UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

VIVIAN CRISTINA DIAS

Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista:
Parâmetros morfológicos e índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.

Dissertação de Mestrado

Versão Corrigida

São Paulo
2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

VIVIAN CRISTINA DIAS

Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista:

Parâmetros morfológicos e índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Linha de Pesquisa: Estudos Interdisciplinares em Pedologia e Geomorfologia.

Agência de fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Programa Novos Talentos – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

Orientadora: Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira.

São Paulo
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação Serviço de Biblioteca e Documentação Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

D 541c Dias, Vivian Cristina
Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista:
Parâmetros morfológicos e índice de potencial de
magnitude e suscetibilidade. / Vivian Cristina Dias
; orientador Bianca Carvalho Vieira. - São Paulo,
2017.
129 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São
Paulo. Departamento de Geografia. Área de
concentração: Geografia Física.

1. Processos Hidrogeomorfológicos. 2. Movimentos
de Massa. 3. Depósitos de Corridas de Detritos. 4.
Desastres Naturais. 5. Caragatatuba. I. Vieira,
Bianca Carvalho, orient. II. Título.

<p>Vivian Cristina Dias</p>	<p>Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista: Parâmetros morfológicos e índice potencial de magnitude e suscetibilidade.</p>	<p>Mestrado FFLCH 2017</p>
---------------------------------	--	------------------------------------

Vivian Cristina Dias

Corridas de detritos na Serra do Mar Paulista:

Parâmetros morfológicos e índice potencial de magnitude e suscetibilidade.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira (Orientadora)
Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela
Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Edílson Pissato
Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Tiago Damas Martins
Universidade Federal de Pernambuco

*À minha família, que desde de
muito cedo sempre me
incentivou a estudar.*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Bianca Carvalho Vieira, por todo o apoio, incentivo, ensinamentos, compreensão, carinho e amizade durante a realização desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Marcelo Fischer Gramani, por todo o apoio, ensinamentos e amizade.

Aos meus pais, Cristina e Valter, que sempre me incentivaram a lutar por meus objetivos e a ter confiança em mim mesma, agradeço todo o apoio, compreensão, carinho e amor.

À minha irmã Helen pela amizade e incentivo e por me aguentar nos momentos de dificuldade, sempre segurando minha mão nos momentos mais difíceis enfrentados durante a realização desta pesquisa.

Ao meu noivo Fernando pelo amor, amizade, companheirismo, carinho, incentivo, paciência e por sempre me incentivar nos momentos de dificuldade, sempre acreditando em mim.

Aos amigos do GPMorfo, em especial, Carol, Rebeca, Luzia e Tiago, pela amizade, companheirismo, incentivo e inestimável ajuda em campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro para a realização desta pesquisa.

À Universidade de São Paulo, o Programa de Pós-Graduação em Geografia Física e à Comissão de Pós-Graduação da FFLCH, pelo auxílio para apresentação dos resultados parciais desta pesquisa em eventos científicos.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pelo auxílio oferecido pelo Programa “Novos Talentos”, sobretudo a oportunidade de orientação do pesquisador Marcelo Fischer Gramani e aos pesquisadores Ogura e Zé, pelos ensinamentos e inestimável ajuda em campo.

Às minhas amigas, Jessica e Thais, pela amizade e por sempre torcerem por mim ao longo desses mais de 8 anos de companheirismo e amizade que nasceu durante a graduação.

Também agradeço a todos os colegas que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa e que fizeram parte da minha vida durante este período de pouco mais de dois anos.

A todos vocês, sou muito grata e compartilho aqui a importância de todos desde o processo seletivo para entrada no programa de pós-graduação até a conclusão desta etapa, deixando claro que, sem vocês, esta pesquisa não teria sido realizada, e que, portanto, ela também é de vocês.

Muito obrigada a todos!!!

Que a Força esteja com vocês, sempre.

'DO OR DO NOT. THERE IS NO TRY. "

MESTRE YODA.

RESUMO

A análise da morfologia é uma importante ferramenta para avaliação das características internas do sistema bacia hidrográfica. Os atributos morfológicos podem demonstrar um padrão de comportamento dos processos ocorridos em seu interior, sobretudo os processos hidrogeomorfológicos, como enxurradas e corridas de detritos. As corridas de detritos possuem características específicas, em sua maioria relacionadas aos canais de drenagem, portanto, sua análise morfológica é fundamental para o entendimento do processo. São importantes os estudos que visam compreender de forma mais aprofundada os condicionantes relacionados à ocorrência de corridas de detritos, devido tanto à magnitude quanto e, principalmente, ao seu poder destrutivo, e, sobretudo, devido a recorrência do processo. Conforme o exposto, esta pesquisa teve como objetivo central avaliar a suscetibilidade de bacias hidrográficas a partir da análise de parâmetros morfológicos e sua relação com a magnitude das corridas de detritos ocorridas em 1967 no município de Caraguatatuba/SP, visando a elaboração de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade com base nos resultados. Para alcançar tal objetivo, as seguintes etapas metodológicas foram definidas: i) seleção de bacias hidrográficas com evidência de ocorrência de corridas de detritos; ii) mapeamento dos parâmetros morfológicos; iii) caracterização morfológica dos depósitos e definição da magnitude das corridas de detritos de 1967; e iv) elaboração de índice de potencial de magnitude e suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos. Os resultados mostraram a influência dos parâmetros morfológicos na magnitude das corridas de detritos, com destaque para perfil longitudinal, hierarquia de drenagem e área da bacia acima de 25°. As bacias classificadas com nível de magnitude maior obtiveram os valores mais críticos com relação a estes parâmetros. A metodologia utilizada para determinação da magnitude se mostrou eficiente, ficando as consequências potenciais condizentes com a realidade. Com o estabelecimento da relação entre os valores críticos dos parâmetros e a maior magnitude, foi possível a elaboração de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade com base nos parâmetros morfológicos. Esta pesquisa contribui para os estudos referentes às corridas de detritos, sob uma perspectiva geomorfológica, agregando mais informações a respeito do processo e colaborando para o melhor entendimento de sua dinâmica na Serra do Mar.

Palavras-chave: Processos Hidrogeomorfológicos, Movimentos de Massa, Depósitos de Corridas de Detritos, Desastres Naturais, Caraguatatuba.

ABSTRACT

The morphological analysis is an important tool in the evaluation of the inner characteristics of the hydrographic basin system. Its attributes demonstrate a pattern of behavior of the processes occurred in the basin, especially hydrogeomorphic processes, such as flood and debris flow. Debris flow have specific characteristics, mostly related to the drainage channels, being primordial the study of the characteristics of the hydrographic basin. Studies which aim to better understand the conditioning factors related to the occurrence of debris flow are important due to the magnitude but also the recurrence of the process. As explained before, the main goal of this research was to evaluate susceptibility of hydrographic basins through morphological parameters and its relation with the magnitude of the debris flows occurred in Caraguatatuba, 1967, aiming to elaborate an index of potential of magnitude and susceptibility based in the results. To achieve this goal, the following methodological steps were defined: (i) selection of hydrographic basins with evidence of occurrence of debris flow; (ii) morphological parameters mapping; (iii) morphological characterization of the deposits and definition of the magnitude of debris flow; and (iv) elaboration of an index of potential of magnitude and susceptibility to the occurrence of debris flow. The results showed the influence of the morphological parameters in the magnitude of debris flows, highlighting the parameters longitudinal profile, drainage hierarchy and area above 25°. The basins classified with higher magnitude obtained the most critical values relation to those parameters. The methodology used to determine the magnitude proved to be efficient, with the potential consequences consistent with the reality. With the establishment of the relation between the critical values of the morphological parameters and the basins with higher magnitude, it was possible to elaborate an index of potential of magnitude and susceptibility. This research contributes to the studies related to debris flow from a geomorphological approach, adding more informations about the process and collaborating to better understand the debris flow dynamics in the Serra do Mar.

Keywords: Hydrogeomorphological Processes, Mass Movement, Debris Flow Deposits, Natural Disasters, Caraguatatuba.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Corrida de detritos ocorridas na Serra do Mar, em Caraguatatuba, 1967 (A); Santa Catarina, 2008 (B); Paraná, 2011 (C) e na Região Serrana do Rio de Janeiro, 2011 (D). Fonte: Grupo GPMorfo (Figuras A, C e D); Instituto Geológico do Estado de São Paulo (Figura B). 2
- Figura 2:** Bloco utilizado como material para construção de muro em moradia, em Caraguatatuba/SP.....3
- Figura 3:** Depósitos de corridas de detritos préteritos exumados após ocorrência recente, o Rio de Janeiro, em 1996. Fonte: Fernandes, N. F. 3
- Figura 4:** Blocos depositados nas drenagens, que podem ser remobilizados devido à ocorrência de corridas de detritos. Fonte: Gramani, M. F. (Foto)..... 9
- Figura 5:** Esquema ilustrativo da deflagração de corridas de detritos conforme principais mecanismos observados no Brasil. Fonte: adaptado de VanDine (1996) e Garcia (2008). 10
- Figura 6:** Representação de uma corrida de detritos e suas principais feições por meio de uma seção longitudinal, visão em planta e seção transversal. Fonte: modificado de Johnson (1970). 11
- Figura 7:** Representação das feições deposicionais de uma corrida de detritos. Fonte: modificado de Eisbacher e Clague (1984) 12
- Figura 8:** Perfil esquemático de uma corrida de detritos (A). Depósitos de corridas de detritos deflagradas em Itaóca, 2014 (B e C). Correlacionando as três imagens, é possível identificar as figuras B e C como parte da porção frontal da corrida, indicada no perfil como “Flow Surge”, ou “Parte Principal”. Destaca-se também a presença de blocos muito grandes. Fonte: modificado de Ujueta e Mojica, 1995 (Perfil) e Gramani, M. F. (Fotos)..... 13
- Figura 9:** Depósitos de corridas de detritos em Caraguatatuba/SP. Observa-se nos depósitos as características principais de corridas de detritos anteriormente citadas: materiais mal selecionados e inversão granulométrica (blocos maiores acima dos materiais mais finos). Trata-se de depósitos denominados “Ondas Laterais”, detalhados na Figura 7, modificada de Eisbacher and Clague (1984). Fonte: Gramani, M. F. (Fotos). 15
- Figura 10:** Relações entre os parâmetros morfológicos (em vermelho) e a ocorrência de corridas de detritos. Legenda das abreviações: índice de circularidade (Ic), densidade de drenagem (Dd), hierarquia de drenagem (H), perfil longitudinal (PL), índice de rugosidade (Ir), curvatura (C), área acima de 25° (A₂₅), ângulo (A), declividade média do canal (DMC), amplitude altimétrica (AA) e relação de relevo (Rr). Fonte: Modificado e adaptado de Jakob, 1996. 18
- Figura 11:** Metodologia de hierarquização de bacias hidrográficas proposta por Shreve (1966; 1967). Fonte: Christofletti (1980)..... 22
- Figura 12:** Relação entre os parâmetros morfométricos e a possibilidade de ocorrência de corridas de detritos de grande magnitude. 26

Figura 13: Hierarquia para ponderação de atributos (método “Analytic Hierarchy Process”). Fonte: modificado de Saaty, 1987.	28
Figura 14: Vista da Serra do Mar, em Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo. Fonte: Dias, V. C. (Foto).....	31
Figura 15: Mapa geológico de Caraguatatuba. Fonte: modificado de Perrotta et al. (2005). .	32
Figura 16: Isoietas de precipitação médias anuais de Caraguatatuba, de 1977 a 2006. Fonte: CPRM.	33
Figura 17: Isoietas aproximadas da chuva de 17/18 de março de 1967, na Serra de Caraguatatuba.	35
Figura 18: Escorregamentos e corridas de detritos deflagradas em 1967 em Caraguatatuba (A e B). Destaque para a Rodovia Tamoios, que sofreu danos causados pela ocorrência de escorregamentos nas encostas (C). A figura D mostra casas destruídas pelos materiais transportados pelas corridas de detritos, que alcançaram a planície e região urbana. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.....	36
Figura 19: Depósitos de corridas de detritos, com destaque para os grandes blocos transportados pelo processo. Destaque para o tamanho dos blocos em comparação às pessoas. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.....	38
Figura 20: Troncos transportados pelas corridas de detritos. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	39
Figura 21: Blocos e troncos transportados pelas corridas de detritos. Detalhe para o tamanho do bloco em comparação às pessoas. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	39
Figura 22: Depósitos das corridas de detritos. Os blocos se depositaram nas porções mais planas do relevo, próximo aos cursos d'água (A). Destaque para o tamanho dos blocos (B). Fonte: CRUZ (1974).....	40
Figura 23: Casa destruída pela corrida de detritos. Destaque para ao materiais diversos (troncos, blocos e etc) depositados na frente da casa. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.....	40
Figura 24: Construções em alvenaria e ponte destruídos, as margens do Rio Santo Antônio, uma das bacias mais atingidas por corridas de detritos. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	41
Figura 25: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Pau d'alho, em Caraguatatuba/SP..	42
Figura 26: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Camburu, em Caraguatatuba/SP. Destaque para a presença de matéria orgânica (troncos) junto aos blocos.....	42
Figura 27: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Guaxinduba, em Caraguatatuba/SP. Em destaque, a localização dos blocos em meio a vegetação, e ao centro, moradia localizada em meio aos blocos.....	43
Figura 28: Depósitos de corridas de detritos exumados devido às obras da Rodovia Nova Tamoios, em São Sebastião/SP.	43

Figura 29: Etapas metodológicas da pesquisa.....	44
Figura 30: Localização das bacias selecionadas para análise no município de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo.....	45
Figura 31: Depósito de corrida de detritos na bacia do Pau d’alho. Fonte: Gramani, M. (foto).	45
Figura 32: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Guaxinduba.	46
Figura 33: Depósito de corridas de detritos observados na bacia do Santo Antônio. Fonte: Gomes, M. C. V. (Foto).	46
Figura 34: Mapa de isoespessuras elaborado para a área da Fazenda Serramar, em Caraguatatuba/SP. Fonte: modificado de IPT (2006).	48
Figura 35: Duto de gás contruído na bacia do Pau d'alho (A), conforme indicação na Figura 34. Detalhe para a construção para reter materias já parcialmete obstruída por troncos (B). Fonte: Gramani, M. F. (Fotos).	49
Figura 36: Depósito localizado na bacia do Pau d'alho, conforme indicação na Figura 34. Fonte: Gramani, M. F. (Foto).	50
Figura 37: Depósitos com grandes blocos na bacia do Ribeirão da Aldeia. Fonte: Gramani, M. F. (Foto).	50
Figura 38: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA (Município de Caraguatatuba/SP).	51
Figura 39: Classificação dos depósitos em quatro categorias: S, M, L e XL.....	53
Figura 40: Ficha de classificação da morfologia dos depósitos de corridas de detritos.....	53
Figura 41: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1974) e a bacia do Guaxinduba, mostrando a alcance da corrida de detritos na bacia.	56
Figura 42: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1974) e a bacia do Santo Antônio, mostrando a alcance da corrida de detritos na bacia.	57
Figura 43: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1990) e a bacia do Pau d’alho, mostrando o alcance da corrida de detritos na bacia.	58
Figura 44: Hierarquização e classificação dos parâmetros segundo metodologia de Saaty (1987).	59
Figura 45: Modelo de classificação de importância em 5 categorias.....	59
Figura 46: Resultados do parâmetro Índice de Circularidade.	61
Figura 47: Resultados do parâmetro Índice de Rugosidade.	62
Figura 48: Resultados do parâmetro Relação de Relevô.....	63
Figura 49: Resultados do parâmetro Densidade de Drenagem.	63
Figura 50: Resultados do parâmetro Amplitude Altimétrica.	64

Figura 51: Resultados do parâmetro Declividade Média do Canal.....	65
Figura 52: Resultados do parâmetro Área acima de 25°.....	66
Figura 53: Mapa de ângulo das encostas para as bacias Santo Antônio (1) e Guaxinduba (2).	66
Figura 54: Mapa de ângulo das encostas para as bacias Pau d'alho (1) e Ribeirão da Aldeia (2).	67
Figura 55: Resultados do parâmetro Hierarquia de Drenagem.	68
Figura 56: Resultados do parâmetro Perfil Longitudinal.	69
Figura 57: Mapa de curvatura das encostas e gráficos para as bacias Santo Antônio (1) e Guaxinduba (2).	70
Figura 58: Mapa de curvatura das encostas e gráficos para as bacias Pau d'alho (1) e Ribeirão da Aldeia (2).	71
Figura 59: Depósitos de corridas de detritos na bacia Ribeirão da Aldeia. Fonte: Gramani, M. F.	72
Figura 60: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Ribeirão da Aldeia.....	73
Figura 61: Depósitos de corridas de detritos na bacia Ribeirão da Aldeia. Fonte: Gramani, M. F.	74
Figura 62: Depósitos de corridas de detritos localizados em área de deposição ampla em porção mais suave do relevo. Fonte: Gramani, M. F.	74
Figura 63: Blocos de tamanho "Muito Grandes" localizados na margem esquerda do canal, na bacia Ribeirão da Aldeia.....	75
Figura 64: Blocos de tamanho "Muito Grandes" localizados no rio principal, na bacia Ribeirão da Aldeia. Fonte: Gramani, M. F. (foto).....	75
Figura 65: Depósitos de corridas de detritos localizados na margem direita do rio principal, na bacia Pau d'alho, conforme indicação das setas (depósitos: vermelho / direção do rio: azul). 76	
Figura 66: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Pau d'alho.	76
Figura 67: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia do Pau d'alho.	77
Figura 68: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, conforme destacado na figura.	78
Figura 69: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, as margens do rio principal Fonte: Gramani, M. F. (foto).	78
Figura 70: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, com destaque para a presença de inversão granulométrica.	79
Figura 71: Depósitos de corridas de detritos compostos por blocos de tamanho "muito grandes".	79

Figura 72: Depósitos de corridas de detritos localizados no rio principal, na bacia Guaxinduba.	80
Figura 73: Depósitos de corridas de detritos formando patamares ao longo das margens do rio, na bacia Guaxinduba.	80
Figura 74: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Guaxinduba.	81
Figura 75: Depósitos de corridas de detritos formando patamares ao longo das margens do rio, na bacia Guaxinduba (A, B e C). Detalhe para a distância do rio em relação à localização dos depósitos (A) e (B).	82
Figura 76: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" localizado na bacia Guaxinduba.	83
Figura 77: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" localizado dentro de residência, na bacia Guaxinduba.	83
Figura 78: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" sendo utilizado como parte da construção de muro de residência, na bacia Guaxinduba.	84
Figura 79: Depósito de corridas de detritos com presença de inversão granulométrica, na bacia Guaxinduba.	84
Figura 80: Depósito de corridas de detritos localizado no rio principal da bacia Santo Antônio. Fonte: GPMorfo (foto).	85
Figura 81: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Santo Antônio.	86
Figura 82: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio (A). Detalhe para a presença de inversão granulométrica (B). Fonte: GPMorfo (foto).	87
Figura 83: Depósito de corridas de detritos com presença de bloco de tamanho “muito grande”, na bacia Santo Antônio (A). Detalhe para a presença de inversão granulométrica (B). Fonte: GPMorfo (foto).	87
Figura 84: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio. Detalhe para a presença de imbricamento dos blocos (círculo), além da inversão granulométrica (setas). Fonte: GPMorfo (foto).	88
Figura 85: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio. Detalhe para a presença de imbricamento dos blocos (círculo), além da inversão granulométrica (setas). Fonte: GPMorfo (foto).	88
Figura 86: Depósito de corrida de detrito composto por blocos de tamanho "muito grandes" na bacia Santo Antônio. Fonte: GPMorfo (foto).	89
Figura 87: Mapa de magnitude das corridas de detritos nas bacias segundo a área inundada.	91
Figura 88: Resultados dos parâmetros morfológicos, com exceção dos mapas de curvatura e ângulo.	97

