

# SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE ENXURRADAS NO GEOPARQUE CAMINHO DOS CÂNIONS DO SUL (RS/SC)

Marina Tamaki de Oliveira SUGIYAMA  
Graduanda do Curso de Geografia Bacharelado da UDESC  
maritamaki12@gmail.com

Pedro MALLMANN  
Bacharel do Curso de Geologia da UFSC  
pedro\_mallmann@hotmail.com

Maria Carolina Villaça GOMES  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> do Curso de Geografia da UDESC  
mcarolvg@gmail.com

## RESUMO:

Diversos estudos têm apontado a forte relação entre os parâmetros morfométricos e a deflagração de processos hidrogeomorfológicos. No Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul - GCCS (RS/SC) os geossítios abrangidos são periodicamente palco de eventos hidrogeomorfológicos de grande magnitude e, tendo em vista sua súbita ocorrência e difícil previsibilidade, as enxurradas são um dos processos que resultam em maior perigo aos visitantes. Dessa forma, este trabalho busca analisar, através da morfometria, a suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas no território do GCCS, com vistas a contribuir para a visitação segura dos geossítios e futuros planos preventivos de redução de riscos. A avaliação da suscetibilidade foi realizada a partir da geração de 13 parâmetros morfométricos para 25 bacias de drenagens, com o intuito de hierarquizá-las através de sua suscetibilidade. Além disso, o resultado da suscetibilidade das bacias foi confrontado com o registro de ocorrências de enxurradas e com a localização dos geossítios, demonstrando uma elevada suscetibilidade para grande parte das bacias do GCCS que, em sua maioria, possuem geossítios localizados em sua área de drenagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processos hidrogeomorfológicos; Morfometria; Geossítios.

## ABSTRACT:

Several studies have pointed out the strong correlation between morphometric parameters and the occurrence of hydrogeomorphological processes. In the Geopark Caminhos dos Cânions do Sul - GCCS (RS/SC) the geosites covered are periodically affected by hydrogeomorphological events of great magnitude and, in view of their sudden occurrence and difficult predictability, the flash floods are one of the processes that result in greater hazard to visitors. Thus, this work seeks to analyze, through morphometry, the susceptibility to the development of floods in the GCCS territory, in order to contribute to the safe visitation of geosites and future preventive plans for risk reduction. The susceptibility assessment was carried out from the generation of 13 morphometric parameters for 25 drainage basins, in order to rank them through their susceptibility. In addition, the result of the susceptibility of the basins was compared with the record of occurrences of flash floods and with the location of the geosites, demonstrating a high susceptibility for most of the GCCS basins, which, for the most part, have geosites located in their drainage area.

**KEY-WORDS:** Hydrogeomorphological processes; Morphometric; Geosites.

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações são processos de ocorrência natural que se sucedem no ambiente fluvial, sendo frequentemente desencadeados por eventos de precipitação abundante, de longa ou curta duração. Estes processos podem ser classificados, de acordo com a magnitude e frequência, em dois tipos: as *downstream floods* (inundações a jusante/inundações graduais) e as *flash floods* (enxurradas/inundações bruscas) (KELLER, 1992). As inundações graduais atingem vastas áreas e são condicionadas por chuvas de longa duração, que aumentam o escoamento superficial de vários tributários da bacia e ocasionam grandes inundações no curso principal, enquanto as enxurradas se caracterizam pela súbita e violenta elevação do nível dos corpos hídricos, devido à ocorrência de chuvas intensas e concentradas.

Os fatores condicionantes de inundações podem ser classificados como naturais e antrópicos (SOUZA, 1998). Os condicionantes naturais fazem referência aos fatores climático-meteorológicos, associados à magnitude e frequência das chuvas, fatores flúvio-hidrológicos, oceanográficos e geológico-geomorfológicos, relacionados à litologia, estrutura geológica, morfometria da bacia, cobertura pedológica e o uso e cobertura do solo. Quanto aos fatores antrópicos, estes resultam das intervenções humanas diretas e indiretas nas bacias de drenagem, englobando as modificações na rede drenagem, a partir da canalização e retificação dos canais, bem como a deposição de resíduos e matéria, modificando, desta forma, o regime hidrossedimentar das bacias (STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

A análise da bacia hidrográfica permite elucidar numerosas questões que concernem à geomorfologia, uma vez que os cursos da água constituem os processos morfogenéticos mais ativos na esculturação da paisagem (CHRISTOFOLLETTI, 1980). Assim, a análise das características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo, além de expressar a forte relação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre, possibilita a obtenção de informações referentes às propriedades do terreno, como a infiltração, fluxo dos canais e escoamento superficial (PISSARA, 2004). Neste contexto, diversos estudos têm apontado a forte relação entre as características morfométricas da bacia hidrográfica e seu comportamento hidrológico e, conseqüentemente, sua suscetibilidade aos eventos de inundações.

