulista de Geografia**, n.26, p. 38-49, 1957.
2. AUGUSTO FILHO, O. O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no município de Ubatuba, SP. **7º Congresso Brasileiro de Geologia Engenharia**, Poços de Caldas, v.2, p. 63 – 70, 1993.
3. BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, behind and diversion. **Progress in Physical Geography**, p. 449-473, 1995.
4. CABRAL, V. C. et al. Characterization of a landslide-triggered debris flow at a rainforest-covered mountain region in Brazil. **Natural Hazards**, v. 108, n. 3, p. 3021–3043, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04811-9>
5. CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2003.
6. COSTA, J. E. **Physical geomorphology of debris flows**. In: Costa, J. E., and Fleisher, J. P., eds., *Developments and applications of geomorphology*, New York: Springer-Verlag. p. 268 – 317, 1984.
7. COROMINAS, J. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 73, n. 2, p. 209–263, 2014.
8. CHEN, C. Y.; YU, F. C. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. **Geomorphology**, v. 129, n. 3–4, p. 387–397, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.002>
9. CHEREM, L. F. S. et al. O Papel Das Capturas Fluviais Na Morfodinâmica Das Bordas Interplanálticas Do Sudeste Do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 299–308, 2014.
10. CONTERATO, L. **Uso do programa RAMMS na modelagem de corridas de detritos e previsão de áreas atingidas: estudo do caso de Quitite-Papagaio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 188 p.
11. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa: Projeto de Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais - Projeto GIDES**. 1. ed. Rio de Janeiro: SGB/CPRM, 2018. 213 p. ISBN 978-85-7499-448-2.
12. CROZIER, M.J. **Landslides: causes, consequences and environment**. London, UK: Croom Helm, 252p, 1986. ISBN: 978-0709907909
13. DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. **Confins**, n. 29, 2016.
14. DUARTE, Gerusa Maria. **Depósitos Cenozóicos Costeiros e a Morfologia do Extremo Sul de Santa Catarina**. Tese de Doutorado. Universidade da São Paulo, 1995.
15. FRANK, F.; MCADELL, B.W.; OGGIER, N.; BAER, P.; CHRISTEN, M.; VIELI, A. Debris flow modeling at Meretschibach and Bondasca catchment, Switzerland: sensitivity testing of field data-based entrainment model. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 17, p. 801–15. 2017. <http://10.1002/esp.4524>
16. GOMES, M. C. V.; DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C. Magnitude de corridas de detritos na Serra do Mar (SP): avaliação de diferentes métodos de classificação. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 96, n. December 2017, p. 51–65, 2018.
17. GOMES, R.A.T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa**. Tese (Doutorado) - Geografia, UERJ, Rio de Janeiro, 2006. 180p.

18. GRAMANI, M. F. et al. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. **11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Anais. Florianópolis, 2005.
19. JAKOB, M. **Morphometric and Geotechnical Controls of Debris Flow Frequency and Magnitude in Southwestern British Columbia**. Thesis (Ph.D.)-University of British Columbia, 1996
20. KANJI, M. A.; GRAMANI, M. F. Metodologia para determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos em pequenas bacias hidráulicas. **III Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE)**, Rio de Janeiro, 2001.
21. KELLER, E. A. **Introduction to environmental geology**. 4. ed., 1992.
22. MATHER, A. E. Adjustment of a drainage network to capture induced base-level change: An example from the Sorbas Basin, SE Spain. **Geomorphology**, v. 34, n. 3-4, p. 271-289, 2000.
23. MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hidrological, geomorphological and biological applications. *Hidrological Process*, vol. 5, p. 3-30, 1991.
24. PIMENTA, L. H. F et al. **Plano Integrado e Participativo de Gestão de Risco de Desastres no Território do Projeto do Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul**, 2018.
25. PELLERIN, J. et al. Timbé do Sul – Jacinto Machado: Avaliação preliminar da extensão da catástrofe de 23-24/12/95. **Geosul**, Florianópolis, v.12, n. 13, 1997.
26. PONTELLI, M. **Pedomorfoestratigrafia de depósitos de leques aluviais: bacia do Rio Itoupava, sul do Estado de Santa Catarina**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
27. ROSSETTI, L. M. M.; SIMÕES, M. S.; LIMA, E. F.; WAICHEL, B. L.; SOMMER, C. A. Estratigrafia do Grupo Serra Geral na Calha de Torres, Sul do Brasil. In: **Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, p. 321-336. 2021.
28. SALVATICI, T.; MORELLI, S.; PAZZI, V.; FRODELLA, W.; FANTI, R. Debris flow hazard assessment by means of numerical simulations: implications for the Rotolon Creek Valley (Northern Italy). **Journal of Mountain Science**, v. 14, n. 4, p. 636-648, 2017.
29. SCHEIBE, L. F. A geologia de Santa Catarina: sinopse provisória. **Geosul**, v. 1, n. 1, p. 7 -38,1986.
30. SLAYMAKER, O. Debris torrent hazard in Eastern Fraser and Coquihalla Valleys. **Western Geography**, vol. 1, n. 1, p. 34 - 48, 1990.
31. SORDI, M. V.; SALGADO, A. A. R.; PAISANI, J. C. Evolução Do Relevo Em Áreas De Tríplice Divisor De Águas Regional - O Caso Do Planalto De Santa Catarina: Análise Da Rede Hidrográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, 2015.
32. STEVAUX, J.; LATRUBESSE, E. **Geomorfologia Fluvial**. 1. ed. Oficina Textos, 2017. ISBN 978-85-7975-275-9.
33. TAKAHASHI, T. **Debris Flow: Mechanics, Prediction and countermeasures**. London, UK: Taylor & Francis Group, 2007. 465 p. ISBN ISBN: 978-0-203-94628-2.
34. TUCCI, C. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. vol. 4, 943p.
35. VALDATI, J. **Riscos e desastres naturais: área de risco de inundação na sub-bacia do rio da pedra - Jacinto Machado/SC**. 2000. Dissertação de Mestrado (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
36. VAN DINE. **Debris Flow Control Structures for Forest Engineering Debris Flow Control Structures**. British Columbia, p. 75, 1996.
37. VIEIRA, B. C.; VIEIRA, A.C.F.; FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em Fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e Papagaio (RJ): uma abordagem geomorfológica. **2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (2ª COBRAE)**, Rio de Janeiro, p.165-174, 1997.
38. WEI, Z. LEI et al. Predicting the occurrence of channelized debris flow by an integrated cascading model: A case study of a small debris flow-prone catchment in Zhejiang Province, China. **Geomorphology**, v. 308, p. 78-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.027>
39. WILFORD, D. J. et al. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. **Landslides**, v. 1, n. 1, p. 61-66, 2004.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.