Figura 89: Morfologia de depósitos de corridas de detritos identificadas em campo. Fonte: Modificado de Eisbacher e Clague (1984) e Ujueta e Mojica (1995). 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de movimentos de fluxo, com base nas classificações de Varnes (1978) e Hutchinson (1988), com destaque para as corridas de detritos em amarelo.	7
Tabela 2: Classificação de fluxos, com destaque para as corridas de detritos em amarelo.	7
Tabela 3: Descrição e características dos principais mecanismos atuantes em uma corrida de detritos.	14
Tabela 4: Utilização de parâmetros morfométricos e morfológicos no estudo de corridas de detritos.	17
Tabela 5: Categorias de avaliação de probabilidade de ocorrência de corridas de detritos utilizada na Columbia Britânica, Canadá.	20
Tabela 6: Ponderação de atributos utilizada em avaliação de impactos ambientais.	27
Tabela 7: Ponderação de atributos do método “Analytic Hierarchy Process”.	29
Tabela 8: Fatores, classes, pesos (P), atributos e notas parciais (NP) utilizados para avaliação da suscetibilidade de uma área com relação a corridas de detritos.	30
Tabela 9: Intervalos propostos para determinação de suscetibilidade.	30
Tabela 10: Ocorrência de movimentos de massa na Serra do Mar. Os valores para área, velocidade e volume se referem ao processo de corridas de detritos.	34
Tabela 11: Síntese das fases da catástrofe na cidade de Caraguatatuba no ano de 1967 devido a chuvas muito violentas.	37
Tabela 12: Parâmetros morfológicos selecionados para avaliação das bacias hidrográficas.	52
Tabela 13: Metodologia de classificação de magnitude de corridas de detritos proposta por Jakob (2005).	55
Tabela 14: Classificação de magnitude de corridas de detritos segundo o critério "área inundada".	90
Tabela 15: Classificação da magnitude das corridas de detritos segundo metodologia de área inundada de Jakob (2005).	91
Tabela 16: Hierarquização dos parâmetros morfológicos.	92
Tabela 17: Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.	93
Tabela 18: Potencial de magnitude e suscetibilidade (níveis de classificação).	94
Tabela 19: Classificação das bacias segundo o Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.	95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA E CONCEITUAL	6
3.1. Corridas de detritos: conceitos e fatores deflagradores.....	6
3.2. Morfologia dos depósitos de corridas de detritos.....	11
3.3. Parâmetros morfológicos: descrição e uso na avaliação de corridas de detritos.....	16
3.4. Ponderação de atributos: algumas metodologias	27
4. ÁREA DE ESTUDO: SERRA DO MAR (CARAGUATATUBA/SP)	31
4.1. Características geológicas-geomorfológicas e climáticas	31
4.2. Evento de 1967.....	35
4.3. Características das corridas de detritos e morfologia dos depósitos em Caraguatatuba	37
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS	44
5.1. Seleção de bacias hidrográficas.....	44
5.2. Mapeamento dos parâmetros morfológicos	51
5.3. Caracterização morfológica dos depósitos e definição da magnitude das corridas de detritos de 1967	52
5.4. Elaboração de índice de potencial de magnitude e suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos	59
6. RESULTADOS.....	61
6.1. Parâmetros morfológicos.....	61
6.2. Morfologia dos depósitos e magnitude das corridas de detritos	72
6.2.1. Morfologia dos depósitos	72
6.2.2. Magnitude das corridas de detritos	90
6.3. Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade	92
7. DISCUSSÕES.....	96
7.1. Parâmetros morfológicos.....	96
7.2. Morfologia dos depósitos e magnitude das corridas de detritos	101
7.3. Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade	103
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	106

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A bacia hidrográfica, sendo composta por encostas, canais, corpos d'água e sistema de drenagem subterrânea, pode ser definida como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais para uma saída comum num determinado ponto de um canal fluvial, a qual está sujeita a ocorrência de diversos outros processos em seu interior, que tendem a alterar a sua dinâmica e equilíbrio, podendo também ser definida como um sistema aberto, onde ocorrem trocas de energia e matéria, sofrendo assim, influência de componentes externos e internos (CHORLEY, 1971; COELHO NETTO, 1994).

Um sistema pode ser definido como “um conjunto de objetos que se relacionam entre si e entre seus atributos” (HALL E FAGAN, 1956, p. 18). Dessa forma, os atributos morfológicos¹ das bacias hidrográficas podem ser compreendidos como parte de sua dinâmica interna, revelando características particulares das mesmas (PARETA E PARETA, 2011; ZHANG *et al.*, 2015). Processos hidrogeomorfológicos, tais como enxurradas, enxurradas de detritos e corridas de detritos, estão condicionados a fatores externos (ex. evento climático extremo) e internos (ex. morfologia da bacia) (WILFORD *et al.*, 2004). Parâmetros como densidade de drenagem, índice de circularidade, relação de relevo, índice de rugosidade e ângulo, fornecem informações a respeito das características altimétricas da bacia, seu formato e capacidade de escoamento, revelando as características específicas da bacia e como os processos podem ocorrer em seu interior.

As corridas de detritos são um tipo de movimento de massa de caráter essencialmente hidrodinâmico que se destacam devido a seu alto potencial de transporte de materiais, sua velocidade e seu raio de alcance, causando danos sociais e econômicos quando atingem áreas densamente ocupadas (TAKAHASHI, 1991; GUIDICINI E NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; TAKAHASHI, 2007). Ocorrem em áreas com presença de relevos escarpados (ângulo acima de 25°), fonte abundante de materiais para transporte e água, provinda de elevados montantes de precipitação, do rompimento de barragens naturais, ou até mesmo degelo, podendo ocorrer em diferentes partes do mundo, estando relacionadas à presença de tais características em uma determinada região (COSTA, 1984; ZNAMESSNSKY, 2001; RILEY *et al.* 2013).

Em geral, as corridas de detritos no Brasil ocorrem devido ao aporte de materiais oriundos dos escorregamentos em canais de drenagem já saturados, que adquirem viscosidade e “transforma-se” em corridas de detritos (AUGUSTO FILHO, 1993). Consequentemente,

¹ O uso do termo “morfológicos” nesta pesquisa refere-se também ao termo “morfometria”, segundo opção de convenção presente na literatura, visando uma abordagem mais geral.

observa-se a importância da avaliação da bacia hidrográfica como um todo para melhor compreender a ocorrência deste tipo de processo, sobretudo, com uma abordagem geomorfológica. Além disso, as ocorrências de corridas de detritos estão, em sua maioria, concentradas na Região da Serra do Mar, em sua porção localizada nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina. Dentre os principais eventos ocorridos no país, se destacam as ocorrências de 1967, em Caraguatatuba/SP; em 2008, em Santa Catarina; e mais recentemente, em 2011, no Paraná e na Região Serrana do Rio de Janeiro, considerado o maior desastre relacionado a escorregamentos e corridas de detritos no país (**Figura 1**).

Figura 1: Corrida de detritos ocorridas na Serra do Mar, em Caraguatatuba, 1967 (A); Santa Catarina, 2008 (B); Paraná, 2011 (C) e na Região Serrana do Rio de Janeiro, 2011 (D). **Fonte:** Grupo GPMorfo (Figuras A, C e D); Instituto Geológico do Estado de São Paulo (Figura B).

Muitas das áreas atingidas pelos processos possuem indícios da ocorrência de eventos pretéritos, que são, no entanto, ignorados pela população que ocupa áreas com grande suscetibilidade, sobretudo com relação à ocorrência de corridas de detritos (**Figura 2**). Dessa forma, é comum em meio às ocupações a presença de grandes depósitos de corridas de detritos

na forma de blocos, que são, inclusive, utilizados pelos moradores como material para a construção da moradia (ex. muros) e como objeto paisagístico (**Figura 3**).

Figura 2: Bloco utilizado como material para construção de muro em moradia, em Caraguatatuba/SP.

Figura 3: Depósitos de corridas de detritos préteritos exumados após ocorrência recente, o Rio de Janeiro, em 1996. Fonte: Fernandes, N. F.

Conforme o exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a suscetibilidade de bacias hidrográficas a partir da análise de parâmetros morfológicos e sua relação com a magnitude das corridas de detritos ocorridas em 1967 no município de Caraguatatuba/SP, visando a elaboração de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade com base nos resultados. A pesquisa possui a seguinte estrutura básica: introdução (I); objetivos (II); fundamentação teórico-conceitual (III), abordando os principais conceitos a respeito dos parâmetros morfológicos e corridas de detritos; área de estudo (IV), descrevendo as principais características geológicas e geomorfológicas, e a ocorrência de corridas de detritos na área; procedimentos metodológicos (V), onde são descritos os principais procedimentos com seleção das bacias a serem avaliadas, mapeamento e avaliação dos parâmetros, caracterização morfológica dos depósitos e definição da magnitude das corridas de detritos; e por fim, a seção final apresenta os resultados (VI), discussões (VII) e considerações finais (VIII).

2. PREMISSA E OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a suscetibilidade de bacias hidrográficas a partir da análise de parâmetros morfológicos e sua relação com a magnitude das corridas de detritos ocorridas em 1967 no município de Caraguatatuba/SP, visando a elaboração de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade com base nos resultados. Para tal, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Identificação de bacias hidrográficas com ocorrência de corridas de detritos de grande magnitude, considerando a tipologia dos depósitos e a área de inundação;
- b) Identificação dos principais parâmetros morfológicos das bacias.

A pesquisa está embasada na premissa de que determinadas características de bacias hidrográficas, avaliadas por meio dos parâmetros morfológicos, podem influenciar diretamente na magnitude de corridas de detritos. Dessa forma, por meio da identificação e caracterização de tais parâmetros, seria possível o estabelecimento de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos em bacias hidrográficas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA E CONCEITUAL

A primeira parte desta fundamentação buscou conceituar e identificar os principais fatores deflagradores das corridas de detritos (3.1.). A segunda parte, por sua vez, tratou da identificação morfológica das corridas de detritos em campo (3.2). A terceira parte tratou dos parâmetros morfológicos e sua relevância na caracterização de bacias hidrográficas (3.3.). Por fim, a quarta parte abordou alguns métodos a respeito da ponderação de atributos e sua utilização (3.4.).

3.1. Corridas de detritos: conceitos e fatores deflagradores

Em geral, as corridas de detritos são classificadas considerando o tipo de movimento, o material transportado e as características relacionadas ao tipo de fluido (VARNES, 1978; SIDLE, *et al.*, 1985; HUTCHINSON, 1988; AUGUSTO FILHO, 1992; SELBY, 1993; HUNGR *et al.* 2001). Portanto, as corridas de detritos são classificadas como movimentos de massa do tipo “fluxo/corridas” e material transportado do tipo “solo/predominantemente grosseiro” na classificação proposta por Varnes (1978). Hutchinson (1988) classifica as corridas de detritos como “movimentos/fluxos de detritos”, com um critério mais voltado para aos mecanismos do movimento, não tanto para o tipo de material. No Brasil, Augusto Filho (1992) utiliza como critério de classificação, além do tipo de movimento, fluxo e material, a geometria do movimento (ex. superfície de deslocamento).

Hungr *et al.* (2001) por sua vez, fazem uma releitura das classificações de Varnes (1978) e de Hutchinson (1988), com ênfase em movimentos do tipo “fluxo”, ressaltando a importância da elaboração de uma classificação mais precisa e menos ambígua no que diz respeito a tais processos, que são frequentemente confundidos ou identificados de forma errônea, dada a sua grande ramificação interna devido ao tipo de material envolvido e as características do fluido em si. Deste modo, Hungr *et al.* (2001) adotaram os critérios de tipo de material (1), quantidade de água (2), condições especiais (3) e velocidade (4) para a classificação dos movimentos de massa do tipo “fluxo” (**Tabela 1**). Observa-se, portanto, a importância de uma classificação que diferencie os fluxos a partir do teor de água presente, ou, carga de sedimentos, o que irá determinar o fluxo saturado ou não saturado. Costa (1984), por exemplo, procura diferenciar as corridas de detritos de outros processos do tipo fluxo como “*Water Flood*” (Enxurrada) e “*Mud Flood*” (Fluxos de Lama) pela concentração de sedimentos e reologia do fluido (**Tabela 2**).

Tabela 1: Classificação de movimentos de fluxo, com base nas classificações de Varnes (1978) e Hutchinson (1988), com destaque para as corridas de detritos em amarelo.

MATERIAL	TEOR DE ÁGUA	CONDIÇÕES ESPECIAIS	VELOCIDADE	NOME
Silte/lama, Areia, Cascalho, Detritos (talus)	Seco, úmido ou saturado	Não excede a poropressão; Volume limitado.	Variada	Fluxo/corrída de areia (lama, cascalho, detritos) não-liquefeito.
Silte/lama, Areia, Detritos, Rochas friáveis	Saturada na superfície de ruptura	Material liquefiável; Água constante.	Extremamente Rápido	Fluxo/corrída de areia (lama, detritos, rochas).
Argila sensível	No limite ou acima do limite líquido	Liquefação in situ; Conteúdo de água constante.	Extremamente Rápido	Fluxo/corrída de argila.
Turfa	Saturado	Excede a poropressão.	Lento a muito rápido	Fluxo/corrída de turfa.
Argila ou solo	Próximo do limite plástico	Movimento lento; Fluxo tampão (deslizamento).	< Rápido	Fluxo/corrída de solo.
Detritos	Saturado	Canal estabelecido; Aumento do teor de água	Extremamente Rápido	Fluxo/corrída de detritos
Lama	No limite ou acima do limite líquido	Fluxo/corridas de detritos de granulometria fina.	> Muito rápido	Fluxo/corrída de lama.
Detritos	Quantidade livre de água	Enxurrada.	Extremamente Rápido	Enxurrada de detritos.
Detritos	Parcialmente ou totalmente saturado	Sem canal estabelecido; Relativamente raso, áreas íngremes.	Extremamente Rápido	Avalanche de detritos.
Rochas fragmentadas	Variada, sobretudo seco	Rochas intacta na fonte; Grande volume.	Extremamente Rápido	Avalanche de rochas.

Fonte: Modificada de Hungr *et al.* (2001).

Tabela 2: Classificação de fluxos, com destaque para as corridas de detritos em amarelo.

FLUXO	CARGA DE SEDIMENTO (POR PESO)	DENSIDADE APARENTE (Mg/m ³)	FORÇA (N/m ²)	REOLOGIA DO FLUÍDO	DEPÓSITOS E FEIÇÕES
Enxurrada	1-40%	1.01 - 1.3	< 10	Newtoniano	Bem selecionados, camadas estratificadas
Fluxo de Lama	40-70%	1.3 - 1.8 ³	~ 10-20	Aprox. Newtoniano (?)	Mal selecionados, estratificação fraca, margens não bem definidas.
Corridas de Detritos	70-90%	1.8 - 2.6	> 20	Visco-Plástico	Ondas laterais e concentrações de detritos muito mal selecionados.

Fonte: Modificada de Costa (1984).

Por fim, Takahashi (2007) utiliza uma classificação genérica dos movimentos de massa com base em seus mecanismos controladores, os classificando como “*Sediment Hazard*”, ou “Perigos de Sedimentos”, ou seja, um tipo de desastre causado por mobilização/transporte de sedimentos. Na classificação, o autor entende por “sedimento” tanto lama (*mud*) e argila quanto grandes blocos (*boulders*), partindo de uma simplificação dos tipos de materiais transportados, que no caso das corridas de detritos, é majoritariamente variado, entre granulometrias muito finas até grandes blocos e matéria orgânica. Nesta abordagem, Takahashi (2007) considera os processos de (1) escorregamentos profundos e rasos; (2) avalanches de detritos; (3) fluxos piroclásticos; e (4) corridas de detritos como os mais significativos.

Observando essas classificações, sobretudo de Costa (1984), Hungr *et al.* (2001) e Takahashi (2007), é possível compreender as características majoritárias das corridas de detritos, que podem, a partir das mesmas, ser definidas como fluido visco-plástico (não newtoniano) saturado, composto por materiais detríticos (materiais finos a grosseiros, matéria orgânica, etc.), de elevada densidade, força e velocidade, ocorrendo em canais pré-estabelecidos ou em encostas, por meio da “criação” de percursos pelo próprio fluxo. Nesta pesquisa, optou-se por esta definição, que procura abranger de forma mais detalhada as principais características das corridas de detritos.

As corridas de detritos possuem registros de ocorrências em diferentes países, estando mais relacionadas às características específicas do relevo, e não a uma zona climática particular (ZNAMENSKY, 2001). Conforme exposto por Costa (1984), as corridas de detritos precisam de fonte abundante de materiais para transporte (ex. ocorrência de escorregamentos nas encostas) e água (ex. evento climático extremo; degelo), encostas com alta declividade ($> 25^\circ$) e vegetação esparsa, que favorece o escoamento superficial nas encostas, sobretudo no hemisfério norte, onde o processo está em grande parte relacionado às encostas. Os três primeiros fatores são cruciais para a sua deflagração. Por se tratar de um movimento induzido pela gravidade, as altas declividades exercem um papel central no que diz respeito ao alcance das corridas de detritos, que pode determinar a sua maior ou menor magnitude.

Quanto maior a distância percorrida, maior tende a ser a quantidade de materiais agregados ao fluxo em um movimento de arrastamento, a partir da mobilização de materiais pré-existent e erosão do canal (HUNGR *et al.*, 2005; JAKOB, 2005), culminando em uma maior zona de deposição, que pode causar mais danos caso atinja áreas densamente ocupadas. Costa (1984) identifica três tipologias de corridas de detritos com base em seu local de ocorrência. A primeira tipologia seria as corridas do tipo “Lahars”, que ocorrem em encostas de vulcões, mobilizando, em geral, as cinzas geradas pelo mesmo; a segunda as corridas

originadas em ambientes glaciais a partir do derretimento de geleiras, denominadas “Tillflows”; e por fim, as corridas de detritos “tradicionais”, deflagradas devido a índices pluviométricos intensos em encostas ou canais de drenagem, em escala de bacia hidrográfica, abordadas de forma mais detalhada nesta pesquisa.

Com relação aos mecanismos deflagradores, com base em Augusto Filho (1993) e Takahashi (2007), identifica-se três tipologias: **1)** a partir da erosão de depósitos no leito do rio devido e pela concentração de sólidos na superfície da água; **2)** a partir de um escorregamento nas encostas, que se torna uma corrida de detritos por ação do acúmulo de água entre os blocos; e **3)** devido ao colapso de barreiras de detritos nas drenagens (sedimentos/materiais pré-existent no canal ou oriundos de escorregamentos nas encostas) que, em virtude do suprimento de água externo (chuva), torna-se uma corrida de detritos.

No Brasil, a deflagração de corridas de detritos está relacionada, em sua maioria, a ocorrência de escorregamentos nas encostas, que agem como supridores de sedimentos, que, ao atingirem as drenagens já sobrecarregadas, transformam-se em corridas de detritos; e a remobilização de materiais pré-existent nos canais (**Figura 4**), podendo ser enquadrada na terceira tipologia (AUGUSTO FILHO, 1993; GRAMANI, 2001).

Figura 4: Blocos depositados nas drenagens, que podem ser remobilizados devido à ocorrência de corridas de detritos. **Fonte:** Gramani, M. F. (Foto).

Dessa forma, a ocorrência de corridas de detritos no Brasil tende a seguir a seguinte sequência de deflagração (**Figura 5**): **(1)** devido a evento climático extremo, são deflagrados nas encostas escorregamentos e atingem as drenagens, saturando e tornando-se uma massa de alta viscosidade e poder erosivo, denominada corridas de detritos. Em geral, as corridas têm início em declividades acima de 25° ; **(2)** o fluxo flui em direção a jusante, remobilizando materiais pré-existent, erodindo as margens do canal; **(3)** ao atingir porções mais suaves do relevo, pode ocorrer a deposição parcial dos materiais; e **(4)** os materiais atingem as porções mais baixas do relevo ($< 10^\circ$), ocorrendo a deposição final das corridas de detritos (COSTA, 1984; AUGUSTO FILHO, 1993; VANDINE, 1996; TAKAHASHI, 2007).

Figura 5: Esquema ilustrativo da deflagração de corridas de detritos conforme principais mecanismos observados no Brasil. **Fonte:** adaptado de VanDine (1996) e Garcia (2008).