Embora se trate de um processo de dinâmica natural de bacias hidrográficas, o escopo dos estudos sobre as áreas suscetíveis a inundações (bruscas ou graduais) é o efeito que esses eventos acarretam: expressiva deterioração da qualidade de vida, provocando danos materiais para a sociedade civil e poder público e prejuízos irreversíveis de perdas humanas. Em áreas protegidas, as quais abrangem elementos dotados de interesses científicos, educativos, culturais, e turístico, seus efeitos, embora importantes para a dinâmica natural da paisagem, podem levar à descaracterização momentânea deste patrimônio natural, bem como colocar em perigo os frequentadores destes espaços.

O patrimônio natural engloba elementos do meio biótico – fauna e flora –, geralmente mais valorizados nas políticas de conservação ambiental, e do meio abiótico, que engloba elementos de natureza geológica, geomorfológica, pedológica e hidrológica, ainda pouco considerados nestas políticas. Neste sentido, a partir da década de 1990, surgem as primeiras discussões a respeito da valorização do patrimônio abiótico, inclusive enquanto base para a diversidade biológica. Para tanto, um dos pontos principais é a definição de sítios de interesse (geossítios) para a preservação da geodiversidade, entendida aqui como a variedade natural de aspectos geológicos (rochas, minerais e fósseis), geomorfológicos (relevo e processos) e do solo (GRAY, 2004) - os quais podem ser protegidos através de políticas de conservação e explorados pelos seus valores (culturais, científicos ou turísticos).

Atualmente, estes sítios vêm sendo amparados pelos Geoparques e, dentre as iniciativas que associam o turismo à conservação do patrimônio geológico, os Geoparques da UNESCO têm apresentado bons resultados ao redor do mundo, devido à visibilidade e o incentivo ao geoturismo, adquirido através do reconhecimento dessa organização. Atualmente, existem 169 Geoparques reconhecidos pela UNESCO, distribuídos por 44 países ao redor do mundo (UNESCO, 2021). No Brasil, apesar da grande diversidade de seu patrimônio geológico e potencial turístico, apenas o Geoparque do Araripe, localizado no Ceará, possui o selo da UNESCO. Existem várias propostas para criação de Geoparques no Brasil que buscam o reconhecimento da UNESCO, dentre elas, o Geoparque Caminho dos Cânions do Sul (GCCS), localizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No GCCS, os geossítios abrangidos são periodicamente palco de eventos hidrogeomorfológicos de grande magnitude e, tendo em vista sua súbita ocorrência e difícil previsibilidade, as enxurradas são um dos processos que resultam em maior perigo aos visitantes. Dessa forma, este trabalho busca analisar, através da morfometria, a suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas no território do GCCS, com vistas a contribuir para a visitação segura dos geossítios e futuros planos de preventivos de redução de riscos.