3.2. Morfologia dos depósitos de corridas de detritos

As corridas de detritos são, em geral, descritas como fluxos de sedimentos sólidos e fluídos que se movem como “ondas” no canal existente ou pré-estabelecido pelo próprio fluxo, possuindo feição bem característica (**Figura 6**). Em sua parte frontal, denominada “nariz” e “lóbulo”, as corridas concentram os materiais mais grosseiros (ex. blocos, troncos), sendo identificado como a parte principal das corridas (**Figura 7**). Em seguida, o fluxo é dominado pela presença de sedimentos mais finos, denominada “cauda” da corrida (JOHNSON, 1970; EISBACHER E CLAGUE, 1984; UJUETA E MOJICA, 1995).

De forma geral, é possível identificar, nas áreas atingidas, depósitos com as características anteriormente descritas, fundamentais para a identificação correta do processo ocorrido, sendo os principais, a presença de materiais mal selecionados (**Figura 8**), de granulometrias diversas, a presença de blocos muito grandes que não poderiam ser mobilizados por processos de enxurradas, o imbricamento dos blocos, onde os blocos ficam encaixados uns sobre os outros em uma mesma direção, e a inversão granulométrica, onde os materiais mais grosseiros (blocos) ficam sobrepostos aos sedimentos mais finos (JOHNSON, 1970; COSTA, 1984; JAKOB, 2005).

Figura 6: Representação de uma corrida de detritos e suas principais feições por meio de uma seção longitudinal, visão em planta e seção transversal. **Fonte:** modificado de Johnson (1970).

Figura 7: Representação das feições deposicionais de uma corrida de detritos. **Fonte:** modificado de Eisbacher e Clague (1984).

Figura 8: Perfil esquemático de uma corrida de detritos (A). Depósitos de corridas de detritos deflagradas em Itaóca, 2014 (B e C). Correlacionando as três imagens, é possível identificar as figuras B e C como parte da porção frontal da corrida, indicada no perfil como “Flow Surge”, ou “Parte Principal”. Destaca-se também a presença de blocos muito grandes. **Fonte:** modificado de Ujueta e Mojica, 1995 (Perfil) e Gramani, M. F. (Fotos).

A verificação dos depósitos das corridas é fundamental para a sua correta identificação, uma vez que estes refletem a natureza e principais mecanismos presentes no fluxo. Costa (1984) destaca cinco mecanismos principais presentes em uma corrida de detritos, sendo eles: coesão, fluviabilidade, pressão dispersiva, turbulência e suporte estrutural. Estes mecanismos influenciam de forma direta no fluxo, e explicam as suas principais características descritas anteriormente. O autor destaca que todos os cinco mecanismos podem operar em maior ou menor extensão durante uma corrida de detritos, no entanto, apenas a força de coesão, fluviabilidade e suporte estrutural podem agir após o término do movimento, em depósitos estáticos recém-formados (**Tabela 3**). Da mesma forma, Johnson (1970) ressaltava a importância dos mecanismos presentes nas corridas, com maior destaque para a turbulência. Segundo o mesmo autor, apesar de presente, o mecanismo de turbulência não é ativo em toda a extensão da corrida, uma vez que esta implica um movimento que induz o choque entre os materiais no interior da corrida. No entanto, observa-se que os blocos depositados não apresentam fraturas

ou sinais que indiquem que houve algum tipo de colisão entre os materiais, parecendo intactos (JOHNSON, 1970; COSTA, 1984). Dessa forma, os autores destacam uma participação maior do mecanismo de turbulência no transporte de sedimentos mais finos, na porção final da corrida, conforme a quantidade de água aumenta.

Tabela 3: Descrição e características dos principais mecanismos atuantes em uma corrida de detritos.

MECANISMOS DE TRANSPORTE, SUSPENSÃO DE SÓLIDOS E DEPOSIÇÃO EM CORRIDAS DE DETRITOS		
Mecanismo	Ação no fluxo	Definição e características
Coesão	Suporte, transporte e deposição de sedimentos.	É determinada pela coesão entre argila e lama (sedimentos finos) no fluído, sendo uma das forças mais importantes que dá suporte a sedimentos finos no fluxo.
Flutuabilidade	Suporte e transporte e deposição de sedimentos.	É caracterizada pela diferença de densidade entre os sólidos submersos (sedimentos mais grosseiros ou <i>boulders</i>) e o fluído, sendo considerado o principal mecanismo de suporte de partículas nas corridas de detritos.
Pressão dispersiva	Suporte, transporte e disposição dos sedimentos.	Ocorre quando forças são transmitidas entre partículas em colisão ou próximas de colidir, verificando-se que quando uma alta concentração de grãos/sedimentos mal selecionados são cisalhados pelo fluxo, as partículas maiores tendem a derivar em direção à superfície livre.
Turbulência	Suporte e transporte de sedimentos.	Trata-se da variação de direção e velocidade dos vetores em um determinado intervalo de tempo.
Suporte estrutural	Deposição de sedimentos.	Trata-se da força que age majoritariamente na deposição dos sedimentos, agindo no montante de sedimentos em contato uns com os outros e no leito do rio. Este suporte é necessário para manter grandes blocos suspensos em depósitos recentes de corridas.

Fonte: Adaptado de Johnson (1970) e Costa (1984).

Em campo, portanto, a identificação da ocorrência de corridas de detritos se dá majoritariamente pela identificação de seus depósitos, e suas características podem fornecer informações sobre a magnitude das corridas. No município de Caraguatatuba, atingido por escorregamentos e corridas de detritos de grande magnitude no verão de 1967, é possível identificar os depósitos de provenientes das corridas de detritos em diversas bacias hidrográficas, apresentando as características típicas do processo anteriormente descritas (**Figura 9**).

Figura 9: Depósitos de corridas de detritos em Caraguatatuba/SP. Observa-se nos depósitos as características principais de corridas de detritos anteriormente citadas: materiais mal selecionados e inversão granulométrica (blocos maiores acima dos materiais mais finos). Trata-se de depósitos denominados “Ondas Laterais”, detalhados na Figura 7, modificada de Eisbacher and Clague (1984).
Fonte: Gramani, M. F. (Fotos).

3.3. Parâmetros morfológicos: descrição e uso na avaliação de corridas de detritos

Horton (1945) e Strahler (1952) são precursores no desenvolvimento de métodos quantitativos de análise de bacias hidrográficas e sua quantificação, sendo conhecidos, principalmente, pelos métodos de hierarquização fluvial, proposto por Strahler (1953); e o método de cálculo da densidade de drenagem, proposto por Horton (1945) e amplamente utilizado para verificação das características de escoamento e drenagem de bacias. Dessa forma, os parâmetros morfológicos demonstram características particulares de bacias hidrográficas, que podem influenciar nos processos que ocorrem em seu interior, tais como produção de sedimentos, e até mesmo a ocorrência de movimentos de massa (PARETA E PARETA, 2011; ZHANG *et al.*, 2015).

A análise de parâmetros morfológicos vem sendo utilizada por diversos autores para avaliar a ocorrência de corridas de detritos em escala de bacia hidrográfica (**Tabela 4**). Entende-se que os diferentes componentes da bacia, como as características dos canais de drenagem e das encostas, a disponibilidade de materiais intemperizados (sedimentos) e o formato e a área podem influenciar a forma como as corridas de detritos ocorrerão na bacia, contribuindo para a sua maior ou menor magnitude (VANDINE, 1985; JOHNSON *et al.*, 1991; AUGUSTO FILHO, 1993; JAKOB, 1996; DE SCALLY *et al.*, 2001; WILFORD *et al.*, 2004; KONAVER E SLAYMAKER, 2008; CHEN E YU, 2011; DIAS, 2014; DIAS *et al.*, 2016). Dessa forma, se destacam alguns parâmetros: índice de rugosidade, índice de circularidade, densidade de drenagem, hierarquia de drenagem, relação de relevo, perfil longitudinal, amplitude altimétrica, declividade média do canal, ângulo, área acima de 25° e curvatura.

Com base no fluxograma modificado e adaptado de Jakob (1996) (**Figura 10**), para a deflagração de corridas de detritos, é necessário que ocorra um **evento climático extremo** (ex. chuvas torrenciais; degelo), que poderá indicar a frequência das corridas de detritos, **disponibilidade de sedimentos** (ex. oriundo de escorregamentos ou materiais disponíveis na própria bacia), fatores estes já apontados por Costa (1984), e que poderão influenciar diretamente na magnitude das corridas de detritos. Os parâmetros morfológicos, por sua vez, podem influenciar nas características do material disponível, na disponibilidade de sedimentos, no início da corrida e no transporte e deposição dos detritos.

Tabela 4: Utilização de parâmetros morfométricos e morfológicos no estudo de corridas de detritos.

AUTOR	OBJETIVO	PARÂMETROS UTILIZADOS
VanDine (1985)	Avaliação do processo e magnitude.	Área da bacia.
Slymaker (1990)	Caracterização de bacias	Área da bacia, ângulo do canal.
Johnson <i>et al.</i> (1991)	Estimativa de magnitude e frequência.	Hipsometria, relação de relevo, densidade de drenagem, comprimento total dos canais, bifurcação, relação de alongamento da bacia.
Augusto Filho (1993)	Hierarquização e avaliação de potencialidade de geração de corridas.	Área da bacia, índice de circularidade, densidade de drenagem.
Jakob (1996)	Estimativa de magnitude e frequência.	Área da bacia, índice de rugosidade, hipsometria, densidade de drenagem, índice de circularidade.
Vieira <i>et al.</i> (1997)	Análise de magnitude.	Assimetria/simetria do canal, perfil longitudinal, comprimento do canal, hierarquia.
De Scally <i>et al.</i> (2001)	Análise e identificação do processo.	Área da bacia, amplitude altimétrica, índice de rugosidade.
Kanji e Gramani (2001)	Avaliação de suscetibilidade.	Declividade, ângulo.
Wilford <i>et al.</i> (2004)	Diferenciação de processos de tipo fluxo.	Área da bacia, comprimento da bacia, formato, comprimento dos canais, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, ângulo acima de 30°, 35° ou 40°, índice de Melton, relação de relevo.
Kovanen e Slymaker (2008)	Análise do processo e magnitude.	Área da bacia, índice de Melton.
Chen e Yu (2011)	Análise do processo e magnitude.	Relação de relevo, índice de rugosidade, fator de forma, ângulo, índice de potencial erosivo do canal, índice de caracterização do terreno, índice topográfico de umidade.
Dias (2014); Dias <i>et al.</i> (2016)	Avaliação de magnitude.	Área da bacia, índice de rugosidade, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade, hierarquia, curvatura, ângulo.

Figura 10: Relações entre os parâmetros morfológicos (em vermelho) e a ocorrência de corridas de detritos. Legenda das abreviações: índice de circularidade (I_c), densidade de drenagem (Dd), hierarquia de drenagem (H), perfil longitudinal (PL), índice de rugosidade (I_r), curvatura (C), área acima de 25° (A_{25}), ângulo (A), declividade média do canal (DMC), amplitude altimétrica (AA) e relação de relevo (Rr). **Fonte:** Modificado e adaptado de Jakob, 1996.

Os parâmetros relação de relevo, perfil longitudinal, amplitude altimétrica, declividade média do canal, área acima de 25° e ângulo estão relacionados ao início da corrida e ao potencial de transporte e deposição da bacia. Proposto por Schumm (1956) a **relação de relevo** (Rr) é dada pela relação entre amplitude altimétrica máxima (H_m) e a extensão da bacia (L_h), sendo medida paralelamente à principal linha de drenagem, sendo obtido a partir da seguinte equação (1):

$$Rr = \frac{H_m}{L_h} \quad (1)$$

Este parâmetro pode indicar se a bacia possui alto nível de transporte de sedimentos, ou seja, quanto maior a relação de relevo, maior tende a ser a distância percorrida pela corrida e, consecutivamente, maior a velocidade de escoamento do fluxo, uma vez que estas são induzidas pela gravidade, demonstrando, justamente o gradiente altimétrico da bacia. Tal característica

também pode ser verificada por meio dos demais parâmetros, sobretudo, o perfil longitudinal, amplitude altimétrica e declividade média do canal.

O *perfil longitudinal (PL)* do rio principal é obtido a partir da relação entre comprimento do canal e sua topografia, gerando um gráfico no qual é possível a verificação de características do canal, tais como rupturas de declive, que podem ser uma área no canal de acumulação de sedimentos; e demonstrando as variações altimétricas do mesmo, por meio do gradiente altimétrico, podendo influenciar no transporte e deposição dos sedimentos.

Da mesma forma, a *amplitude altimétrica (AA)* é dada pela diferença entre a cota máxima (H_{max}) e a cota mínima da bacia (H_{min}), compondo a caracterização altimétrica da bacia, sendo calculada pela equação (2):

$$AA = H_{max} - H_{min} \quad (2)$$

A *declividade média do canal (DMC)* pode ser extraída de forma manual, utilizando uma carta topográfica, e também por meio automático em ambiente *SIG*, sendo extraída de um *MDT* (Modelo Digital de Terreno), fornecendo informação a respeito da declividade do canal. Quanto maior a declividade do mesmo, maior o potencial de transporte do canal se tratando de processos hidrodinâmicos induzidos pela gravidade, tais como corridas de detritos e enxurradas. Da mesma forma, os parâmetros *ângulo (A)* e *área acima de 25° (A25)* são também extraídos da mesma base, a partir da elaboração de mapas de ângulo. Conforme verificado na literatura (COSTA, 1984; VANDINE, 1996; TAKAHASHI, 2007), são comuns nas bacias com ocorrência de corridas de detritos ângulo acima de 25°. Dessa forma, ambos os parâmetros visam demonstrar o ângulo da bacia, onde estima-se que, quanto maior o ângulo, maior o potencial de geração de corridas de detritos, assim como a ocorrência de processo de maior alcance e magnitude.

No Canadá, na região da Columbia Britânica, VanDine (1985), visando remediar e compreender os fatores deflagradores e o impacto das corridas de detritos, utilizou um manual com categorias de probabilidade de ocorrência de corridas de detritos em bacias hidrográficas de zero ordem (**Tabela 5**), baseado em histórico de ocorrência de eventos e características físicas de bacias compatíveis com áreas com ocorrência (área, ângulo, presença de depósitos e matérias para transporte). Da mesma forma, Slaymaker (1990) utilizou o mesmo manual para avaliar as ocorrências de corridas de detritos também na Columbia Britânica, juntamente com os parâmetros área da bacia e ângulo do canal. Este último autor conclui que bacias com área de até 19 km² são mais propensas a ocorrência de corridas, enfatizando, no entanto, que 98%

dos casos avaliados na região possuem ocorrência em bacias até 10 km². Já com relação ao ângulo do canal, o autor indicou uma média de 35° como fator de suscetibilidade. No Brasil, com abordagem semelhante, Kanji e Gramani (2001), propuseram um índice de suscetibilidade às corridas com base na avaliação de alguns fatores deflagradores, como a disponibilidade de sedimentos e quantidade de chuvas, e parâmetros morfológicos, como declividade, inclinação do canal e área da bacia para avaliação de corridas de detritos, com base em algumas ocorrências em diferentes localidades. Esta avaliação indicou que as bacias classificadas como mais suscetíveis (ex. ângulo > 30°) foram de fato atingidas por corridas de detritos de grande magnitude.

Tabela 5: Categorias de avaliação de probabilidade de ocorrência de corridas de detritos utilizada na Columbia Britânica, Canadá.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
4	Probabilidade muito alta de ocorrência: indica que corridas de magnitude maior do que a estabelecida podem ocorrer frequentemente em condições de alto escoamento superficial, devendo se assumir a projeção de ocorrência de corridas em curto prazo. É aplicado às bacias que possuem histórico de ocorrência de mais de um evento envolvendo magnitude maior do que 500 m ³ de material transportado ou possuindo características físicas compatíveis com bacias com ocorrências de tal magnitude (ex. ângulo > 25°).
3	Probabilidade alta de ocorrência: indica que corridas de magnitude menor vão ocorrer em menor frequência do que na categoria 4, no entanto, com projeção de ocorrência a curto prazo. É aplicado às bacias com histórico de ocorrência de um único evento. Também é aplicado às bacias sem histórico de ocorrência, porém com características físicas compatíveis às bacias da categoria 4.
2	Probabilidade moderadamente alta de ocorrência: indica que a projeção de ocorrência deve ser assumida a ocorrer durante o longo prazo de vida de estruturas físicas (tais como uma ponte ou casa). É aplicado às bacias que possuem características significantes correspondentes aos limites críticos onde a ocorrência de corridas é possível, no entanto, não no intervalo da categoria 4. Até o presente momento, estas bacias não apresentaram registros históricos de ocorrências, ou de eventos de origem incerta.
1	Probabilidade baixa de ocorrência: indica potencial baixo de ocorrência de corridas. É aplicado às bacias com características físicas iguais ou semelhantes aos limites críticos onde tais ocorrências são possíveis. Apesar da ocorrência de corrida de detritos seja possível durante o período de vida a longo prazo de estruturas físicas, seria necessária elevada condição de escoamento incomum (e pouco frequente).
0	Sem risco: indica que não há potencial virtual de ocorrência de corridas de detritos de grande magnitude, porém, podem haver ocorrências locais e de menor magnitude, podendo ocorrer corridas de magnitude variável nos tributários nos cursos superiores. É aplicado às bacias cujas características físicas estão abaixo dos limites críticos onde corridas de detritos são possíveis.

Fonte: modificado de Thurber Consultants Ltd. (1983).

Johnson *et al.* (1991) utilizaram parâmetros morfológicos para avaliar a frequência e magnitude de corridas de detritos em Los Angeles (EUA). Utilizando uma distribuição log-normal, foram estabelecidas equações de previsão para 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, como uma

função dos parâmetros morfológicos das bacias, como relação de relevo, área da bacia e hipsometria. Os autores concluíram que as equações de previsão de frequência e magnitude de ocorrência de corridas de detritos em diferentes intervalos de tempo e com estimativas de volume de sedimentos transportados (magnitude) podem contribuir para planejamentos de uso de solo e zoneamento em áreas suscetíveis.

Em trabalho mais recente, Chen e Yu (2011) também verificaram a forte influência de parâmetros morfológicos em 11 bacias hidrográficas em Taiwan. Os resultados mostraram que as bacias apresentaram inclinações entre 30° e 42°, resultado mais alto do que o presente na literatura (entre 27° e 38°) e que altos valores de relação de relevo, área efetiva da bacia, e índice de capacidade de transporte correspondem a um maior volume de sedimentos nos canais.

Inicialmente proposto por Melton (1957), o parâmetro **índice de rugosidade (*Ir*)** trata da combinação da declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, resultando em um valor adimensional, resultado do produto entre amplitude altimétrica (*H*) e densidade de drenagem (*Dd*). Pode ser calculada pela equação (3):

$$Ir = H \cdot Dd \quad (3)$$

O parâmetro pode influenciar no grau de evolução da bacia, ou seja, bacias mais rugosas (índice maior) tendem a produzir mais sedimentos em seus processos internos de evolução do relevo, havendo, portanto, maior disponibilidade de materiais para transporte, e também, podendo indicar o potencial da bacia para a ocorrência de cheias relâmpagos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Proposto por Horton (1945), a **densidade de drenagem (*Dd*)** é a relação do total dos canais e escoamento (*L_t*) com a área da bacia (*A*) (CHRISTOFOLETTI, 1980), sendo obtida através da equação (4):

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

Quanto maior a densidade de drenagem, mais rápido a água chegará às drenagens, intensificando as cheias relâmpagos na bacia e contribuindo para a geração de processos hidrodinâmicos mais intensos. A densidade de drenagem está relacionada ao início da corrida e a disponibilidade de sedimentos para transporte.

O parâmetro **hierarquia de drenagem (*H*)** consiste na classificação e hierarquização dos cursos d'água de uma bacia, sendo mais conhecidas as metodologias de Horton (1945), Strahler (1952) e Shreve (1966; 1967). A proposta de hierarquização de Shreve (1966; 1967), utilizada

nesta pesquisa, busca estabelecer a magnitude da bacia hidrográfica, sendo feita a partir da soma dos canais, onde os ligamentos (canais) externos possuem magnitude u_1 , agregando valor na medida em que se junta com outros ligamentos (ex. $u_1 + u_2 = u_3$) (**Figura 11**). Dessa forma, quanto maior a hierarquização da bacia, maior o potencial de escoamento da bacia, uma vez que o número maior de tributários contribui para o maior aporte de água na bacia, em especial, no canal principal.

Figura 11: Metodologia de hierarquização de bacias hidrográficas proposta por Shreve (1966; 1967).
Fonte: Christofolletti (1980).

No Brasil, Vieira *et al.* (1997) avaliaram corridas de detritos em duas bacias ocorridas após fortes chuvas (cerca de 200 mm/24 h) em 1996, no Rio de Janeiro. Foram verificados alguns parâmetros morfológicos, como simetria e assimetria do canal, hierarquia e comprimento dos canais, além da avaliação das características de ocupação das bacias. Os autores chegaram à conclusão que, as diferenças morfológicas e de ocupação possam ter contribuído para as diferentes magnitudes.

Na região da Columbia Britânica, Jakob (1996) trabalhou com alguns parâmetros importantes na deflagração, transporte e deposição das corridas de detritos, tais como ângulo, densidade de drenagem e índice de rugosidade. O autor utilizou os parâmetros para compor um modelo de previsão de frequência e magnitude das corridas de detritos, concluindo que, apesar dos parâmetros revelarem características que podem contribuir para a deflagração de corridas de detritos, ainda era difícil a exata previsão da magnitude por meio dos parâmetros. Na mesma

região, De Scally *et al.* (2001) utilizaram o parâmetro índice de rugosidade, enfatizando sempre a relação sistêmica entre as características morfológicas das bacias e os processos deflagrados nas mesmas. Os autores encontraram importante correlação entre os parâmetros amplitude altimétrica e área da bacia e correlação moderada entre o índice de rugosidade e a área de depósito. Os autores chegaram à conclusão que bacias maiores possuem probabilidade maior de conter picos mais altos do que bacias menores, e que índice de rugosidade elevado revela um maior potencial para geração de corridas de detritos.

Avaliando bacias hidrográficas no Estado de Washington (EUS), Konaven e Slaymaker (2008) encontraram correlação positiva entre o parâmetro índice de Melton² e o gradiente deposicional das corridas, indicando uma relação proporcional entre ambos, na qual o gradiente deposicional aumenta proporcionalmente ao aumento do índice de Melton, o que demonstra que quanto maior o valor, possivelmente maior o alcance da corrida e de seu depósito. Wilford *et al.* (2004) destacaram a importância dos parâmetros morfológicos para a compreensão e definição de processos denominados hidrogeomorfológicos, tais como corridas de detritos, enxurrada de detritos e enxurrada, enfatizando a sua utilização, sobretudo, para a identificação de áreas suscetíveis. Os autores utilizaram o índice de Melton como parâmetro base de um modelo para identificação de diferentes processos de fluxo, conseguindo um acerto de mais de 80% na identificação dos processos.

Proposto por Miller (1953), o **índice de circularidade (I_c)** é a relação entre a área da bacia (A) e a área do círculo (A_c) de mesmo perímetro que a mesma. O parâmetro demonstra o formato da bacia ($< 0,50$ mais alongada; $> 0,50$ mais arredondada), sendo obtido pela equação (5):

$$I_c = \frac{A}{A_c} \quad (5)$$

Autores como Crozier (1986) e Augusto Filho (1993) utilizaram o parâmetro para avaliação de bacias com corridas de detritos e chegaram a conclusões opostas quanto a influência do parâmetro. Para Crozier (1986), bacias mais alongadas seriam mais propensas a geração de corridas de detritos de maior magnitude, pois o formato alongado contribuiria para a concentração dos fluxos no canal principal, sobretudo em relevo escarpado; já para Augusto Filho (1993), seriam as bacias arredondadas as mais propensas a deflagração do processo, uma

² Variação do índice de rugosidade de Melton (1958), sendo a relação entre a altitude da bacia e a raiz quadrada da área da bacia.

vez que este formato favoreceria o escoamento na bacia, contribuindo para a ocorrência de cheias relâmpagos.

Dias *et al.* (2016), por sua vez, analisando duas bacias com ocorrências de corridas de detritos com distintas magnitudes e índice de circularidade opostos, concluiu que o parâmetro por si só não é capaz de fornecer uma análise conclusiva sobre sua influência no processo, sendo fundamental a avaliação conjunta do mesmo com outros parâmetros, que podem fornecer uma melhor avaliação da influência do formato da bacia com relação às demais características da bacia. O índice de circularidade está relacionado ao início da corrida.

O parâmetro curvatura das encostas pode ser obtido a partir do *MDT*, e demonstra o formato das encostas. Dentre os três principais formatos de encostas, destaca-se o formato côncavo, que tende a ser mais úmido devido ao acúmulo de água (COLÂNGELO, 1995). O formato côncavo contribui para a saturação mais rápida do solo, no qual o excedente de água escoar pela superfície, atingindo as drenagens. Quanto maior o escoamento superficial, maior o volume de água na bacia; da mesma forma, o formato pode favorecer a deflagração de escorregamentos (MONTGOMERY E DIETRICH, 1994), que, ao atingirem as drenagens, contribuiriam para a deflagração de corridas de detritos, em uma situação em que estas encontram-se já saturadas.

Por fim, a **Figura 12** busca ilustrar a relação de determinadas características dos parâmetros com a possibilidade de ocorrência de corridas de detritos de grande magnitude perante um evento climático extremo, resumindo as informações anteriormente citadas neste capítulo. Conforme expresso anteriormente no fluxograma modificado e adaptado de Jakob (1996), os parâmetros podem ter maior influência em determinadas etapas, como **disponibilidade de sedimentos, início da corrida, transporte ou deposição de detritos**. Dessa forma, os parâmetros **área da bacia acima de 25°** e **ângulo** apresentam um panorama geral da bacia, indicado se esta pode ser considerada mais escarpada ou não, lembrando aqui que o ângulo acima de 25° é uma das principais características de áreas com ocorrência de corridas de detritos, conforme literatura (COSTA, 1984; VANDINE, 1996; JAKOB, 2005; TAKAHASHI, 2007). Portanto, quanto maior a porcentagem de área acima de 25°, mais escarpado é considerado o relevo, aumentando a capacidade de transporte da bacia e contribuindo para um potencial maior transporte e alcance das corridas. O **índice de circularidade** pode influenciar de duas formas na bacia, mostrando um formato mais alongado ($< 0,5$), favorecendo a concentração do fluxo no canal principal, ou por meio de um formato mais arredondado da bacia ($> 0,5$), favorecendo o maior escoamento na bacia. Os parâmetros **hierarquia de drenagem** e **densidade de drenagem** podem influenciar de maneira similar, onde

quanto maior o valor dos parâmetros, mais drenada tenderá a ser a bacia, favorecendo também o maior escoamento da bacia, contribuindo para ocorrência de fluxos mais intensos. Os parâmetros *relação de relevo*, *perfil longitudinal*, *declividade média do canal* e *amplitude altimétrica* elevados contribuem para uma bacia com maior potencial de transporte, contribuindo para o maior escoamento. Por fim, os parâmetros *índice de rugosidade* e *curvatura* estão relacionados à disponibilidade de sedimentos na bacia. Dessa forma, bacias rugosas, ou seja, com índice maior, pode indicar maior produção de sedimentos, consequentemente proporcionando maior volume de sedimentos disponíveis para transporte. No caso da curvatura, a presença de concavidade pode propiciar a concentração de fluxos e saturação do solo, fatores estes que, além de favorecerem o escoamento superficial, podem contribuir para a deflagração de escorregamentos, aumentando o volume de materiais à aportarem nas drenagens. Assim, os **valores críticos** dos parâmetros determinaram algumas **influências na bacia**, apresentando algumas **consequências potenciais**, que influenciaram as **características gerais da bacia perante um evento climático intenso**, podendo favorecer a ocorrência de **processos hidrogeomorfológicos mais intensos**, e consequentemente, a **possibilidade de ocorrência de corridas de detritos de maior magnitude**.

Figura 12: Relação entre os parâmetros morfométricos e a possibilidade de ocorrência de corridas de detritos de grande magnitude.

3.4. Ponderação de atributos: algumas metodologias

A ponderação de atributos é largamente utilizada na tomada de decisões e está baseada, primordialmente, na hierarquização dos fatores a partir da atribuição de pesos, com base em sua relevância para o objetivo em questão. Pode ser feita de forma quantitativa, a partir da utilização de programas estatísticos, por exemplo, ou qualitativa, onde o pesquisador defini a importância e pesos dos atributos de acordo com a sua experiência empírica com relação ao processo/objeto avaliado (ALEOTTI E CHOWDHURY, 1999). Conforme definido por Sánchez (2011, p. 299), ponderar atributos é “*arbitrar entre diferentes alternativas e dar pesos a cada um dos atributos selecionados e, em seguida, combiná-los por meio de uma função matemática predeterminada*”.

O método de ponderação de atributos pode ser utilizado na avaliação de impactos ambientais, onde é necessário o estabelecimento de critérios e atributos para a determinação do impacto de determinados empreendimentos no ambiente (SÁNCHEZ, 2011; MOREIRA, 2014). Após a identificação de todos os impactos potenciais a serem infringidos no ambiente pelo empreendimento em questão, é necessário a classificação dos mesmos a partir de sua relevância por meio da atribuição de pesos. Dessa forma, utilizando como exemplo a avaliação de impactos ambientais, um atributo, devido à sua importância, poderá ter um peso maior comparado aos demais atributos, como pode ser observado na **Tabela 6**.

Tabela 6: Ponderação de atributos utilizada em avaliação de impactos ambientais.

ATRIBUTOS / PESOS					
Impacto	Magnitude	Reversibilidade	Probabilidade de Ocorrência	Enquadramento Legal	Significância (Soma Ponderada)
Impacto 1	3 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	41
Impacto 2	4 * 5	2 * 5	1 * 2	4 * 3	44
Impacto 3	2 * 5	2 * 5	1 * 2	2 * 3	28
Impacto 4	3 * 5	1 * 5	1 * 5	0 * 3	33
<p>Pesos: magnitude = 5 reversibilidade = 5 probabilidade de ocorrência = 2 enquadramento legal: 3</p> <p>Escala de valores dos atributos: peq. = 1; média = ; grande = 3; muito grande = 4 reversível = 1; irreversível = 2 muito baixa = 1; baixa = 2; alta = 3; certa = 5 não há = 0; política da empresa = 2; projeto de norma legal = 4; norma legal (lei, decreto, resolução, portaria, etc.) = 5</p> <p>Escala de significância: pequena = 0 a 20; média = 21 a 35; grande = 36 a 55</p>					

Fonte: SÁNCHEZ (2011).

No caso do exemplo da **Tabela 6**, os atributos magnitude, reversibilidade, probabilidade de ocorrência e enquadramento legal possuem pesos distintos, determinados por sua importância, e podem variar a depender das características de cada impacto, conforme a escala de valores dos atributos. A multiplicação dos atributos x pesos resultarão na soma ponderada, com valor distinto para cada impacto, refletindo as características anteriormente citadas (pesos e escala de valores).

O “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP), de Saaty (1987) também parte da aplicação de pesos para determinar a importância de determinados critérios, sendo, em geral, aplicado em propósitos de caráter multicriteriais, como tomada de decisões, planejamento e alocação de recursos e resolução de conflitos. O método parte do estabelecimento de uma hierarquia na qual deve conter o **foco** da questão e os **critérios** para classificação (**Figura 13**).

Figura 13: Hierarquia para ponderação de atributos (método “*Analytic Hierarchy Process*”). **Fonte:** modificado de Saaty, 1987.

Os critérios são então classificados de acordo com a sua importância para o tomador de decisão a partir da atribuição de pesos (**Tabela 7**). Em seguida, as opções de escolha são comparadas a partir da combinação da avaliação e combinação dos critérios. Por exemplo, com relação ao critério **localização**, as opções são classificadas em função de sua relevância com relação ao critério em questão. Após a classificação de todas as opções pelos critérios, é feito o cálculo final para hierarquização das opções selecionadas.

Tabela 7: Ponderação de atributos do método “*Analytic Hierarchy Process*”.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância.	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de um sobre outro.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre outra.
5	Forte importância.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre outra.
7	Importância muito forte.	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente importante.	A evidência que favorece uma atividade sobre outra é da mais alta ordem possível de afirmação.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre duas sentenças adjacentes.	Quando ajustes/avaliações são necessários.

Fonte: modificado de Saaty (1987).

Conforme exposto, ambos os métodos se utilizam da ponderação de atributos para a classificação dos diferentes fatores e critérios para a determinação de uma “questão”, seja ela referente aos impactos ambientais potenciais de um empreendimento ou a tomada de decisão/escolha de uma escola. Dessa forma, observa-se a versatilidade do método, que pode ser empregado em diferentes áreas com objetivos distintos, como é o caso da avaliação da suscetibilidade de áreas sujeitas à ocorrência de corridas de detritos.

Kanji e Gramani (2001) utilizaram a ponderação de atributos para avaliação da suscetibilidade de bacias à ocorrência de corridas de detritos na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira. Foram feitas a atribuição de pesos, classes e atributos utilizando fatores para a ocorrência de corridas de detritos (ex. chuva, inclinação da encosta, declividade do canal, área da bacia, altura da encosta) para determinar a suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos (**Tabela 8**). Para o cálculo final da suscetibilidade foram multiplicados o Peso e a Nota Final (NP) e estipulados intervalos para determinação da suscetibilidade (**Tabela 9**). Os autores verificaram que o método proposto se mostrou representativo ao ser aplicado para alguns casos reais, demonstrando a eficácia da utilização da ponderação de atributos na determinação da suscetibilidade das bacias.

Tabela 8: Fatores, classes, pesos (P), atributos e notas parciais (NP) utilizados para avaliação da suscetibilidade de uma área com relação a corridas de detritos.

FATORES	CLASSE	PESO (P)	ATRIBUTOS	NOTA PARCIAL (NP)
Chuva (R) (mm/h)	R1	3	>80	10
	R2		60-80	6,6
	R3		30-60	3,3
	R4		<30	0
Inclinação da Encosta (S) (°)	S1	2,5	>45	10
	S2		45-30	6,6
	S3		15-30	3,3
	S4		<15	0
Declividade do canal (D) (°)	D1	0,5	>25	10
	D2		15-25	6,6
	D3		10-15	3,3
	D4		<10	0
Área da Bacia (A) (km ²)	A1	1	<5	10
	A2		5-10	6,6
	A3		10-20	3,3
	A4		>20	0
Altura da Encosta (H) (m)	H1	1	>750	10
	H2		500-750	6,6
	H3		200-500	3,3
	H4		<200	0
Uso e ocupação/vegetação (V) (% da área ocupada ou desmatada)	V1	0,5	90-100	10
	V2		50-90	6,6
	V3		30-50	3,3
	V4		<30	0
Aspectos geológicos (G)	G1	1,5	G1	10
	G2		G2	6,6
	G3		G3	3,3
	G4		G4	0

Fonte: Kanji e Gramani (2001).

Tabela 9: Intervalos propostos para determinação de suscetibilidade.

Intervalos	Designações
80 – 100 →	Muito alta
60 – 80 →	Alta
40 – 60 →	Média
20 – 40 →	Baixa
0 – 20 →	Muito baixa

Fonte: Kanji e Gramani (2001).

4. ÁREA DE ESTUDO: SERRA DO MAR (CARAGUATATUBA/SP)

4.1. Características geológicas-geomorfológicas e climáticas

A Serra do Mar é uma formação geológico-geomorfológica localizada no litoral sul e sudeste do Brasil, se estendendo por aproximadamente 1.500 km entre os Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, possuindo direção geral ENE, acompanhando as estruturas do Escudo Atlântico (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998; IPT, 2002). Sua origem está relacionada a eventos de soerguimento da crosta e erosão da superfície que datam do período Cretáceo, configurando a região hoje denominada como escarpa de falha (VIEIRA E GRAMANI, 2015).

Em sua porção localizada no litoral norte de São Paulo (**Figura 14**), a Serra do Mar possui escarpas com altitudes entre 800 e 1.100 metros, com embasamento litológico que data do período pré-cambriano, formado predominantemente por rochas ígneas e metamórficas (AB'SABER, 1956; ALMEIDA, 1974). De acordo com Perrotta *et al.* (2005), a litologia da Serra do Mar, na região de Caraguatatuba, é composta pela unidade granitos foliados calcialcalinos, do Complexo do Pico do Papagaio e pela unidade granito gnáissica migmatítica, do Complexo Costeiro, formada pelas rochas hornblenda-biotita gnaiss, granitoide porfiróide e augen gnaiss (**Figura 15**). A região também apresenta ocorrência de muitas falhas e fraturas, com orientação geral NE-SW, que indicam um alto controle estrutural (CRUZ, 1974).

Figura 14: Vista da Serra do Mar, em Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo. **Fonte:** Dias, V. C. (Foto).

Da mesma forma, Ab'Saber (1956) sinaliza as diferenças entre a Serra do Mar dos litorais sul e norte do Estado de São Paulo, com planícies mais amplas e ondulações mais suaves no primeiro, e esporões e maciços rochosos atingindo diretamente as águas oceânicas, com faixa litorânea menor, no segundo. Tais diferenças se devem às diferenças litológicas, com

rochas mais resistentes à erosão no litoral norte. Segundo Ross e Moroz (1997) e IPT (1981), o relevo predominante da área é composto pelas unidades: escarpas festonadas, escarpas com espigões digitados, morros paralelos, montanhas com vales profundos e planícies costeiras.

Figura 15: Mapa geológico de Caraguatatuba. **Fonte:** modificado de Perrotta *et al.* (2005).

A região da Serra do Mar, em Caraguatatuba foi compartimentada por Cruz (1974), em três zonas principais: planaltos serranos, escarpas costeiras e planícies costeiras. O planalto serrano é composto por formas mamelonares com espesso manto de regolito e restos de detritos mais grosseiros; nas escarpas costeiras predominam áreas de desgaste, com grande dinamização geomorfológica e alta influência estrutural, sendo as formas mais comuns cristas, colos, vales em V e anfiteatros; já nas planícies costeiras, há o predomínio de deposição, com menor dinamização geomorfológica e maior ocupação humana e processos antrópicos.

A região também se caracteriza por ser uma área com elevado índice pluviométrico (**Figura 16**), sendo comuns chuvas torrenciais, em especial, nos meses de novembro a março, durante o período de verão. Além disso, também ocorrem chuvas orográficas devido à presença da serra, que funciona como uma barreira para os ventos úmidos oriundos do oceano (IPT, 2002; PELLEGGATTI E GALVANI, 2010; SANTOS E GALVANI, 2012).

Figura 16: Isoietas de precipitação médias anuais de Caraguatatuba, de 1977 a 2006. **Fonte:** CPRM.

Devido a tais características, é frequente na Serra do Mar a deflagração de movimentos de massa, em especial, corridas de detritos e escorregamentos (**Tabela 10**) (LOPEZ *et al.* 1995; IPT, 2002; 2006; VIEIRA E GRAMANI, 2015), com destaque para o evento de 1967, em Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo.

Tabela 10: Ocorrência de movimentos de massa na Serra do Mar. Os valores para área, velocidade e volume se referem ao processo de corridas de detritos.