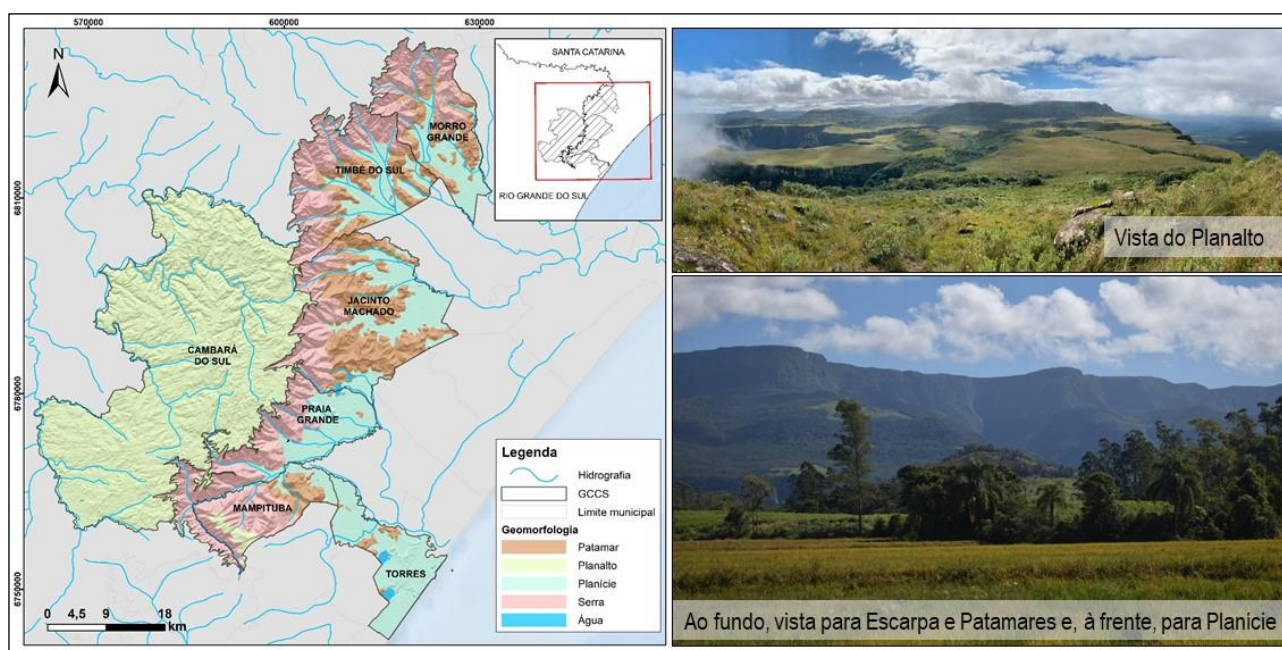
## 2. ÁREA DE ESTUDO

O GCCS engloba sete municípios pertencentes aos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo eles: Cambará do Sul (RS), Jacinto Machado (SC), Mampituba (RS), Morro Grande (SC), Praia Grande (SC), Timbé do Sul (SC) e Torres (RS). A conformação geológica do território do GCCS é representada pelo arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná, constituída por seis Supersequências (MILANI *et al.*, 2006), sendo que no território do GCCS encontram-se os registros das Supersequências Gondwana I, com os arenitos eólicos e pelitos lacustres da Formação Rio do

Rasto, e Gondwana III, com os sedimentos eólicos da Formação Botucatu e os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral.

Durante o processo de separação do Gondwana, a borda leste da Plataforma Sul-Americana foi soerguida, expondo o pacote de rochas sedimentares da Bacia do Paraná a intensos fenômenos erosivos que deram forma aos Patamares da Serra Geral e à Planície Costeira. Assim, no território do GCCS são encontrados quatro compartimentos geomorfológicos bem delimitados: o Planalto dos Campos Gerais, correspondente ao Planalto Sul-brasileiro; a Serra Geral, que corresponde às escarpas do Planalto; os Patamares da Serra Geral, que constituem um relevo intermediário que testemunha a regressão da Serra e; a Planície Costeira, formada por sistemas deposicionais costeiros e continentais.

Figura 1 – Localização e compartimentação do relevo na área de estudo.



Fonte: Autores, 2021.

No território do GCCS a colisão de sistemas frontais somados à expressiva barreira orográfica representada pela Serra Geral, resulta em fenômenos extremos de precipitação que, por sua vez, condicionam a grande recorrência das enxurradas, de forma que, no período de 1974 a 2017, foram registradas cerca de 63 ocorrências de enxurradas (PIMENTA *et al.*, 2018).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados para este trabalho se dividem em quatro etapas principais: (i) delimitação das bacias hidrográficas; (ii) geração dos parâmetros morfométricos; (iii) avaliação da suscetibilidade das bacias a enxurradas e; (iv) análise conjunta da suscetibilidade, do registro de ocorrência de enxurradas e a localização dos geossítios. Para o processamento e análise dos dados, utilizou-se o software ArcGis 10.5, disponibilizado pela empresa ESRI.

O processamento dos dados foi realizado 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. O recorte espacial teve como critério as bacias hidrográficas do GCCS que atingem o compartimento da planície costeira, excluindo, portanto, as bacias hidrográficas localizadas exclusivamente no planalto.

Após esta etapa foram gerados 12 parâmetros morfométricos com base no uso recorrente na literatura e que apresentaram resultados confiáveis, considerando tanto os parâmetros relativos à rede hidrográfica como do relevo da bacia, sendo eles: *área da bacia de drenagem (A)*; *perímetro da bacia (P)*; *área acima de 30° (A<sub>30</sub>)*; *ordem hierárquica dos canais (O)* conforme Strahler (1952); *densidade de drenagem (Dd)*; *comprimento do canal principal (L)*; *comprimento total dos canais (Lc)*; *declividade média da bacia (S)*; *declividade média do canal principal (SL)*; *amplitude altimétrica (H)* e; *taxa de relevo (Tr)* e *índice de circularidade (Ic)*. Para a análise da suscetibilidade a enxurradas foram selecionados todos os parâmetros, com exceção de Lc, utilizado apenas para a caracterização morfométrica das bacias e para a geração dos demais parâmetros. Conforme as relações entre os parâmetros morfométricos e os processos hidrogeomorfológicos, a suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas (SME) apresenta função ora direta, ora inversamente proporcional aos parâmetros morfométricos (Equação 1):

$$SM_E = f \left( O \cdot \frac{1}{A} \cdot A_{30} \cdot \frac{1}{P} \cdot Dd \cdot Tr \cdot L \cdot S \cdot S_L \cdot H \cdot \frac{1}{Ic} \right) (1)$$

Para a classificação da suscetibilidade das bacias ao desenvolvimento de enxurradas foi utilizado o método semi-qualitativo proposto por Souza (2005). A metodologia busca utilizar o maior número de parâmetros possível, aplicados a um conjunto de bacias, com o intuito de hierarquizá-las através de sua suscetibilidade, sendo construída para relativizar os resultados de uma bacia em relação às outras.

Conforme a metodologia, a primeira etapa consiste na tabulação dos resultados dos parâmetros morfométricos, de forma que devem ser identificados os valores máximos, mínimos, a média aritmética e o desvio padrão, sendo que os valores anômalos devem ser excluídos e posteriormente adicionados às classes máximas ou mínimas. Os valores anômalos são encontrados a partir do intervalo definido pela média e o desvio padrão. Após a identificação dos intervalos de cada parâmetro, as séries foram classificadas de acordo com o número de classes definidas e com os conceitos anteriormente discutidos - para este trabalho, foram definidas apenas quatro classes:

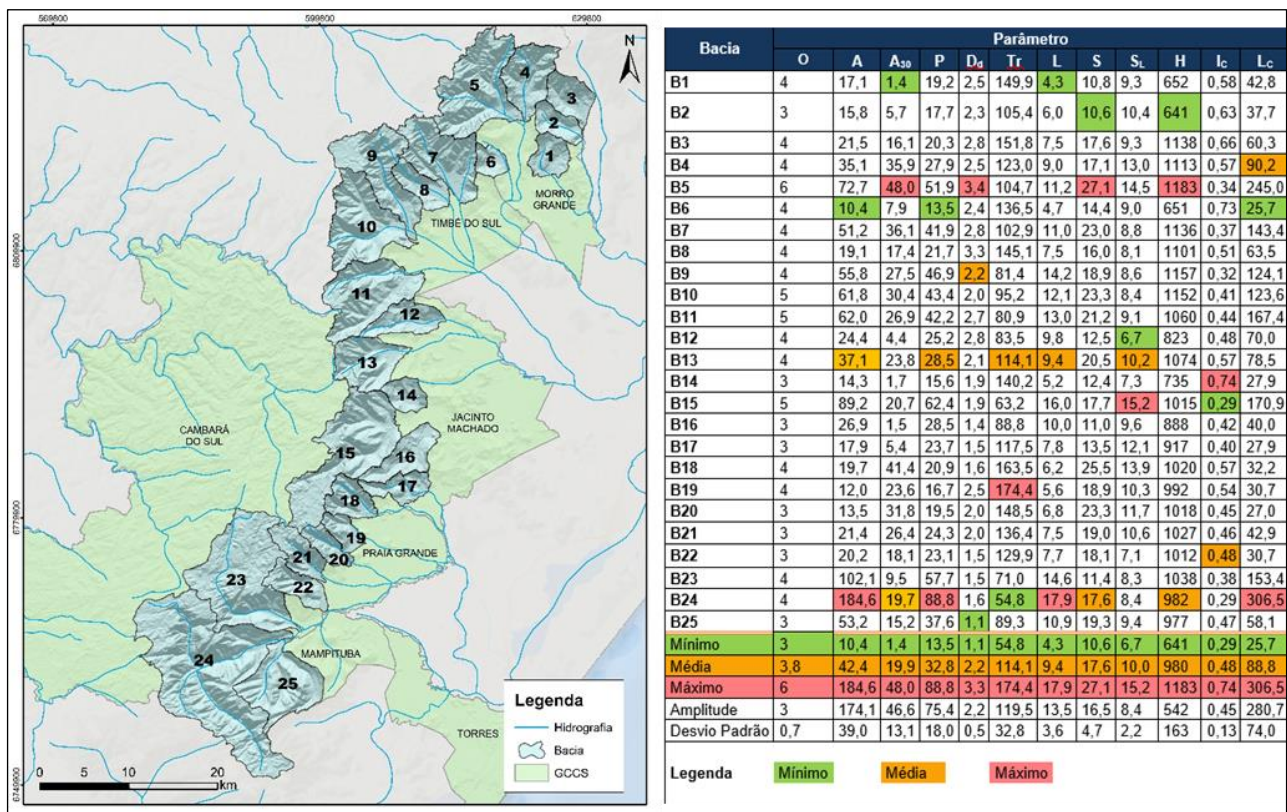
BAIXA, MÉDIA, ALTA e MUITO ALTA. Para facilitar o processo, as classes definidas são substituídas por pontos, sendo BAIXA=1, MÉDIA=2, ALTA=3 e MUITO ALTA=4. Após a tabulação dos resultados, foram somados os pontos totais de cada bacia, sendo a suscetibilidade expressa através da comparação entre a somatória das bacias.

Por fim, o resultado da classificação das bacias em relação à suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas foi confrontado com os registros de ocorrência de eventos extremos no território do GCCS, durante o período de 1974 a 2017 (PIMENTA *et al.*, 2018). Também foram espacializados os geossítios com o intuito de averiguar a localização das bacias de maior suscetibilidade em relação aos mesmos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de delimitação das bacias para a avaliação da suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas resultou na definição de 25 bacias hidrográficas (Figura 26) no território do GCCS.

Figura 2 – Resultado da delimitação das bacias e resultado dos parâmetros morfométricos por bacia.