ANO	LOCAL (Estado)	Chuva	Area (Km ²) Speedy (m/s) Volume (m ³)	PERDAS (nº mortes); outros danos
1928	Mont Serrat (SP)	-	Vol:> 1x10 ⁵	(60); destruição da Santa Casa
1958	Mont Serrat (SP)	-	-	(43); destruição de 100 casas
1966	Rio de Janeiro (RJ)	-	-	(100)
1967	Serra das Araras (RJ)	275mm/24h	Vol:> 10x10 ⁶	(1200); > 100 casas destruídas, danos em rodovias, destruição da usina hidrelétrica
	Caraguatatuba (SP)	420mm 586mm/48h	Vol:> 7,6x10 ⁶	(120); 400 casas destruídas, danos em rodovias
1971	Ferrovia Santos-Jundiaí (SP)	-	Vol:1x10 ⁵ (estimado)	Viaduto de aço destruído, obras de estabilização de encostas
1974	Tubarão (SP)	394mm/ 72h 742mm/16 dias	-	(195); área urbana inundada
1975- 1976	Grota Funda (SP)	-	S:8,4 Vol:> 10x10 ⁶	Pilares da ponte ferroviária danificados
1976	Rio Cachoeira (SP)	276mm/24h	A:4 Vol:1x10 ⁵	Inundação nas indústrias, duas barragens de terra e alvenaria foram construídas
1988	Cubatão (SP)	-	-	(10)
	Petrópolis (RJ)	145mm/24h 414mm/144h	-	(171); 5 mil desabrigados, 1,100 moradias interditadas
	Rio de Janeiro (RJ)	-	-	(~300); destruição de dezenas de moradias
1994	Cubatão (SP)	60mm/24h	A:2,64 S:10 Vol:3x10 ⁵	Inundação da Refinaria da Petrobrás, interrupção das operações e limpeza (US\$ 44mi)
1996	Cubatão (SP)	-	A: 2,64 S: > 10 Vol.: 1,6x10 ⁴	Trabalhos de limpeza
	Rodovia Oswaldo Cruz (SP)	10 mm/10 min 442 mm/13 h	-	Rodovia danificada, obras de estabilização de encostas, Estação de Captação de água afetada
	Bacia do Rio Papagaio (RJ)	202mm/24h	A: 2,13 Vol.: 9x10 ⁴	(1);centenas de casas destruídas
	Bacia do Rio Quitite (RJ)	202mm/24h	A: 2,53 Vol.: 4x10 ⁴	Casas destruídas
	Rio de Janeiro (RJ)	-	-	(54)
1999	Rodovia Anchieta (SP)	128mm/24h 274mm/72h	Vol.:3x10 ⁵	200 m de área afetada, tráfego interrompido por várias semanas, Estação de Captação afetada
2002	Petrópolis (RJ)	-	-	(88)
2008	Santa Catarina (SC)	720 mm/72h	-	(135); 80,000 desalojados/desabrigados, 85 municípios em situação de emergência
2010	Angra dos Reis (RJ)	-	-	(53)
	Rio de Janeiro	-	-	(253)
2011	Córrego Dantas (RJ)	269mm/72h	A: 52	(429); 3, 220 desaparecidas, 2,031 desalojados, desabrigados e muitos prejuízos econômicos
	Córrego Vieira (RJ)	269mm/72h	A: 33	
	Córrego da Posse (RJ)	92,6mm/72h	A: 12	(343); 9,110 desaparecidas, desalojados, 6,727 desabrigados e inúmeros prejuízos
	Córrego do Cuiabá (RJ)	35,8mm/72h	A: 36	(71); 6,223 desaparecidos, desalojados, 191 desabrigados e inúmeros prejuízos
	Antonina (PR)	-	-	(4)
2013	Córrego do Pilões (SP)	23mm/10min 115min/1h 273mm/09h	-	Danos a reservatório de água, cilindros de cloro e estrada de serviço destruídos,

Fonte: Vieira e Gramani (2015).

4.2. Evento de 1967

No verão de 1966-1967, a cidade de Caraguatatuba foi atingida por elevado volume de chuvas torrenciais. Os totais pluviométricos atingiram um estágio crítico no mês de março, chegando a 945,6 mm. Nos dias 17 e 18 de março de 1967, quando a precipitação chegou a 586 mm em 48h (**Figura 17**), houve a deflagração de centenas de escorregamentos nas encostas e corridas de detritos em diversas bacias hidrográficas (**Figura 18 A e B**). O material oriundo dos escorregamentos atingiu as drenagens e o alto volume hídrico transportou-os em direção a jusante, atingido a área urbana do município, causando a morte de 120 pessoas e a destruição de 400 casas, além de danos à infraestrutura urbana, como a rodovia Tamoios (**Figura 18 C e D**) (CRUZ, 1974; DE PLOEY E CRUZ, 1979). O tipo de material transportado pelas corridas de detritos foi desde rochas até grandes árvores. Para os escorregamentos, Petri e Suguio (1971) calcularam um total movimentado de aproximadamente 2 milhões de toneladas.

Figura 17: Isoietas aproximadas da chuva de 17/18 de março de 1967, na Serra de Caraguatatuba.

Figura 18: Escorregamentos e corridas de detritos deflagradas em 1967 em Caraguatatuba (A e B). Destaque para a Rodovia Tamoios, que sofreu danos causados pela ocorrência de escorregamentos nas encostas (C). A figura D mostra casas destruídas pelos materiais transportados pelas corridas de detritos, que alcançaram a planície e região urbana. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

4.3. Características das corridas de detritos e morfologia dos depósitos em Caraguatatuba

A **Tabela 11**, elaborada com base no trabalho realizado por Cruz (1974), apresenta uma síntese sobre as ocorrências do dia 18 de março de 1967, dividindo as ocorrências em três fases: 1ª. Enchente Inicial, 2ª. Escorregamentos, 3ª. “Debris Flows” ou Corridas de Detritos, e 4ª. Enchente por bloqueio.

Tabela 11: Síntese das fases da catástrofe na cidade de Caraguatatuba no ano de 1967 devido a chuvas muito violentas.

FASE	DENOMINAÇÃO	SÍNTESE DO EVENTO
Dia 18	Primeiras horas da manhã	Começaram a cair as primeiras barreiras. Às 13 horas, veio a avalanche total de pedras, árvores e lama dos morros do Cruzeiro, Jaraguá e Jaguarazinho, enquanto outra frente se abria no vale do Rio Santo Antônio.
1ª FASE	Enchente Inicial (12:00 - 16:00 horas)	Nível do Rio Santo Antônio se elevou em alguns metros e em alguns pontos a água extravasou nas margens, forçando a população a procurar lugares mais seguros. Este fato auxiliou muitas pessoas a salvarem suas vidas antes da 2ª FASE.
2ª FASE	Escorregamentos (16:00 - 16:30 horas)	Fase crítica dos escorregamentos, pois alguns já tinham ocorrido. Escorregamentos generalizados. A superfície de ruptura atingia, na maior parte dos casos, a rocha sã, expondo muitas cicatrizes. Volumes mobilizados são citados no texto.
3ª FASE	"DEBRIS FLOWS" (16:15 - 17:00 horas)	Os escorregamentos que atingiram as linhas de drenagem foram mobilizados (solo, rocha, árvore, água) canalizados, retidos e acumulados em barramentos naturais. Com o aumento do material acumulado e aumento da pressão, ocorreu o rompimento violento destes, gerando "debris flow". Segundo testemunhas, o fato foi precedido de forte barulho (~trovão), com o material movimentando-se em forma de onda. Próximo a Caraguatatuba, transformou-se num "mud-flow", ou "wood-flood".
4ª FASE	Enchente por bloqueio (17:00 - 18:00 horas)	A ponte metálica localizada próximo a desembocadura do Rio Santo Antônio foi completamente bloqueada por troncos de árvores, trazidos pelos "debris flows", formando um represamento natural, originando uma enchente de grandes dimensões. A região a montante transformou-se num imenso reservatório de água e sedimentos em suspensão. Como consequência, a ponte entrou em colapso e liberou o material.

Fonte: Gramani (2001).

A partir desta síntese, é possível verificar que as corridas de detritos ocorridas no evento de 1967 foram iniciadas a partir da deflagração de escorregamentos nas encostas e do aporte

deste material nas drenagens, já saturadas devido ao elevado volume pluviométrico (CRUZ, 1974). Há, inclusive, registros e relatos que o material transportado pelas corridas atingiram não só a parte urbana do município (localizado na planície) mas também que os sedimentos chegaram até o oceano. Dessa forma, é importante ressaltar que as corridas de detritos ocorridas no município possuem algumas características específicas quando comparadas com os exemplos presentes na literatura, onde as corridas, em geral, estão relacionadas a bacias pequenas, de zero ordem, não atingindo os canais principais.

As corridas de detritos de 1967 se caracterizam também pela presença de grandes blocos e matéria orgânica (troncos de árvores) (**Figuras 19, 20 e 21**), que tornaram as mesmas potencialmente mais destrutivas quando comparada à outras tipologias caracterizadas pelo transporte de materiais mais finos, como as corridas deflagradas em áreas vulcânicas (Lahars), compostas por sedimentos mais finos oriundos das cinzas do vulcão. Grandes áreas planas foram tomadas pelos blocos e troncos transportados pelas corridas, com tamanhos diversos, capazes, inclusive de destruir construções de alvenaria e arrastar veículos (**Figuras 22, 23 e 24**).

Figura 19: Depósitos de corridas de detritos, com destaque para os grandes blocos transportados pelo processo. Destaque para o tamanho dos blocos em comparação às pessoas. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Figura 20: Troncos transportados pelas corridas de detritos. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Figura 21: Blocos e troncos transportados pelas corridas de detritos. Detalhe para o tamanho do bloco em comparação às pessoas. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Figura 22: Depósitos das corridas de detritos. Os blocos se depositaram nas porções mais planas do relevo, próximo aos cursos d'água (A). Destaque para o tamanho dos blocos (B). **Fonte:** CRUZ (1974).

Figura 23: Casa destruída pela corrida de detritos. Destaque para os materiais diversos (troncos, blocos e etc) depositados na frente da casa. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Figura 24: Construções em alvenaria e ponte destruídos, as margens do Rio Santo Antônio, uma das bacias mais atingidas por corridas de detritos. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Os depósitos das corridas de detritos se concentraram nas áreas mais planas do relevo e nas laterais dos canais de drenagem. Conforme exposto anteriormente, os materiais transportados foram blocos de diversos tamanhos e matéria orgânica (troncos de árvores) e as evidências do evento (depósitos) ainda podem ser encontrados na paisagem. Devido às diferenças quanto ao uso e ocupação, algumas áreas do município possuem depósitos mais preservados, como é o caso das bacias Pau d’alho e Ribeirão da Aldeia, ambas localizadas em área privada, na Fazenda Serramar (**Figura 25**), e da bacia Camburu, já na divisa do município com São Sebastião (**Figura 26**). As bacias localizadas próximas à região central do município sofreram mais alterações e possuem depósitos de corridas de detritos menos preservados em comparação às outras, como é o caso das bacias Guaxinduba (**Figura 27**) e Santo Antônio. As duas bacias são citadas por Cruz (1974) como as mais atingidas e apesar de ainda possuírem evidências do evento, sofreram mais alterações antrópicas e atualmente encontram-se densamente ocupadas.

As mudanças antrópicas não são as únicas a contribuírem para as mudanças na paisagem, a cobertura vegetal característica do ambiente tropical se regenera rapidamente e também colabora com a ocultação das evidências das corridas de detritos. Muitas vezes, os com o passar do tempo, blocos são totalmente ou parcialmente cobertos pela vegetação, não estando

evidentes na paisagem, sendo necessárias escavações para a localização dos depósitos. No município vizinho à Caraguatatuba, São Sebastião, as obras da Rodovia Nova Tamoios revelaram depósitos de corridas de detritos pretéritos, após a realização de escavações na área para a construção da rodovia (**Figura 28**). Dessa forma, conforme o exposto, as dificuldades e limitações relacionadas à identificação das características de um evento ocorrido há 50 anos devem ser levadas em consideração.

Figura 25: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Pau d'alho, em Caraguatatuba/SP.

Figura 26: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Camburu, em Caraguatatuba/SP. Destaque para a presença de matéria orgânica (troncos) junto aos blocos.

Figura 27: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Guaxinduba, em Caraguatatuba/SP. Em destaque, a localização dos blocos em meio a vegetação, e ao centro, moradia localizada em meio aos blocos.

Figura 28: Depósitos de corridas de detritos exumados devido às obras da Rodovia Nova Tamoios, em São Sebastião/SP.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS

Para alcançar o objetivo principal desta pesquisa (**Figura 29**), primeiramente foram selecionadas bacias hidrográficas com ocorrência de corridas de detritos (5.1), e identificados os parâmetros morfológicos (5.2); foi definida a magnitude das corridas de detritos e morfologia dos depósitos nas bacias (5.3); e, por fim, foi elaborado o índice de potencial de magnitude e suscetibilidade a corridas de detritos (5.4).

Figura 29: Etapas metodológicas da pesquisa.

5.1. Seleção de bacias hidrográficas

A partir de trabalhos de campo realizados no município de Caraguatatuba e com base nas informações de Cruz (1974) a respeito do evento de 1967, foram selecionadas quatro bacias hidrográficas com ocorrência de corridas de detritos, evidenciada pela presença de depósitos (**Figura 30**), as bacias do rio Santo Antônio, Guaxinduba, Ribeirão da Aldeia e Pau d’alho (**Figura 31**).

Figura 30: Localização das bacias selecionadas para análise no município de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo.

Figura 31: Depósito de corrida de detritos na bacia do Pau d'alho. Fonte: Gramani, M. (foto).

A bacia do Guaxinduba (**Figura 32**) foi intensamente afetada por escorregamentos no evento de 1967, evidenciada pela grande quantidade de cicatrizes nas encostas. Além disso, foram identificados em campo grandes depósitos de corridas de detritos.

Figura 32: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Guaxinduba.

A bacia do Santo Antônio é referenciada na literatura como a bacia mais atingida por corridas de detritos e escorregamentos no evento de 1967, com registro do alargamento do rio principal em cerca de 30 metros (CRUZ, 1974). Trata-se ainda da bacia onde está localizado o centro urbano do município, intensamente atingido no evento. Por meio de vistoria de campo, foi possível identificar a presença de depósitos de corridas de detritos, corroborando os registros da época (**Figura 33**).

Figura 33: Depósito de corridas de detritos observados na bacia do Santo Antônio. **Fonte:** Gomes, M. C. V. (Foto).

Diferentemente das bacias anteriores, as bacias do Ribeirão da Aldeia e Pau d'alho não possuem acesso livre, estando localizadas no interior da fazenda Serramar, o que contribuiu para a manutenção dos depósitos na área, que não sofreram intervenções antrópicas desde o evento de 1967, diferentemente das demais bacias. O relatório do IPT (2006) realizado para subsidiar a escolha da localidade para construção da Unidade de Tratamento de Gás (UTG) da Petrobras, do gasoduto Mexilhão, em Caraguatatuba, indicou que a área da fazenda, conforme já exposto por Cruz (1974), foi intensamente atingida por corridas de detritos, como pode ser observado no mapa de isoespessura de sedimentos (**Figura 34**).

Dessa forma, foram selecionadas a bacia Pau d'alho, na qual está localizado os dutos pelos quais são transportados os gases para a unidade de tratamento (**Figura 35 e 36**) e a bacia Ribeirão da Aldeia (**Figura 37**), localizada na porção leste da fazenda, ambas com presença de depósitos de corridas de detritos significativos.

Figura 34: Mapa de isoespessuras elaborado para a área da Fazenda Serramar, em Caraguatatuba/SP. **Fonte:** modificado de IPT (2006).

Figura 35: Duto de gás contruído na bacia do Pau d'alho (A), conforme indicação na **Figura 34**. Detalhe para a construção para reter materias já parcialmete obstruída por troncos (B). **Fonte:** Gramani, M. F. (Fotos).

Figura 36: Depósito localizado na bacia do Pau d'alho, conforme indicação na Figura 34. **Fonte:** Gramani, M. F. (Foto).

Figura 37: Depósitos com grandes blocos na bacia do Ribeirão da Aldeia. **Fonte:** Gramani, M. F. (Foto).

5.2. Mapeamento dos parâmetros morfológicos

Os parâmetros morfológicos foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação de resolução (30 m) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA (**Figura 38**) e base hidrográfica em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Foram selecionados os seguintes parâmetros para análise: índice de rugosidade, índice de circularidade, relação de relevo, densidade de drenagem, perfil longitudinal, declividade média do canal, amplitude altimétrica, área acima de 25°/ângulo, e curvatura, conforme pode ser observado na **Tabela 12**.

Figura 38: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA (Município de Caraguatatuba/SP).

Tabela 12: Parâmetros morfológicos selecionados para avaliação das bacias hidrográficas.

Parâmetro	Fonte do Dado	Ferramenta Utilizada
Índice de Rugosidade (<i>Ir</i>)	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada.	<i>Field Calculator</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Índice de Circularidade (<i>Ic</i>)	Carta Topográfica Digitalizada.	<i>Field Calculator</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Relação de Relevo (<i>Rr</i>)	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada.	<i>Field Calculator e Measure</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Densidade de Drenagem (<i>Dd</i>)	Carta Topográfica Digitalizada.	<i>Field Calculator</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Hierarquia de Drenagem (<i>H</i>)	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada.	<i>Spatyal Analyst Tools/ Surface: Hydrology e Stream Order</i> (ArcGIS 10.2.).
Perfil Longitudinal	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada.	<i>3D Analyst Tools – Functional Surface: Interpolate Shape e Profile Graph</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Declividade Média do Canal	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada.	<i>3D Analyst Tools – Functional Surface: Add Surface Information</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Amplitude Altimétrica (<i>AA</i>)	SRTM.	<i>Field Calculator</i> (ArcGIS 10.2.).
Área acima de 25°/Ângulo (<i>A25/A</i>)	SRTM.	<i>Spatyal Analyst Tools - Surface: Slope / Zonal: Zonal Histogram</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .
Curvatura (<i>C</i>)	SRTM; Carta Topográfica Digitalizada (para verificação classificação das classes de curvaturas).	<i>Spatyal Analyst Tools - Surface: Curvature / Zonal: Zonal Histogram</i> (ArcGIS 10.2.); <i>Software Excel</i> .

5.3. Caracterização morfológica dos depósitos e definição da magnitude das corridas de detritos de 1967

A identificação dos depósitos das corridas de detritos foi feita para as três novas bacias selecionadas (Santo Antônio, Ribeirão da Aldeia e Pau d’alho) por meio de trabalhos de campo e da digitalização e interpretação do mapa elaborado por Cruz (1974). Para classificação dos depósitos, foi utilizado o mesmo método de classificação dos depósitos utilizado por Dias *et al.* (2016), baseada em Stoffel (2010). Este método tem como base o mapeamento do tamanho dos blocos em campo (**Figura 39**). Também foi elaborada uma ficha de classificação dos depósitos para aplicação em campo, onde são identificadas as características dos depósitos (presença de imbricamento, inversão granulométrica, etc.), o tamanho dos blocos (pequeno, médio, grande ou muito grande) e demais informações (croqui, outras características, etc.) (**Figura 40**).

Figura 39: Classificação dos depósitos em quatro categorias: S, M, L e XL.

Mapeamento da Morfologia dos Depósitos de Corridas de Detritos

Nº de cadastro: _____ Data: ____/____/____

Coordenadas UTM: _____

Altimetria: _____ Acesso: _____

Localização: _____

Características do Depósito

Blocos com Imbricamento	S	N
Inversão Granulométrica	S	N
Blocos Muito Grandes	S	N
Depósitos do Tipo "Ondas Laterais"	S	N
Matéria Orgânica	S	N

Tamanho dos Blocos dos Depósitos

Pequenos	Médios	Grandes	Muito Grandes
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1; border: 1px solid black; margin-right: 10px;"></div> <div> <p style="text-align: center;">Outras Observações</p> <hr/> <hr/> <hr/> </div> </div>			

Figura 40: Ficha de classificação da morfologia dos depósitos de corridas de detritos.

Jakob (2005) propôs uma classificação das consequências potenciais associadas a corridas a partir da avaliação do volume total mobilizado, pico máximo de vazão, e/ou a área de inundação (**Tabela 13**). Tendo em vista que se trata de uma análise de um evento ocorrido há mais de 50 anos e que dados precisos a respeito do volume total mobilizado e pico máximo de vazão de cada bacia com relação às corridas de detritos são imprecisos ou até mesmo inexistentes de forma acurada, optou-se pela metodologia de área inundada (m^2), na qual é levado em consideração o alcance total da corrida de detritos na bacia, ou seja, a área total inundada ou atingida (JAKOB, 2005). Para a sua determinação, além de trabalhos de campo para identificação de depósitos do processo, foram utilizados os mapeamentos de áreas atingidas por movimentos de massa em 1967, de Cruz (1990), e a carta geomorfológica da região de Caraguatatuba, também de Cruz (1974), sobretudo para as bacias Guaxinduba, Santo Antônio e Pau d' alho (**Figuras 41, 42 e 43, respectivamente**). Para a bacia do Ribeirão da Aldeia, devido a indisponibilidade de mapeamentos pretéritos para a área, a determinação do alcance foi feita majoritariamente por meio de trabalhos de campo.