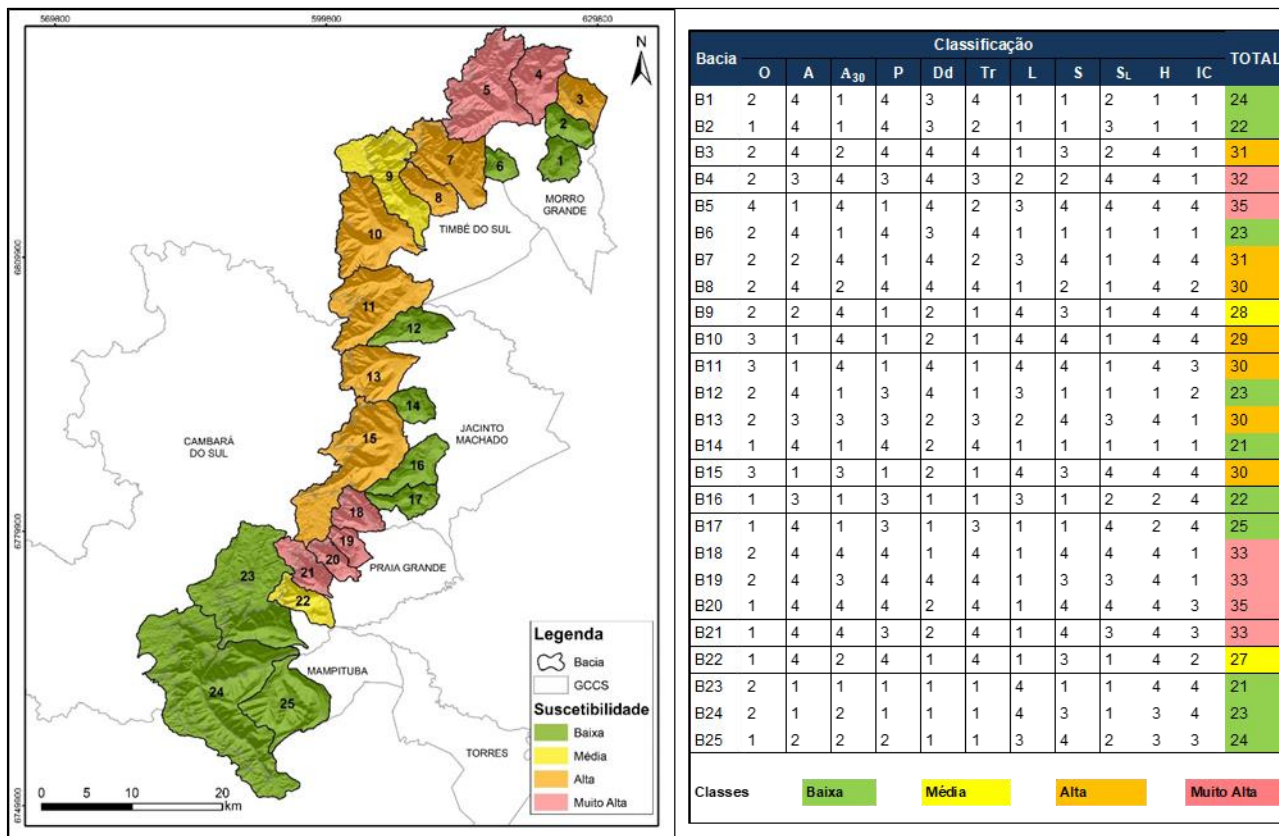
Fonte: Autores, 2021.

A amplitude dos resultados dos parâmetros foram: *área da bacia* (A), entre 10,48 e 184,67km<sup>2</sup>; *taxa de relevo* (Tr), entre 54,82 e 174,41; *perímetro da bacia* (P), entre 13,45 e 88,89km.; *área acima de 30°* (A<sub>30</sub>), entre 1,4 e 48,8% e; *comprimento total dos canais* (Lc), entre 25,7 e 306,5km; *densidade de drenagem* (Dd ) de 1,1 a 3,4; *comprimento do canal principal* (L) de 4,35 a 17,93km;

declividade média da bacia (S) de 10,66° a 27,17°; declividade do canal principal (SL) de 6,7 a 15,2°; amplitude altimétrica (H) de 641 a 1183m; índice circularidade (Ic) de 0,29 a 0,74 e; ordem hierárquica (O) de 3° a 6°.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido para a classificação da suscetibilidade das bacias. As maiores somatórias de pontos (35) foram obtidas para as bacias B5 e B20 enquanto as menores somatórias (21) foram obtidas para as bacias B14 e B21. As demais bacias obtiveram somatórias entre 22 e 33 pontos, sendo que o valor modal foi de 30 pontos.

Figura 3 – Suscetibilidade das bacias de drenagem ao desenvolvimento de enxurradas.



Fonte: Autores, 2021.

As bacias classificadas como de Muito Alta Suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas foram as bacias que obtiveram entre 32 e 35 pontos (B4, B5, B18, B19, B20 e B21). Estas bacias possuem as seguintes características: O entre 3 e 6, sendo que duas delas (B20 e B21) são de 3° ordem, três de 4° ordem (B4, B18 e B19) e apenas uma de 6° ordem (B5); A entre 12,1 e 72,8km<sup>2</sup>, sendo a B5 a maior bacia nesta classe e B19 a menor; P entre 16,7 e 51,9 km; Dd entre 1,6 e 3,4, com o maior valor também obtido para a B5; L com valores entre 5,7 (B19) e 11,2km (B5); S entre 17,1 e 27,2°, com os maiores valores obtidos para as bacias B5, B18 e B20; A<sub>30</sub> entre 23,6 e 48,1%, com o maior valor nesta classe obtida para a B5, que também apresentou a maior porcentagem de A<sub>30</sub> em relação às demais bacias; S<sub>L</sub> entre 10,4 e 14,6°, com o maior valor obtido nesta classe para a B5 que,