Tabela 13: Metodologia de classificação de magnitude de corridas de detritos proposta por Jakob (2005).

CLASSIFICAÇÃO DE MAGNITUDE DE CORRIDAS DE DETRITOS				
Nível	Volume (m ³)	Pico de Vazão (m ³ /s)*	Área inundada (m ²)*	Consequências Potenciais
1	< 10 ²	< 5	< 4 x 10 ²	Dano muito localizado em pequenas construções.
2	10 ² - 10 ³	5 - 30	4 x 10 ² - 2 x 10 ³	Pode enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens.
3	10 ³ - 10 ⁴	30 - 200	2 x 10 ³ - 9 x 10 ³	Pode destruir grandes construções, destruir pontes de concreto, bloquear ou danificar estradas e dutos.
4	10 ⁴ - 10 ⁵	200 - 1.500	9 x 10 ³ - 4 x 10 ⁴	Pode destruir partes de um vilarejo, destruir parte de infraestruturas, pontes e bloquear canais.
5	10 ⁵ - 10 ⁶	1.500 - 12.000	4 x 10 ⁴ - 2 x 10 ⁵	Pode destruir partes de uma cidade, destruir florestas de 2km ² de área, bloquear canais e pequenos rios.
6	10 ⁶ - 10 ⁷	N/A	> 2 x 10 ⁵	Pode partes de uma cidade, entulhar vales ou depósitos de mais de 10 km ² de tamanho, criar barragens de materiais em rios (bloqueio).
7	10 ⁷ - 10 ⁸	N/A	N/A	Pode destruir partes de uma cidade, obstruir vales, com depósitos de mais de 10 km ² em tamanho e criar barragens de materiais em rios (bloqueio).
8	10 ⁸ - 10 ⁹	N/A	N/A	Pode destruir cidades e inundar grandes vales, com depósitos maiores de 100 km ² de tamanho, criar barragens de materiais em rios (bloqueio).
9	10 ⁹ - 10 ¹⁰	N/A	N/A	Destruição vasta e completa por mais de centenas de km ² .
10	> 10 ¹⁰	N/A	N/A	Destruição vasta e completa por mais de centenas de km ² .

*Dados específicos para corridas de detritos com blocos (não vulcânicas). N/A: sem observação destas magnitudes para corridas de detritos com grandes blocos.

Fonte: Modificado de Jakob (2005).

Figura 41: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1974) e a bacia do Guaxinduba, mostrando a alcance da corrida de detritos na bacia.

Figura 42: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1974) e a bacia do Santo Antônio, mostrando a alcance da corrida de detritos na bacia.

Figura 43: Sobreposição do mapa geomorfológico elaborado por Cruz (1990) e a bacia do Pau d'alho, mostrando o alcance da corrida de detritos na bacia.

5.4. Elaboração de índice de potencial de magnitude e suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos

O índice de potencial de magnitude e suscetibilidade foi elaborado com base na metodologia de Saaty (1987), de hierarquização e classificação, e na metodologia de ponderação de atributos de Sánchez (2011), para classificação e atribuição de pesos. Foi utilizado como fator norteador da classificação os resultados referentes à relação entre os parâmetros mais significativos nas bacias classificadas como de maior magnitude (**Figura 44**).

Figura 44: Hierarquização e classificação dos parâmetros segundo metodologia de Saaty (1987).

Em cada bacia, foi feita a classificação da importância do parâmetro com base na classificação de magnitude da bacia, ou seja, os parâmetros com valores mais críticos nas bacias de maior magnitude foram considerados de importância “**Muito Forte**”; já os parâmetros com valores menos críticos foram considerados como de importância “**Fraca**” ou “**Muito Fraca**”, e assim por diante (**Figura 45**).

IMPORTÂNCIA	
Muito Fraca	1
Fraca	2
Moderada	3
Forte	4
Muito Forte	5

Figura 45: Modelo de classificação de importância em 5 categorias.

Após a classificação da importância dos parâmetros, foi feita a seleção daqueles que apresentaram resultados mais significativos (de importância moderada a muito forte) para compor o índice de potencial de magnitude e suscetibilidade. Por fim, foram atribuídos pesos aos parâmetros mais relevantes, novamente considerando os resultados de magnitude das bacias. Com base em uma **avaliação qualitativa** e também na proposta de ponderação de Kanji e Gramani (2001), foram feitas a classificação dos parâmetros em **intervalos** (valores mais críticos a menos críticos) e a **atribuição de nota** (variando de 2,5 a 10) para cada intervalo, para posterior ponderação e classificação final das bacias segundo o índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.

6. RESULTADOS

6.1. Parâmetros morfológicos

De forma geral, todas as bacias apresentaram condições propícias à ocorrência de corridas de detritos, como ângulo acima de 25° e disponibilidade de sedimentos para transporte, conforme verificado na literatura (COSTA, 1984; TAKAHASHI, 2007), e demonstrados pelos resultados dos parâmetros índice de circularidade, índice de rugosidade, relação de relevo, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, declividade média do canal principal, área da bacia acima de 25°, hierarquia, perfil longitudinal e curvatura.

O parâmetro *índice de circularidade* (I_c) apresentou-se abaixo de 0,5 para todas as bacias, indicando predomínio do formato alongado, com média geral de 0,35 (**Figura 46**). As bacias do Guaxinduba e Pau d'alho foram as mais críticas, respectivamente 0,26 e 0,28. Já as bacias Ribeirão da Aldeia e Santo Antônio apresentaram os valores mais próximos de 0,5 e 0,43. Dessa forma, as bacias mais alongadas foram a Guaxinduba e a Pau d'alho, enquanto que as bacias Ribeirão da Aldeia e Santo Antônio estão mais próximas do formato arredondado

Figura 46: Resultados do parâmetro Índice de Circularidade.

O parâmetro *índice de rugosidade* (I_r) apresentou valores altos para todas as bacias (acima de 2.000), com média geral de 2.589,23 (**Figura 47**). As bacias Guaxinduba e Pau d'alho e Ribeirão da Aldeia apresentaram os valores mais críticos, 3.444,1, 2.610,6 e 2.247,42,

respectivamente. A bacia do Santo Antônio apresentou o valor mais baixo, 2.054,8, no entanto, ainda podendo ser considerado alto. Os resultados indicaram que todas as bacias possuem um alto potencial de produção de sedimentos, com destaque para a Guaxinduba.

Figura 47: Resultados do parâmetro Índice de Rugosidade.

O parâmetro **relação de relevo (R_r)** apresentou valores altos para as bacias, com média alta de 93,82 (**Figura 48**). As bacias Ribeirão da Aldeia, Santo Antônio e Pau d'alho apresentaram os maiores valores, 111,91, 94,34 e 91,27, respectivamente. Já a bacia do Guaxinduba apresentou o menor valor, 77,76, muito abaixo das demais bacias. Os resultados indicam que as bacias Ribeirão da Aldeia, Santo Antônio e Pau d'alho possuem maior potencial de transporte e escoamento em comparação com a bacia do Guaxinduba.

Figura 48: Resultados do parâmetro Relação de Relevo.

Com relação ao parâmetro *densidade de drenagem* (Dd), todas as bacias apresentaram valores elevados, com média geral de 2,58 (**Figura 49**). As bacias Ribeirão da Aldeia, Pau d'alho e Santo Antônio apresentaram resultados próximos, 2,47, 2,27 e 2,2, respectivamente. A bacia do Guaxinduba apresentou o maior valor, 3,41, muito acima das demais bacias. Os resultados indicam que todas as bacias possuem alto potencial de transporte e escoamento.

Figura 49: Resultados do parâmetro Densidade de Drenagem.

O parâmetro *amplitude altimétrica* (AA) apresentou valores elevados para todas as bacias, ou seja, acima de 900 metros, com média geral de 1.001,11 (**Figura 50**). A bacia Pau d'alho apresentou o maior valor de amplitude altimétrica, com 1.150, seguida pelas bacias Guaxinduba, Santo Antônio e Ribeirão da Aldeia, com os valores 1.010, 934 e 910, respectivamente. Observa-se a pequena diferença entre os valores das bacias. Os resultados indicam que todas as bacias possuem uma elevada variação altimétrica, característica de relevos escarpados, contribuindo para maior potencial de transporte e escoamento das bacias.

Figura 50: Resultados do parâmetro Amplitude Altimétrica.

Com relação ao parâmetro *declividade média do canal* (DMC), os valores obtidos foram medianos para todas as bacias, com média geral de 11,66° (**Figura 51**). A bacia Pau d'alho apresentou o maior valor, 14,12°, enquanto as demais bacias apresentaram valores semelhantes, com pouca variação, em especial para as bacias Santo Antônio e Ribeirão da Aldeia, com os valores 11,24° e 11,23°, respectivamente. A bacia Guaxinduba apresentou o menor valor, 10,05°. Os resultados mostraram que as bacias possuem declividade do canal principal mediana, não apresentando valores críticos (ex. > 25°).

Figura 51: Resultados do parâmetro Declividade Média do Canal.

A *área da bacia acima de 25° (A25)* e *ângulo (A)* mostraram que todas as bacias possuem elevada porcentagem de área com ângulo acima de 25°, com média geral 31,74% (**Figura 52**). A bacia Ribeirão da Aldeia apresentou a maior porcentagem, 36%, seguida pelas bacias Guaxinduba e Santo Antônio, com os valores 31% e 30%, respectivamente. A bacia Pau d'alho obteve o menor valor, 28%. Os resultados mostraram que todas as bacias possuem aproximadamente 1/3 de sua área localizada em áreas com ângulo acima de 25°, tornando-as áreas potenciais para a deflagração de processos de movimentos de massa e também contribuindo para um maior potencial de transporte de materiais e escoamento.

Os mapas de ângulo das bacias (**Figuras 53 e 54**) demonstram espacialmente as características apresentadas. Destaca-se que todas as bacias possuem uma área menos declivosa no centro da bacia ($< 10^\circ$), onde a maior parte dos fluxos convergem, já na drenagem principal da bacia. Destaca-se aqui as bacias Santo Antônio e Guaxinduba.

Figura 52: Resultados do parâmetro Área acima de 25°.

Figura 53: Mapa de ângulo das encostas para as bacias Santo Antônio (1) e Guaxinduba (2).

Figura 54: Mapa de ângulo das encostas para as bacias Pau d'alho (1) e Ribeirão da Aldeia (2).

Os parâmetros resultados da *hierarquia de drenagem* (*H*) foram elevados para todas as bacias, com média geral 49,75 (**Figura 55**). A bacia com maior valor foi a Santo Antônio, seguida pela bacia Guaxinduba, com os valores de 62 e 52, respectivamente. As bacias Ribeirão da Aldeia e Pau d'alho apresentaram valores menores e muito próximos, 43 e 42, respectivamente. Os resultados indicaram que as bacias Santo Antônio e Guaxinduba possuem maior magnitude do ponto de vista de escoamento e tributários a contribuírem com a chegada de fluxo no canal principal da bacia. Dessa forma, tratam-se de bacias com maior potencial de transporte e escoamento em comparação às demais bacias, apesar destas também possuírem valores elevados de hierarquia.

Figura 55: Resultados do parâmetro Hierarquia de Drenagem.

Os resultados do *perfil longitudinal (PL)* mostraram que todas as bacias possuem rupturas de declive próximas a cota 800 metros. As bacias Pau d'alho e Ribeirão da Aldeia possuem 4 rupturas expressivas ao longo do perfil, nas cotas 800, 500, 200 e 100, aproximadamente; já as bacias Guaxinduba e Santo Antônio possuem 3 rupturas expressivas ao longo do perfil, nas cotas 800, 300 e 100, aproximadamente. Destaca-se que as rupturas nas cotas mais elevadas (800 e 500 metros) estão localizadas no limite de mudança de declividade, onde o ângulo passa a ser mais acentuado ($> 25^\circ$), contribuindo para o abrupto desnível, em especial nos perfis das bacias Guaxinduba, Santo Antônio e Pau d'alho (**Figura 56**).

Destaca-se que, no caso das últimas bacias citadas, as rupturas estão localizadas no gráfico na mesma cota, indicando controle estrutural similar, representada pela presença de falhas e fraturas, uma vez que se tratam de bacias contíguas. A presença de rupturas de declive indica áreas preferenciais para acúmulo de sedimentos e materiais diversos (ex. troncos, blocos), que podem ser remobilizados na ocorrência de processos hidrodinâmicos na bacia, como é o caso das corridas de detritos. Os perfis apresentaram elevado gradiente altimétrico, com destaque para as bacias Santo Antônio e Guaxinduba.

A bacia Santo Antônio apresentou gradiente altimétrico de 326 m de altitude a cada 1.000 m/1 km de distância, já a bacia Guaxinduba apresentou gradiente similar, porém um pouco menor, 300 m de altitude a cada 1.000 m/1 km de distância. As bacias Pau d'alho e

Ribeirão da Aldeia apresentaram valores duas vezes menores, 160 m de altitude a cada 1.000 m/1 km e 114 m de altitude a cada 1.000 m/1 km, respectivamente. Observa-se que para a bacia Ribeirão da Aldeia, o gradiente altimétrico foi quase 3 vezes menor do que o encontrado na bacia Santo Antônio (**Figura 56**). Os resultados indicam um maior potencial de transporte de materiais e alcance das corridas de detritos nas bacias Santo Antônio e Guaxinduba em comparação às bacias Pau d'alho e Ribeirão da Aldeia. Por tratar-se de um processo induzido, sobretudo, pela gravidade, o maior gradiente altimétrico pode contribuir para maior velocidade e alcance das corridas, culminado com possível maior magnitude do processo.

Figura 56: Resultados do parâmetro Perfil Longitudinal.

Por fim, com relação à *curvatura* (*C*), todas as bacias apresentaram valores semelhantes quanto à porcentagem de curvatura do tipo côncava (**Figuras 57 e 58**). A bacia Ribeirão da Aldeia apresentou o maior valor (30,32%) seguida pelas bacias Pau d'alho (29,59%) e Guaxinduba (26,36%). A bacia Santo Antônio apresentou o menor valor (20,48%). Os resultados indicaram que, do ponto de vista da concentração de fluxos, a bacia Ribeirão da

Aldeia se mostrou mais favorável ao aporte de sedimentos oriundos de fluxos das encostas no canal principal da bacia, em uma situação de saturação do solo nessas áreas, contribuindo para a maior magnitude e intensidade dos processos hidrodinâmicos na bacia.

Figura 57: Mapa de curvatura das encostas e gráficos para as bacias Santo Antônio (1) e Guaxinduba (2).

Figura 58: Mapa de curvatura das encostas e gráficos para as bacias Pau d'alho (1) e Ribeirão da Aldeia (2).

6.2. Morfologia dos depósitos e magnitude das corridas de detritos

A magnitude das corridas foi verificada a partir da avaliação das características dos depósitos (morfologia), com base na metodologia de Dias *et al.* (2016), e na área de atingimento, baseada em Jakob (2005). Todas as bacias apresentaram depósitos de corridas de detritos compostos por blocos de tamanhos pequeno à muito grandes. Já com relação à área de atingimento, as bacias se diferenciaram quanto ao nível de magnitude, com destaque para as bacias Santo Antônio, Guaxinduba e Pau d’alho, que apresentaram as maiores magnitudes.

6.2.1. Morfologia dos depósitos

A bacia Ribeirão da Aldeia apresentou depósitos compostos por blocos de tamanho pequeno a muito grandes (**Figura 59**) e área de deposição ampla em porção mais suave do relevo, ângulo de $0 - 10^\circ$ (**Figuras 60, 61 e 62**). Destaque para a presença de inversão granulométrica e a presença de blocos de tamanho $> 2,5$ m de diâmetro (**Figuras 63 e 64**) e concentração dos depósitos próximos à rede de drenagem.

Figura 59: Depósitos de corridas de detritos na bacia Ribeirão da Aldeia. **Fonte:** Gramani, M. F.

Figura 60: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Ribeirão da Aldeia.

Figura 61: Depósitos de corridas de detritos na bacia Ribeirão da Aldeia. **Fonte:** Gramani, M. F.

Figura 62: Depósitos de corridas de detritos localizados em área de deposição ampla em porção mais suave do relevo. **Fonte:** Gramani, M. F.

Figura 63: Blocos de tamanho "Muito Grandes" localizados na margem esquerda do canal, na bacia Ribeirão da Aldeia.

Figura 64: Blocos de tamanho "Muito Grandes" localizados no rio principal, na bacia Ribeirão da Aldeia. **Fonte:** Gramani, M. F. (foto).

A bacia Pau d'alho apresentou depósitos compostos por blocos de tamanhos pequeno a muito grandes, concentrados próximos à drenagem principal, em área com ângulo entre 0 – 10°

(Figuras 65, 66 e 67). Em função das características morfológicas da bacia, os depósitos verificados apresentaram aspecto diverso das demais bacias. O formato alongado da bacia em relevo escarpado pode ter favorecido a concentração dos depósitos na drenagem principal, formando depósitos na margem direita, sob as árvores, com morfologia predominantemente do tipo “ondas laterais” (Figuras 68 e 69). Destaca-se também a presença de inversão granulométrica (Figura 70) e blocos muito grandes ($> 2,5$ metros de diâmetro) (Figura 71).

Figura 65: Depósitos de corridas de detritos localizados na margem direita do rio principal, na bacia Pau d'alho, conforme indicação das setas (depósitos: vermelho / direção do rio: azul).

Figura 66: Depósitos de corridas de detritos na bacia do Pau d'alho.

Figura 67: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia do Pau d'alho.

Figura 68: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, conforme destacado na figura.

Figura 69: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, as margens do rio principal **Fonte:** Gramani, M. F. (foto).

Figura 70: Depósitos de corridas de detritos do tipo "ondas laterais", sob as árvores, com destaque para a presença de inversão granulométrica.

Figura 71: Depósitos de corridas de detritos compostos por blocos de tamanho "muito grandes".

A bacia Guaxinduba apresentou depósitos compostos por blocos de tamanho pequeno a muito grandes, concentrados em uma área de menor ângulo no centro da bacia, próximos à drenagem principal (**Figura 72**), formando patamares nas margens da drenagem (**Figuras 73, 74 e 75**). Trata-se de uma área muito alterada devido à ocupação. Destaca-se a presença de blocos de tamanho muito grande ($> 2,5$ metros de diâmetros) (**Figura 76**), sendo, inclusive utilizados em residências como parte das construções ou como decoração paisagística (**Figuras 77 e 78**), e também a presença de inversão granulométrica (**Figura 79**).

Figura 72: Depósitos de corridas de detritos localizados no rio principal, na bacia Guaxinduba.

Figura 73: Depósitos de corridas de detritos formando patamares ao longo das margens do rio, na bacia Guaxinduba.

Figura 74: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Guaxinduba.

Figura 75: Depósitos de corridas de detritos formando patamares ao longo das margens do rio, na bacia Guaxinduba (A, B e C). Detalhe para a distância do rio em relação à localização dos depósitos (A) e (B).

Figura 76: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" localizado na bacia Guaxinduba.

Figura 77: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" localizado dentro de residência, na bacia Guaxinduba.

Figura 78: Depósito composto por bloco de tamanho "muito grande" sendo utilizado como parte da construção de muro de residência, na bacia Guaxinduba.

Figura 79: Depósito de corridas de detritos com presença de inversão granulométrica, na bacia Guaxinduba.

Por fim, a bacia do Santo Antônio apresentou depósitos compostos por blocos de tamanho pequeno a muito grandes, concentrados na bifurcação dos canais de quarta ordem da esquerda e da direita e culminando na drenagem principal e em sua planície de inundação, nas áreas de menor ângulo (**Figuras 80 e 81**). Destaca-se também a presença de inversão granulométrica e imbricamento dos blocos (**Figuras 82, 83, 84 e 85**), além da presença de blocos muito grandes ($> 2,5$ metros de diâmetros) (**Figuras 86**).

Figura 80: Depósito de corridas de detritos localizado no rio principal da bacia Santo Antônio. **Fonte:** GPMorfo (foto).

Figura 81: Mapa de ângulo e localização dos depósitos na bacia Santo Antônio.

Figura 82: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio (A). Detalhe para a presença de inversão granulométrica (B). **Fonte:** GPMorfo (foto).