em relação às demais, apresenta o canal principal com a segunda maior declividade média. Todas as bacias nesta classe apresentaram  $H$  acima da média geral das demais bacias, variando de 992 a 1183m. A  $Tr$  apresentou valores entre 104 e 174m/km e o  $Ic$ , entre 0,3 e 0,6. No geral, as bacias desta classe apresentaram valores elevados de  $A_{30}$ ,  $S$ ,  $S_L$ ,  $Tr$  e  $H$ , destacando-se os de  $A_{30}$ , e valores baixos para  $A$  e  $P$ . Em relação a  $S$ ,  $S_L$  e  $Tr$ , os valores obtidos variaram de médio a muito alto.  $H$  foi o único parâmetro classificado como muito alto para todas as bacias desta classe.

As bacias classificadas como de Alta Suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas foram as B3, B7, B8, B10, B11, B13 e B15 que obtiveram entre 30 e 31 pontos. As bacias deste grupo possuem as seguintes características:  $A$  entre 21,5 e 89,2km<sup>2</sup>;  $P$  de 20,3 a 62,4km;  $Dd$  entre 1,9 e 2,8;  $Tr$  de 63,3 a 151,8m/km;  $L$  de 7,5 a 16,1km e;  $S$  de 17,6 a 23,3°;  $H$  de 1015 a 1152m;  $A_{30}$  entre 16,1 e 36,1%;  $S_L$  entre 8,5 e 15,2°;  $Ic$  de 0,3 a 0,7; e  $O$  entre 4 e 5°. Nesta classe o único parâmetro classificado como muito alto para todas as bacias foi  $H$ , enquanto os demais foram enquadrados em classes variadas, de baixa a muito alta para  $A$ ,  $Tr$ ,  $L$ ,  $S_L$  e  $Ic$  e média a muito alta para  $O$ ,  $A_{30}$ ,  $Dd$  e  $S$ .

As bacias de Média Suscetibilidade, que obtiveram entre 27 e 28 pontos, foram apenas as bacias B9 e B22. No geral, o resultado dos parâmetros morfométricos para estas bacias apresentaram valores muito variados, com exceção de  $S_L$  e  $H$ , com valores, respectivamente, de: 8,7° e 1158m para B9 e; 7,1° e 1012m para B22. O resultado dos demais parâmetros são:  $O$  igual a 4 e 3;  $A$  de 55,8 e 20,3km<sup>2</sup>;  $P$  de 46,9 e 23,2km;  $Dd$  de 2,2 e 1,5;  $Tr$  igual a 81,5 e 130m/km;  $L$  igual a 14,2 e 7,8km;  $S$  de 18,9 e 18,1°; e  $Ic$  de 0,3 e 0,5. Os parâmetros  $S_L$ ,  $S$  e  $H$  foram enquadrados na mesma classe para ambas as bacias, respectivamente, classe baixa, alta e muito alta. Os resultados de  $P$  e  $Tr$  foram classificados como baixo para B9 e muito alto para B22. Em relação aos parâmetros  $Dd$  e  $O$  os valores obtidos variam de médio a baixo, enquanto os resultados de  $L$  foram classificados como muito alto para B9 e baixo para B22. Os parâmetros  $A_{30}$  e  $Ic$  obtiveram resultados classificados como muito alto para B9 e médio para B22, enquanto  $A$  apresentou a classificação inversa para essas bacias.

Já as bacias de Baixa Suscetibilidade obtiveram somatória de pontos entre 21 e 24, sendo elas: B1, B2, B6, B12, B14, B16, B17, B23, B24 e B25. Estas bacias possuem as seguintes características:  $O$  entre 3 e 4, sendo cinco delas (B2, B14, B16, B17 e B25) de 3° ordem e outras cinco de 4° ordem (B1, B6, B12, B23 e B25);  $A$  entre 10,5 e 184,7km<sup>2</sup>, sendo a B24 a maior bacia nesta classe e dentre as bacias do GCCS, e B6 a menor;  $P$  entre 13,5 e 88,9 km;  $Dd$  entre 1,1 e 2,9, com o menor valor obtido para a B25 que também é o menor valor de  $Dd$  para as bacias do GCCS;  $L$  com valores entre 4,7 (B6) e 17,9 km (B24);  $S$  entre 10,7 e 19,4°, com os maiores valores obtidos para as bacias B25 e B24;  $A_{30}$  entre 1,5 e 19,8%, com o maior valor nesta classe obtida para a B24,  $S_L$  entre 6,7 e 12,2°, com o menor valor obtido nesta classe para a B12 e o maior para B17. As bacias nesta classe apresentaram  $H$  entre de 641,2 e 1038m. A  $Tr$  apresentou valores entre 54,8 e 149,9m/km e o  $Ic$  valores de 0,3 a 0,7.  $A_{30}$  foi o único parâmetro que apresentou valores enquadrados na mesma classe



para quase todas as bacias (classe baixa), com exceção da B25 com valor classificado como médio. Os demais parâmetros morfométricos apresentaram valores enquadrados em classes distintas para este grupo de bacias, com os valores de *A*, *P*, *L*, *S*, *Dd*, *Tr*, *S<sub>L</sub>*, *H* e *Ic* variando de baixa a muito alta e *O* entre baixa e média.

Os parâmetros que aparentam ter maior importância na determinação de bacias com alta suscetibilidade, apresentando valores acima da média, são: *área da bacia* (*A*), *perímetro* (*P*), *área acima de 30°* (*A<sub>30</sub>*), *declividade média da bacia* (*S*), *amplitude altimétrica* (*H*) e *taxa de relevo* (*Tr*). Estes parâmetros demonstram a importância do gradiente altimétrico e da declividade da bacia, da área da bacia e da declividade para o desencadeamento das enxurradas, uma vez que estes processos tendem a ocorrer em bacias de elevada declividade e menor área (KELLER, 1992). Entretanto, as bacias B5 (Muito Alta Suscetibilidade,) e B10, B11 e B15 (Alta Suscetibilidade), destacam-se por apresentar valores elevados de área e perímetro em relação às demais bacias das respectivas classes.

A *declividade média da bacia* (*S*) expressa o tempo de concentração e a duração do escoamento superficial, de forma que, quanto maior a declividade, menor será o tempo do escoamento e, portanto, maior a suscetibilidade ao desencadeamento de picos de vazão (HORTON, 1945). Quanto à *taxa de relevo* (*Tr*), Patton (1988) constatou que valores elevados da *Tr* indicam maior velocidade do escoamento, picos de vazão e maior probabilidade de enxurradas. Dessa forma, é contundente que as bacias que apresentaram maior suscetibilidade sejam aquelas que apresentem valores mais críticos desses parâmetros. Ainda, as bacias com maior suscetibilidade, geralmente, possuem suas cabeceiras nas escarpas da Serra Geral.

As bacias classificadas como de Muito Alta e Alta Suscetibilidade encontram-se nos municípios do GCCS onde foram mais recorrentes os eventos de enxurradas: Morro Grande (12), Jacinto Machado (21), Timbé do Sul (20) e Praia Grande (9). Das seis bacias localizadas no município de Morro Grande, duas foram classificadas como de Muito Alta Suscetibilidade (B4 e B5), uma como Alta Suscetibilidade (B3) e três de Baixa Suscetibilidade (B1, B2 e B6).

Timbé do Sul é o município com segundo maior número de ocorrências (20) no GCCS e das cinco bacias que ali se localizam, quatro foram classificadas como de Alta Suscetibilidade (B7, B8, B10 e B11) e uma de Média Suscetibilidade (B9), apontando uma boa relação das ocorrências com o resultado da classificação dos parâmetros para as bacias deste município. Entretanto, para o município de Jacinto Machado, que apresentou o maior número de ocorrências de enxurradas (21) apenas duas bacias (B13 e B15) apresentaram Alta Suscetibilidade, sendo as demais bacias classificadas como de Baixa Suscetibilidade. Destaca-se que as bacias B13 e B15 possuem suas cabeceiras de drenagem no Planalto e nas escarpas da Serra Geral, enquanto as bacias de Baixa Suscetibilidade possuem suas cabeceiras localizadas nos Patamares da Serra Geral, constituindo, no geral, bacias de menor declividade e amplitude altimétrica. Contudo, vale destacar a bacia B15, que, apesar de classificada

como de Alta Suscetibilidade, apresenta valores acima da média para os parâmetros de *declividade média da bacia* (S), *área acima de 30°* ( $A_{30}$ ), *comprimento do canal principal* (L), *declividade média do canal principal* ( $S_L$ ) e *amplitude altimétrica* (H), com sua suscetibilidade classificada como Alta devido, sobretudo, a seus valores elevados de área e perímetro.

O município de Praia Grande, por sua vez, apesar de possuir registro de apenas 9 ocorrências, possui quatro bacias classificadas como de Muito Alta Suscetibilidade (B18, B19, B20 e B21) e uma bacia de Média Suscetibilidade (B22). Destaca-se que as bacias que abrangem os cânions do Itaimbezinho (B24) e Faxinalzinho (B23), foram classificadas como de menor suscetibilidade, pois, apesar de possuírem grande amplitude altimétrica e uma escarpa quase vertical, com expressiva declividade, os cursos d'água que possuem suas cabeceiras de drenagem localizadas no Planalto e no topo das escarpas, logo atingem uma área de baixa declividade, na base dos cânions, de forma que a declividade média do canal principal ( $S_L$ ) é pouco expressiva. Além disso, valores elevados de *área da bacia* (A) e *perímetro* (P), e valores inferiores de *densidade de drenagem* (Dd) influenciaram no enquadramento destas bacias na classe de Baixa Suscetibilidade.