Figura 83: Depósito de corridas de detritos com presença de bloco de tamanho “muito grande”, na bacia Santo Antônio (A). Detalhe para a presença de inversão granulométrica (B). **Fonte:** GPMorfo (foto).

Figura 84: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio. Detalhe para a presença de imbricamento dos blocos (círculo), além da inversão granulométrica (setas). **Fonte:** GPMorfo (foto).

Figura 85: Depósito de corridas de detritos na bacia Santo Antônio. Detalhe para a presença de imbricamento dos blocos (círculo), além da inversão granulométrica (setas). **Fonte:** GPMorfo (foto).

Figura 86: Depósito de corrida de detrito composto por blocos de tamanho "muito grandes" na bacia Santo Antônio. **Fonte:** GPMorfo (foto).

6.2.2. Magnitude das corridas de detritos

A classificação apresentou **6 níveis** de magnitude, sendo **6** maior magnitude possível e **1** a menor magnitude, com diferentes **consequências potenciais** de acordo com o nível de magnitude (**Tabela 14**).

Tabela 14: Classificação de magnitude de corridas de detritos segundo o critério "área inundada".

CLASSIFICAÇÃO DE MAGNITUDE DE CORRIDAS DE DETRITOS		
Nível	Área inundada (m ²)	Consequências Potenciais
1	$< 4 \times 10^2$	Dano muito localizado em pequenas construções.
2	$4 \times 10^2 - 2 \times 10^3$	Pode enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens.
3	$2 \times 10^3 - 9 \times 10^3$	Pode destruir grandes construções, destruir pontes de concreto, bloquear ou danificar estradas e dutos.
4	$9 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	Pode destruir partes de um vilarejo, destruir parte de infraestruturas, pontes e bloquear canais.
5	$4 \times 10^4 - 2 \times 10^5$	Pode destruir partes de uma cidade, destruir florestas de 2km ² de área, bloquear canais e pequenos rios.
6	$> 2 \times 10^5$	Pode destruir partes de uma cidade, entulhar vales ou depósitos de mais de 10 km ² de tamanho, criar barragens de materiais em rios (bloqueio).

Fonte: Modificado de Jakob (2005).

A bacia Santo Antônio apresentou a maior magnitude, sendo classificada como de nível 3, seguida pelas bacias do Guaxinduba e Pau d'alho, classificadas como de nível 2. A bacia Ribeirão da Aldeia foi classificada com magnitude de nível 1 (**Tabela 15**).

A **Figura 87** apresenta a área inundada de cada bacia, utilizada para a classificação da magnitude, onde é possível observar de forma mais precisa as diferenças quanto ao alcance das corridas em cada bacia, sendo possível verificar o maior espreadimento dos fluxos nas bacias Santo Antônio e Guaxinduba, e o fluxo mais concentrado nas bacias Pau d'alho e Ribeirão da Aldeia. Observa-se que apesar de estarem classificadas no mesmo nível de magnitude, a área inundada da bacia Pau d'alho é menor do que a bacia do Guaxinduba, ficando entre esta última e a bacia Ribeirão da Aldeia.

Tabela 15: Classificação da magnitude das corridas de detritos segundo metodologia de área inundada de Jakob (2005).

BACIA	MAGNITUDE
Santo Antônio	3
Guaxinduba	2
Pau d'alho	2
Ribeirão da Aldeia	1

Figura 87: Mapa de magnitude das corridas de detritos nas bacias segundo a área inundada.

6.3. Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade

O índice de potencial de magnitude e suscetibilidade foi elaborado com base nos resultados obtidos dos parâmetros morfológicos e da classificação da magnitude das corridas de detritos nas bacias segundo a metodologia de Jakob (2005). Para isso, foi feita a hierarquização dos parâmetros mais relevantes nas bacias de acordo com a magnitude do evento, indicando o grau de importância que cada parâmetro obteve em cada bacia, **muito fraca (1), fraca (2), moderada (3), forte (4) ou muito forte (5)** (Tabela 16).

É importante salientar aqui que, a menor importância de determinado parâmetro em uma bacia não significa que o mesmo, em geral, seja considerado baixo, apenas indica que o parâmetro não apresentou um valor crítico capaz de influenciar na magnitude das corridas de detritos.

Tabela 16: Hierarquização dos parâmetros morfológicos.

CLASSIFICAÇÃO DE MAGNITUDE	3	2	2	1
BACIA / PARÂMETRO	SANTO ANTÔNIO	GUAXINDUBA	PAU D'ALHO	RIBEIRÃO DA ALDEIA
<i>Ic</i>	5	3	1	1
<i>Ir</i>	2	4	3	2
<i>Rr</i>	3	2	3	3
<i>Dd</i>	3	4	3	3
<i>AA</i>	2	2	2	2
<i>DMC</i>	1	1	2	1
<i>A25</i>	3	3	3	4
<i>H</i>	5	4	3	3
<i>PL</i>	5	5	3	2
<i>C</i>	1	1	1	1

Dessa forma, considerando as bacias Santo Antônio e Guaxinduba, classificadas com maiores magnitudes, obtiveram importância “**muito forte**” os parâmetros com resultados mais críticos; da mesma forma, observou-se que os mesmos parâmetros obtiveram valores mais baixos nas bacias classificadas como de menor magnitude. Alguns parâmetros, como *declividade média do canal (DMC)* e *curvatura (C)* apresentaram resultados pouco expressivos nas bacias, sendo classificados como de importância “**muito fraca**” ou “**fraca**”. Tais parâmetros foram excluídos do índice de potencial de magnitude e suscetibilidade, justamente por apresentarem pouca importância para as diferenças de magnitude entre as bacias. O parâmetro índice de circularidade também foi excluído do índice, pois apresentou resultados ambíguos nas bacias. Consequentemente, os parâmetros que compõe o índice de potencial de

magnitude e suscetibilidade são: *perfil longitudinal (PL)*, *hierarquia de drenagem (H)*, *densidade de drenagem (Dd)*, *área da bacia acima de 25° (A25)*, *índice de rugosidade (Ir)* e *relação de relevo (Rr)*.

Foi aplicada a metodologia de **ponderação de atributos** para a elaboração do índice. Para os parâmetros mais relevantes nas bacias de maior magnitude foram atribuídos pelo maior, diminuindo em relação aos parâmetros com menor relevância, ou seja, valores menos críticos. O parâmetro *Perfil longitudinal (PL)* foi atribuído com **peso 3**, seguido para o parâmetro *Hierarquia (H)*, com **peso 2,5**. Aos parâmetros *Densidade de drenagem (Dd)* e *Área acima de 25° (A25)* foram atribuídos **pesos 2 e 1,5**, respectivamente. Por fim, os parâmetros *Índice de rugosidade (Ir)* e *Relação de relevo (Rr)* foram ambos atribuídos com **peso 0,5**. A soma total dos pesos dá o valor 10. Cada parâmetro possui **4 classes**, as quais variam de acordo com o **intervalo** (resultado) do parâmetro em cada bacia e à nota atribuída ao mesmo, sendo a **nota mínima 2,5** e a **nota máxima 10** (Tabela 17).

Tabela 17: Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.

PARÂMETRO	PESO	INTERVALO	NOTA	CLASSE
<i>PL</i>	3	< 150	2,5	1
		150 - 200	5	2
		200 - 250	7,5	3
		>250	10	4
<i>H</i>	2,5	< 20	2,5	1
		20 - 40	5	2
		40 - 60	7,5	3
		> 60	10	4
<i>Dd</i>	2	< 1,5	2,5	1
		1,5 - 2,5	5	2
		2,5 - 3,5	7,5	3
		> 3,5	10	4
<i>A25</i>	1,5	< 15	2,5	1
		15 - 25	5	2
		25 - 35	7,5	3
		> 35	10	4
<i>Ir</i>	0,5	< 1.500	2,5	1
		1.500 - 2.000	5	2
		2.000 - 3.000	7,5	3
		> 3.000	10	4
<i>Rr</i>	0,5	< 60	2,5	1
		60 - 80	5	2
		80 - 100	7,5	3
		> 100	10	4

Dessa forma, para realizar a classificação da bacia, verifica-se o resultado obtido para o parâmetro em questão, o intervalo no qual o resultado faz parte e respectiva nota e efetua-se a **multiplicação** do **peso** pela **nota**. Dessa forma, de acordo com a soma final das notas obtidas para cada parâmetro, é feita a classificação da bacia no **Índice de potencial de magnitude**, variando de potencial **muito baixo** a potencial **muito alto** (**Tabela 18**). Com base nos resultados obtidos na avaliação da magnitude das corridas de detritos, definiu-se para cada nível possíveis danos potenciais. As consequências potenciais foram estabelecidas com base na metodologia de Jakob (2005), tendo sido realizadas algumas alterações nas categorias **alto** e **muito alto**. Destaca-se que aqui não foi estabelecido uma área de inundação/atingimento.

Tabela 18: Potencial de magnitude e suscetibilidade (níveis de classificação).

Total	Classificação	Consequências potenciais
> 90	Muito alto	Pode destruir partes de uma cidade, destruir parte de infraestruturas, pontes, bloquear canais, entulhar vales e criar barragens de materiais nos rios.
85 - 90	Alto	Pode destruir partes de um vilarejo, destruir parte de infraestruturas, pontes e bloquear canais e pequenos rios.
75 - 85	Intermediário	Pode destruir grandes construções, destruir pontes de concreto, bloquear ou danificar estradas e dutos.
65 - 55	Pré-Intermediário	Pode enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens.
55 - 45	Baixo	Danos localizados à pequenas construções próximas às drenagens e na planície de inundação.
> 45	Muito Baixo	Danos localizados à pequenas construções próximas às drenagens.

Por fim, foi feita a classificação das bacias segundo o índice proposto, chegando à ordenação apresentada na **Tabela 19**. Buscou-se aqui que as classificações das bacias refletissem os resultados referentes à magnitude e aos parâmetros, ou seja, a bacia Santo Antônio, com base nos resultados, deveria obter uma classificação maior do que as demais bacias. Da mesma forma, a bacia Ribeirão da Aldeia deveria obter uma classificação menor do que todas as demais bacias. Dessa forma, como pode ser observado na Tabela 19, a bacia Santo Antônio apresentou maior valor final (83,75) do que a bacia Guaxinduba (82,5), apesar de ambas serem classificadas aqui no nível **Intermediário**. A bacia Pau d'alho, por sua vez, apresentou valor final superior à bacia Ribeirão da Aldeia (56,25), sendo classificada no nível

Pré-intermediário. Já a bacia Ribeirão da Aldeia obteve o valor final mais baixo (53,75), sendo classificada no nível **Baixo**.

Tabela 19: Classificação das bacias segundo o Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade.

Santo Antônio	Guaxinduba	Pau d'alto	Ribeirão da Aldeia
30	30	15	7,5
25	18,75	12,5	12,5
10	15	10	10
11,25	11,25	11,25	15
3,75	5	3,75	3,75
3,75	2,5	3,75	5
83,75	82,5	56,25	53,75
Intermediário	Intermediário	Pré-Intermediário	Baixo

Dessa forma, conforme a classificação das bacias segundo o índice de potencial de magnitude e suscetibilidade, as bacias com maior potencial de magnitude e mais suscetíveis à ocorrência de corridas de detritos foram a Santo Antônio e a Guaxinduba, seguidas pelas bacias Pau d'alto e pela bacia Ribeirão da Aldeia, que obteve menor classificação.

7. DISCUSSÕES

7.1. Parâmetros morfológicos

Os resultados dos parâmetros (**Figura 88**) expressaram a suscetibilidade da área à ocorrência de corridas de detritos, no entanto, no que diz respeito à presença de valores críticos relacionados às bacias classificadas como de maior magnitude, alguns parâmetros se destacaram. Os parâmetros *perfil longitudinal (PL)*, *relação de relevo (Rr)*, *amplitude altimétrica (AA)* e *declividade média do canal (DMC)* demonstram o gradiente altimétrico da bacia. As corridas de detritos são processos induzidos, sobretudo, pela gravidade (COSTA, 1984), portanto, observa-se que o maior gradiente altimétrico possui relação intrínseca com a maior magnitude e alcance das corridas, uma vez que esta percorrerá uma distância maior, agregando mais materiais ao fluxo e aumentando o seu poder destrutivo. Hungr *et al.* (2005) indicam a importância do arrastamento no processo de corridas de detritos, uma vez que, quanto maior o percurso percorrido pela corrida, maior tende a ser o arrastamento, ou seja, aumenta-se a quantidade de materiais agregados à massa em movimento. Dessa forma é significativo que as bacias com maior magnitude sejam aquelas que apresentam valores mais críticos. O parâmetro *AA*, as bacias apresentaram valores semelhantes, indicando as características gerais de uma área suscetível à deflagração de corridas de detritos, porém, sem valores críticos que pudessem indicar influência nas diferenças de magnitude. O parâmetro *DMC*, no entanto, apresentou valores abaixo de 25° para todas as bacias. Já com relação aos parâmetros *PL* e *Rr*, valores críticos foram observados.

Com relação ao parâmetro *Rr*, apesar de todas as bacias terem apresentado um valor elevado, a bacia que apresentou o valor mais crítico foi a Ribeirão da Aldeia, avaliada como de menor magnitude, e o valor menos crítico foi observado na bacia Guaxinduba, classificada com maior magnitude em comparação à bacia Ribeirão da Aldeia. Chen e Yu (2011) consideraram que valores elevados de relação de relevo contribuem para maior volume de materiais nos canais, ou seja, maior mobilização de materiais, no entanto, apesar deste parâmetro ter influenciado a deflagração do processo, este não contribuiu de forma determinante para uma maior magnitude. Já o parâmetro *PL* apresentou valores mais críticos para as bacias Santo Antônio e Guaxinduba, bacias classificadas com maior magnitude, com gradiente altimétrico quase 3x maior do que a bacia Ribeirão da Aldeia, com menor valor, e 2x maior do que a bacia Pau d'alho. Dessa forma, conclui-se a importância do parâmetro nas diferenças de magnitude de corridas de detritos, uma vez que o maior gradiente altimétrico contribui para o seu maior arrastamento e alcance, conforme já indicado por Hungr *et al.*, (2005).

Figura 88: Resultados dos parâmetros morfológicos, com exceção dos mapas de curvatura e ângulo.

Os parâmetros *densidade de drenagem* (*Dd*) e *hierarquia de drenagem* (*H*) demonstram a capacidade de escoamento das bacias, ou seja, quanto maior a densidade e hierarquia, mais intensos serão os fluxos e processos hidrodinâmicos deflagrados nas bacias perante um evento climático extremo. Autores como Johnson *et al.*, (1991), Augusto Filho (1993), Jakob (1996), Wilford *et al.* (2004) e Dias *et al.* (2016) utilizaram a *Dd* em seus estudos referentes às corridas de detritos justamente por este se tratar de um processo onde é necessária abundante disponibilidade de água para a sua deflagração (COSTA, 1984). Dessa forma, bacias mais bem drenadas possuem maior capacidade de escoamento e transporte. Os resultados mostraram que, em geral, todas as bacias possuem densidade elevada, com destaque para a bacia Guaxinduba. As bacias Santo Antônio, Pau d’alho e Ribeirão da Aldeia obtiveram valores mais baixos e muito próximos. Já com relação ao parâmetro *H*, as bacias Santo Antônio e Guaxinduba se destacaram com os maiores valores, enquanto as bacias Pau d’alho e Ribeirão da Aldeia obtiveram valores menores e muito próximos. Portanto, observando os resultados, verifica-se a importância da hierarquia de drenagem na magnitude do processo. A maior hierarquia significa maior número de canais e maior escoamento da bacia. Dessa forma, as bacias com maior valor do parâmetro apresentaram maior magnitude do processo, ou seja, maior alcance.

Os parâmetros *área acima de 25°* (*A25*) e *ângulo* (*A*) demonstram as características do relevo da bacia, ou seja, se este é mais ou menos escarpado. Por se tratar de um processo induzido, sobretudo, pela gravidade, verifica-se a importância dos parâmetros. Costa (1984), VanDine (1985), VanDine (1996) e Takahashi (2007) indicam como um dos fatores primordiais para a ocorrência de corridas de detritos o ângulo $> 25^\circ$, inclusive sendo utilizado no manual elaborado pela Thurber Consultants Ltd. (1983) para verificação do potencial de ocorrência de corridas de detritos. Kanji e Gramani (2001), Wilford *et al.* (2004), Chen e Yu (2011) verificaram o ângulo de suas respectivas áreas de estudo para a avaliação das corridas de detritos com diferentes objetivos. Visando a determinação da suscetibilidade a corridas de detritos em bacias de primeira ordem, Kanji e Gramani (2001) utilizaram o ângulo como um dos critérios para avaliação. Os autores identificaram os valores de ângulo entre 30° - 45° nas encostas nas bacias avaliadas. É importante ressaltar aqui que, diferentemente desta pesquisa, que avaliou as bacias em Caraguatatuba como um todo, os autores avaliaram sub-bacias, visando a definição do maior ou menor potencial de deflagração das mesmas, ou seja, a suscetibilidade. Da mesma forma, Wilford *et al.* (2004), visando identificar diferentes tipos de processos hidrodinâmicos apenas utilizando parâmetros morfológicos avaliaram a porcentagem de área das bacias em três diferentes ângulos, 30° , 35° e 40° . No entanto, assim como Kanji e Gramani (2001), os autores

avaliaram bacias de primeira ordem. Chen e Yu (2011), por sua vez, avaliaram as corridas de detritos ocorridas em Taiwan estabelecendo o intervalo de 27° a 38° como valores críticos. Os resultados dos autores encontraram valores de ângulo acima do verificado na literatura, entre 30° e 42°. Os resultados da avaliação dos parâmetros A_{25}/A indicaram que todas as bacias avaliadas possuem quase 1/3 de sua área total localizados em áreas cima de 25°, indicando a suscetibilidade das áreas à ocorrência de corridas de detritos. Destacam-se as bacias Ribeirão da Aldeia, Guaxinduba e Santo Antônio. Observa-se que, no entanto, a bacia com menor magnitude obteve o maior valor, demonstrando que, apesar de possuir grande influência no estabelecimento de áreas suscetíveis, o parâmetro não obteve resultados tão significativos e críticos nas bacias classificadas com maior magnitude.

O parâmetro *índice de circularidade* (I_c) apresenta significados distintos quanto à sua influência na suscetibilidade e magnitude das bacias em relação às corridas de detritos. Segundo Crozier (1983), o formato alongado ($I_c < 0,5$) é mais favorável à deflagração de corridas de detritos em ambiente escarpado, já Augusto Filho (1993) indica o formato arredondado ($> 0,5$) como fator crítico na ocorrência do processo, uma vez que favorece a ocorrência de cheias relâmpagos devido ao maior escoamento na bacia. Dias *et al.*, (2016) verificaram diferenças quanto ao índice em duas bacias de diferentes magnitudes. A bacia de maior magnitude foi classificada com $I_c < 0,5$, indicando formato alongado, já a bacia com menor magnitude apresentou $I_c > 0,5$. Os resultados obtidos mostraram valores discrepantes nas bacias com relação ao parâmetro. Todas as bacias apresentaram valores $< 0,5$, ou seja, predomínio do formato alongado, no entanto, a bacia classificada com maior magnitude, Santo Antônio, não apresentou valor mais crítico, ficando próximo de 0,5, 0,43, mesmo valor obtido pela bacia Ribeirão da Aldeia, classificada com menor magnitude. As bacias Guaxinduba e Pau d'alho apresentaram os valores mais críticos, 0,26 e 0,28, respectivamente, no entanto, observa-se que no quesito magnitude, a bacia Pau d'alho está mais próxima à bacia Ribeirão da Aldeia, apesar de estar no nível 2 de magnitude, juntamente com a Guaxinduba. Os resultados demonstram justamente a variabilidade do parâmetro I_c , não sendo possível a indicação de um único formato como o mais crítico à ocorrência de corridas de detritos de maior magnitude.