O método proposto por Souza (2005) para a avaliação da suscetibilidade morfométrica ao desenvolvimento à inundação propõe a utilização do maior número de parâmetros morfométricos possível, aplicados para bacias em um mesmo contexto geológico-geomorfológico, de forma que todos os parâmetros utilizados possuam o mesmo peso. Disto decorrem as grandes amplitudes dos parâmetros morfométricos para uma mesma classe de suscetibilidade, uma vez que a suscetibilidade é dada pela relativização da somatória entre os parâmetros. As classes de suscetibilidade definidas a partir de intervalos homogêneos, excluindo-se os valores anômalos - obtidos através do intervalo de confiança entre a média e o desvio padrão - gerou um grande número de bacias nas extremidades das classes (Muito Alta e Baixa Suscetibilidade), de modo que poucas bacias foram classificadas como de Média Suscetibilidade.

O resultado da classificação da suscetibilidade das bacias ao desenvolvimento de enxurradas foi realizado a partir da ponderação entre os parâmetros, de forma que o resultado da classificação não resulta em uma real suscetibilidade à ocorrência de enxurradas, mas uma hierarquização das bacias de drenagem consideradas. Dessa forma, as bacias de Baixa Suscetibilidade não possuem, necessariamente, uma baixa suscetibilidade à ocorrência de enxurradas, mas possuem menor suscetibilidade em relação às demais bacias, tendo em vista que todas as bacias do GCCS são periodicamente atingidas por eventos extremos de enxurradas, conforme demonstrado pelo levantamento das ocorrências de eventos extremos nos municípios do GCCS (PIMENTA et al., 2018). Vale desatacar que os registros destes eventos são realizados em função do fator humano, ou seja, para que estes eventos sejam registrados é necessário o relato por parte da população, desta forma, os locais com maior adensamento populacional, conseqüentemente, possuem maior número

de registros, enquanto nas áreas protegidas, com menor densidade populacional, os registros tendem a ser mais escassos. Dessa forma, estima-se que o número de ocorrências de enxurradas no território do GCCS seja ainda maior do que o apresentado no inventário.

Por fim, destaca-se que muitas das bacias classificadas como de Muito Alta e Alta Suscetibilidade possuem geossítios presentes em sua área de drenagem, demonstrando a importância da identificação da suscetibilidade das bacias para a visitação segura dos visitantes do GCCS.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação da suscetibilidade ao desenvolvimento de enxurradas nas bacias do GCCS demonstrou que grande parte das bacias possui características que apontam para uma elevada suscetibilidade à ocorrência destes processos. Ainda, o registro de ocorrência de enxurradas nos municípios do GCCS corroborou com este resultado, demonstrado que não são incomuns a ocorrência destes processos na área de estudo.

Dentre os 12 parâmetros analisados, os parâmetros que aparentam ter maior importância na determinação de bacias com alta suscetibilidade, apresentando valores acima da média, são: área da bacia, perímetro, área acima de 30°, declividade média da bacia, amplitude altimétrica e taxa de relevo. O maior peso destes parâmetros, em consonância com a literatura, demonstra a ocorrência preferencial de enxurradas em bacias de elevada declividade e de menor área.

Por fim, muitas das bacias de elevada suscetibilidade possuem geossítios em sua área de drenagem, demonstrando a importância da avaliação da suscetibilidade ao desencadeamento de enxurradas para que possam ser desenvolvidos planos preventivos de redução de riscos, garantindo a visitação segura destes locais. Trabalhos futuros que analisem outros fatores condicionantes, além dos morfométricos, podem vir a contribuir para a determinação mais acurada da suscetibilidade a estes eventos.

## 6. REFERÊNCIAS

- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. ed. [S. l.]: Bucher, 1980. 188 p. ISBN 9788521201304.
- GRAY, M. *Geodiversity valuing and conserving abiotic nature*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- HORTON, R.E. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geological Society of America Bulletin 56: 275-370, 1945.
- KELLER, E. A. *Introduction to environmental geology*. 4. ed. [S. l.: s. n.], 1992.

- MILANI, E. et al. *Roteiros Geológicos. Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná*. Boletim de Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 135-162, 2006.
- PATTON, P. C. & BAKER, V.R. *Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls*. Water Resources Research, 1976.
- 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.
- PISSARRA, T et al. *Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (sp)*. Revista Brasileira de Ciência do Solo: Seção V - Gênese, Morfologia e Classificação do Solo, [s. l.], 2004.
- SOUZA, C.R. de G. *Flooding in the São Sebastião region, Northern coast of São Paulo State, Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 1998.
- SOUZA, CÉLIA. *Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras*. Revista Brasileira de Geomorfologia, [s. l.], Ano 6, N. 1, 5 abr. 2005.
- STEVAUX, J.; LATRUBESSE, E. *Geomorfologia Fluvial*. 1. ed. [S. l.]: Oficina Textos, 2017. 320 p. ISBN 978-85-7975-275-9.
- STRAHLER, A.N. *Dynamic basis of geomorphology*. Geological Society of America Bulletin 63: 923-938., 1952.
- UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. UNESCO *Global Geoparks*. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/earth-science-geoparks>. Acesso em: 1 jun. 2021.