Por fim, os parâmetros *índice de rugosidade* (I_r) e *curvatura* (C) indicam a capacidade maior ou menor da bacia na produção de sedimentos e transporte. De Scally *et al.* (2001) encontraram correlação moderada entre o I_r e a área dos depósitos, e chegaram à conclusão de que bacias com maior I_r tem potencial maior para deflagração de corridas de detritos, justamente por estarem mais propensas à produção de sedimentos para transporte. Da mesma forma, o parâmetro C , em especial a predominância do formato côncavo, também favorece os

processos de escoamento, além de serem áreas potencialmente mais suscetíveis para a deflagração de escorregamentos (MONTGOMERY E DIETRICH, 1994). Os resultados obtidos para *I_r* mostraram que todas as bacias apresentaram valores elevados, demonstrando a potencialidade das bacias para a produção de sedimentos, e consecutivamente, suas suscetibilidade para a deflagração de corridas de detritos, no entanto, a bacia Guaxinduba se destaca com o maior valor, seguida pelas bacias Pau d'alto e Ribeirão da Aldeia. A bacia Santo Antônio apresentou o menor valor, indicando menor influência do parâmetro nas diferenças de magnitude. Com relação a *C*, a bacia que apresentou a maior porcentagem de encostas do tipo côncavo foi a Ribeirão da Aldeia, com 30,32%, seguida pela bacia Pau d'alto. A bacia Santo Antônio apresentou o menor valor, 20,48, seguida pela bacia Guaxinduba, com 26,36. Os resultados mostraram que o parâmetro pouco influenciou nas diferenças de magnitude das bacias, uma vez que a bacia com maior magnitude apresentou o menor valor, enquanto que a bacia com menor magnitude apresentou o maior valor.

7.2. Morfologia dos depósitos e magnitude das corridas de detritos

Os depósitos encontrados em campo apresentaram todas as características descritas por Johnson (1970), Eisbacher e Clague (1984), Ujueta e Mojica (1995) e Jakob (2005), com destaque para a inversão granulométrica, o imbricamento dos blocos e depósitos do tipo ondas laterais, além da presença de blocos muito grandes (**Figura 89**).

Já com relação à magnitude, a metodologia de classificação de Jakob (2005) se mostrou eficiente, uma vez que as **consequências potenciais** previstas foram equivalentes aos danos relatados nas bacias na ocasião do evento de 1967. Os danos previstos para a bacia Santo Antônio, classificada como de **nível 3**, foram a “destruição de grandes construções, destruição de pontes de concreto, bloqueio ou danos a estradas e dutos”, o que realmente foi verificado nos registros do evento, onde ocorreram a destruição de ponte e construções de concreto, além de danos à rodovia Tamoios. Já as bacias Guaxinduba e Pau d’alho, classificadas como de **nível 2**, apresentaram danos mais localizados, compatíveis com as consequências previstas, descritas como podendo enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens”. Foi, inclusive, feito pelo IPT (2006) um relatório para a construção da Unidade de Tratamento de Gás da Petrobras na área da bacia, levando-se em consideração à suscetibilidade da área para a deflagração de corridas de detritos e formas de proteger os dutos de gás que passariam pela área. Por fim, a bacia Ribeirão da Aldeia obteve a menor classificação de magnitude, **nível 1**, estando previstos “dano muito localizado em pequenas construções”. Foi observado na área apenas uma pequena construção abandonada, talvez na época do evento, indicando que, de fato, o processo decorrido na área foi muito localizado.

Figura 89: Morfologia de depósitos de corridas de detritos identificadas em campo. **Fonte:** Modificado de Eisbacher e Clague (1984) e Ujueta e Mojica (1995).

7.3. Índice de potencial de magnitude e suscetibilidade

Com base nos resultados obtidos com relação aos parâmetros morfológicos e a classificação da magnitude das corridas de detritos, foi elaborado um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade, com o objetivo de facilitar a avaliação de áreas suscetíveis à ocorrência de corridas de detritos e de realizar uma estimativa de magnitude para a área. É importante ressaltar aqui que o índice foi proposto pensando em áreas já identificadas como suscetíveis devido à presença de depósitos de eventos pretéritos, não para a determinação específica de áreas suscetíveis ou não à deflagração de corridas de detritos.

Foram utilizados como referência na elaboração do índice as propostas de Thurber Consultants Ltd. (1983), feita com o objetivo de avaliação de probabilidade de ocorrência de corridas de detritos a partir da verificação da presença de depósitos e características críticas de ocorrência (ex. ângulo $> 25^\circ$), e o índice proposto por Kanji e Gramani (2001), visando a avaliação da suscetibilidade de bacias de primeira ordem à ocorrência de corridas de detritos, além de utilizadas a metodologia de ponderação de atributos e hierarquização dos parâmetros (SÁNCHEZ, 2011; SAATY, 1987).

Tendo em vista os resultados obtidos, o índice elaborado possui foco nos parâmetros que apresentaram valores críticos nas bacias de maior magnitude, no caso Santo Antônio e Guaxinduba, sendo feita uma **avaliação qualitativa** para a determinação dos diferentes pesos para classificação. Dessa forma, conforme explicado por Aleotti e Chowdhury (1998), serviu-se da experiência dos pesquisadores envolvidos nesta pesquisa para a elaboração do índice, o que leva a uma avaliação mais subjetiva dos dados. Portanto, apesar de se mostrar representativo das diferenças de magnitudes nas bacias, é importante pontuar a necessidade de validação do índice, visando o seu aperfeiçoamento e maior confiabilidade para ser utilizado em outras áreas de estudo, não só naquela onde o mesmo foi ajustado.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos parâmetros morfológicos para avaliação da magnitude e suscetibilidade das bacias à ocorrência das corridas de detritos se mostrou eficiente, uma vez que foi possível estabelecer uma relação entre os parâmetros com valores mais críticos e as bacias classificadas com maior magnitude. Da mesma forma, o resultado da classificação da magnitude utilizada foi corroborado pelos registros dos danos provocados pelas corridas de detritos na ocasião do evento de 1967, ficando, dessa forma, os danos potenciais previstos de acordo com os danos que realmente ocorreram em cada bacia.

Com base nos resultados obtidos dos parâmetros morfológicos e a classificação da magnitude das corridas foi possível o estabelecimento de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade, objetivando prever a maior ou menor magnitude de áreas suscetíveis à deflagração de corridas de detritos a partir da avaliação das características morfológicas das bacias. No entanto, destaca-se aqui que se trata de uma avaliação qualitativa, proposta e calibrada para uma área específica, tornando-se necessária a aplicação do índice em outras áreas suscetíveis à ocorrência de corridas de detritos para a sua validação.

Portanto, considera-se que o objetivo desta pesquisa foi alcançado, uma vez que foi verificada a relação entre morfologia e magnitude das corridas de detritos, o que possibilitou a elaboração de um índice de potencial de magnitude e suscetibilidade para a classificação das mesmas segundo suas características morfológicas. Dessa forma, a premissa deste trabalho foi corroborada, uma vez que foi comprovado que algumas características morfológicas das bacias podem influenciar a magnitude das corridas de detritos.

Como dificuldades encontradas durante a realização desta pesquisa, destaca-se a identificação dos depósitos de corridas de detritos em campo, levando-se em consideração que o evento relacionado aos mesmos ocorreu há mais de 50 anos. Foram muito úteis, neste sentido, os trabalhos de Cruz (1974; 1990) e os registros feitos pelo Arquivo Público de Caraguatatuba, indicando a importância do registro das características do evento logo após a sua ocorrência, visando a construção de um banco de dados sólido sobre o processo de cunho nacional.

Destaca-se a contribuição desta pesquisa aos estudos das corridas de detritos, sobretudo sob a perspectiva da geomorfologia, visando uma maior compreensão do processo, no entanto, é importante que mais estudos sejam realizados. Como sugestão para trabalhos futuros sobre o tema, tendo em vista a continuidade e aprofundamento desta pesquisa, destacam-se: i) avaliação das características morfológicas e classificação da magnitude em outras áreas com ocorrência de corridas de detritos e ii) aplicação e validação do índice de potencial de magnitude e

suscetibilidade a corridas de detritos em outras áreas, objetivando o seu aprimoramento e validação.

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A. (1956) **A Terra Paulista**. In: Boletim Paulista de Geografia, nº 23, São Paulo, p. 5 – 85.
2. ALEOTTI, P. e CHOWDHURY, R. (1999). **Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives**. Bull. Eng. Geol. Env. 58, p. 21 – 44.
3. ALMEIDA, F. F. M. (1974) **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Geologia do Estado de São Paulo, nº41, Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo, 179p.
4. ALMEIDA, F.F.M. e CARNEIRO, C. D. R. (1998) **Origem e Evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, p. 135 – 150.
5. ARQUIVO PÚBLICO DE CARAGUATATUBA. (1967) **Catástrofe de 1967 no município de Caraguatatuba**. Caraguatatuba, SP.
6. AUGUSTO FILHO, O. (1992) **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. 1ª Conf. Bras. Estabil. Encostas. ABMS/ABGE. Rio de Janeiro. v.2, p.721 – 733.
7. AUGUSTO FILHO, O. (1993) **O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no município de Ubatuba, SP**. Congr. Bras. Geol. Eng.,7, Poços de Caldas. ABGE. V2, p. 63 – 70.
8. CHEN, C.-Y. e YU, F. -C. (2011) **Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS**. Geomorphology, 129, 387 – 397.
9. COELHO NETTO, A. L. (1994) **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S.B. (Org.) Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93 – 148.
10. COLÂNGELO, A. C. (1995). **Os mecanismos de compensação e o equilíbrio de forças na dinâmica dos materiais de vertente**. Revista do Departamento de Geografia, USP, 9, p. 13 – 20.
11. CHORLEY, R. J. (1971) **A geomorfologia e a teoria dos sistemas gerais**. Notícia Geomorfológica, Campinas, 11 (21): p. 3 – 22.
12. CHRISTOFOLETTI, A. (1980) **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 2ª edição, 200p.

13. COSTA, J. E. (1984) **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.
14. CROZIER, M.J. (1986) **Landslides: causes, consequences and environment**. Croom Helm, 252p.
15. CRUZ, O. (1974) **A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba – SP. Contribuição à geomorfologia litorânea tropical**. Tese de Doutorado. IG – Série Teses e Monografias nº 11, 181p.
16. CRUZ, O. (1990) **Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar**. Revista do IG 11, p. 9 – 20.
17. DE PLOEY, J e CRUZ, O. (1979) **Landslides in the Serra do Mar, Brazil**. Catena 6: p. 111 – 122.
18. DE SCALLY, F., SLAYMAKER, O. e OWENS, I. (2001) **Morphometric controls and basin response in the Cascade Mountains**. Geografiska Annaler, 83 A (3), p. 117 – 130.
19. DIAS, V. C. (2014) **Análise da influência dos parâmetros morfológicos e morfométricos na geração de corridas de detritos em Caraguatatuba (SP)**. Trabalho de Graduação Individual – TGI (Graduação em Geografia). Universidade de São Paulo, 73p.
20. DIAS, V. C., VIEIRA, B. C. e GRAMANI, M. F. (2016) **Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista**. Confins [Online], 29, p. 1 – 18.
21. EISBACHER, G. H. e CLAGUE, J. J. (1984) **Destructive mass movements in high mountains: hazard and management**. Geological Survey of Canada, 230p.
22. GARCIA, M. H. (2008) **Sediment transport and morphodynamics**. In: *Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice* (Ed. García, M. H). Virginia: ASCE, 1132p.
23. GRAMANI, M. F. (2001) **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 375p.

24. GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984) **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Blucher, 2ª edição, 206p.
25. HALL, A. D. e FAGEN, R. E. (1956) **Definition of system**. General Systems Yearbook, v. 1, Ann Arbor, Mich, p. 18 – 28.
26. HORTON, R. E. (1945) **Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin 56, p. 275 – 37.
27. HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M. J.; e HUTCHINSON, J. N. (2001) **A review of the classification of landslides of the flow type**. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. VII, Nº. 3, August 2001, p. 221 – 238.
28. HUNGR, O. MCDOUGALL, S. BOVIS, M. (2005) **Entrainment of material by debris flows**. In: Debris-flow hazards and related phenomena (Eds. Jakob, M. and Hungr, O.). Springer, p. 135 – 158.
29. HUTCHINSON, J. N. (1988) **General Report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology**. Proceedings, Fifyh International Symposium on Landslides (Ed.: Bonnard, C.), 1, 3-35. Rotterdam: Balkema.
30. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (1981) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**.
31. INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS – IPT (2002). **Reconhecimento, caracterização e monitoramento de locais potencialmente sujeitos a instabilizações na Serra do Mar na área de influência dos diversos Sistemas de Captação e Abastecimento de Água e de Tratamento de Esgoto**. São Paulo, 2002. Relatório 59.123.
32. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (2006) **Análise de risco de processos de movimentos de massa e estudos para determinação da cota máxima de inundação para subsidiar a escolha entre as alternativas locais 3A, 4A e 4B da Unidade de Tratamento de Gás do gasoduto Mexilhão, Caraguatatuba, SP**. Relatório Técnico Nº 90 643 – 205.

33. JAKOB, M. (1996) **Morphometric and geotechnical controls on debris flow frequency and magnitude in Southwestern British Columbia**. Ph.D. Dissertation, University of British Columbia, 232p.
34. JAKOB, M. (2005) **Debris-flow hazard analysis**. In: Debris-flow hazards and related phenomena (Eds. Jakob, M. and Hungr, O.). Springer, p. 442 – 474.
35. JOHNSON, A. M. (1970) **Physical Processes in Geology**. A method for interpretation of natural phenomena – intrusions in igneous rocks, fractures and folds, flow of debris and ice. Freeman, Cooper & Company, San Francisco, Califórnia. 577p.
36. JOHNSON, P. A., MCCUEN, R. H., HROMADKA, T. V. (1991) **Magnitude and frequency of debris flow**. Journal of hydrology, 123. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, p. 69 – 82.
37. KANJI, M. A.; GRAMANI, M. F. (2001) **Metodologia para determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos em pequenas bacias hidráulicas**. In: III Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE), 2001, Rio de Janeiro. III Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE). Rio de Janeiro: ABMS / NRRJ, 2001. v. 1.
38. KONAVER, D. J. e SLAYMAKER, O. (2008) **The morphometric and stratigraphic framework for estimates of debris flow incidence in the North Cascades foothills, Washington State, USA**. Geomorphology 99, p. 224 – 245.
39. LOPEZ, A. G.; FREITAS, C. G. L.; BARROS, M.; RODRIGUES, S. T. (1995) **Uso da carta geotécnica no macrozoneamento do Litoral Norte, São Paulo**. Revista do Instituto Geológico, Volume Especial, p. 91 – 97.
40. MELTON, M. A. (1957) **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology**. New York, Columbia University, Department of Geology, Technical Report n° 11, 102p.
41. MILLER, V. C. (1953) **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area**. Technical Report, (3), Dept. Geology, Columbia University.
42. MONTGOMERY, D. R., e W. E. DIETRICH (1994) **A physically based model for the topographic control on shallow landsliding**. Water Resour. Res., 30, 1153 – 1171.

43. MOREIRA, I. C. (2014) **Proposta de metodologia de agregação de atributos e ponderação de valores para avaliação da significância de impactos ambientais.** Revista Brasileira de Meio Ambiente Digital e Sociedade de Informação, Volume 1, nº 2. São Paulo, p. 444 – 461.
44. PARETA, K. e PARETA, U. (2011) **Quantitative morphometric analysis of a watershed of Ymuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS.** International Journal of Geomatics and Geosciences. Volume 2, Nº 1, p. 248 – 269.
45. PELLEGATTI, C. H. G., GALVANI, E. (2010) **Avaliação da precipitação na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidade e duração.** GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, N. 27, p. 147 – 148.
46. PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINHO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA; V. T.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J. V. (2005) **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000.** Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo.
47. PETRI, S. E SUGUIO, K. (1971) **Características granulométrica dos materiais de escorregamentos de Caraguatatuba, São Paulo, como subsídio para o estudo da sedimentação neoceno-zóica do Sudeste Brasileiro.** 25º Congr. Bras. Geol., Bol. Esp. São Paulo, nº 1, p. 199 – 200.
48. ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. (1997) **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** Revista do Departamento de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, p. 41 – 58.
49. SAATY, R. W. (1987) **The analytic hierarchy process – what it is and how it is used.** Math Modelling, Vol. 9, nº 3 – 5, p. 161 – 176.
50. SÁNCHEZ, L. E. (2008) **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 496p.
51. SANTOS, D. D.; GALVANI, E. (2012) **Caracterização sazonal das precipitações no município de Caraguatatuba-SP, entre os anos de 1943 a 2004.** Revista Geonorte, Edição especial 2, v. 1, N. 5, p. 1196 – 1203.
52. SCHUMM, S. A. (1956) **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy.** Geol. Soc. America Bulletin, 67, p. 597 – 646.
53. SELBY, M. J. (1993) **Mass wasting of soils.** In: Hillslope materials and processes. Second Edition. Oxford University Press, Oxford, p. 249 – 355.

54. SHREVE, R. L. (1966) **Statistical law of stream numbers**. Journal of Geology, 74 (1), p. 17 – 37.
55. SHREVE, R. L. (1967) **Infinite topologically random channel networks**. Journal of Geology, 75 (2), p. 178 – 186.
56. SIDLE, C. R.; PEARCE, J. A.; e O'LOUGHLIN, L. C. (1985) **Hillslope stability and land use**. American geophysical Union, IV Title. V. Series: Water Resources Monograph. 11. ISSN 0270-9600 – Washington, D. C. 140p.
57. SLAYMAKER, O. (1990) **Debris torrent hazard in Eastern Fraser and Coquihalla Valleys**. Western Geography, Vol. 1, N. 1, Spring, p. 34 – 48.
58. STOFFEL, M. (2010) **Magnitude-frequency relationships of debris Flow – A case study based on field survey and tree-ring records**. Geomorphology, 116, p. 67 – 76.
59. STRAHLER, A. N. (1952) **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology**. Geological Society of America Bulletin 63 (11): p. 1117 – 1142
60. RILEY, K. L., BENDICK, R., HYDE, K. D., e GABET, E. J. (2013) **Frequency-magnitude distribution of debris flows compiled from global data, and comparison with post-fire debris flows in the western U.S.** Geomorphology 191, p. 118 – 128.
61. TAKAHASHI, T. (1991) **Debris Flow**. IAHR, Monograph. Balkema, Rotterdam. 168p.
62. TAKAHASHI, T. (2007) **Debris Flow: mechanics, prediction and countermeasures**. Taylor & Francis Group, London, UK. 439p.
63. THURBER CONSULTANTS LTD. (1983) **Debris Torrent and Flooding Hazards, Highway 99, Howe Sound**. Report to Ministry of Transport and Highways, Victoria, British Columbia.
64. UJUETA, G. e MOJICA, J. (1995) **Fotointerpretacion y observaciones del flujo de escombros de Noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia)**. GEOLOGIA COLOMBIANA, 1, p. 5 – 25.
65. VANDINE, D. F. (1985) **Debris flows and debris torrentes in the Southern Canadian Cordillera**. Canadian Geotechnical Journal, 22, p. 44 – 67.
66. VANDINE, D. F. (1996) **Debris flow control structures for forest engineering**. Res. Br., B. C. Min. For., Victoria, B. C., Work. Pap. 75p.

67. VARNES, D. J. (1978) **Slope Movement Types and Processes**. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., p. 11 – 33.
68. VIEIRA, B. C VIEIRA, A. C. F. FERNANDES, N. F; e AMARAL, C. P. (1997) **Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e do Papagaio (RJ): Uma abordagem geomorfológica**. 2nd. Pan-American Symposion on Landslides/ 2nd. Brazilian Conference on Slope Stability. p. 165 – 164.
69. VIEIRA, B. C. e GRAMANI, M. F. (2015) **Serra do Mar: the most “tormented” relief in Brazil**. In: Landscapes and Landforms of Brazil, World Geomorphological Landscapes (Ed. Vieira, B. C.; Salgado, A. A. R. e Santos, L. J. C.). Springer, p. 285 – 297.
70. WILFORD, D. J., SAKALS, M. E., INNES, J. L., SIDLE, R. C. e BERGERUD, W. A. (2004) **Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics**. Landslides, p. 61 – 66.
71. ZHANG, H. Y., SHI, Z. H., FANG, N. F. e GUO, M. H. (2015) **Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China**. Geomorphology 234, p. 19 – 27.
72. ZNAMESENSKY, D. (2001) **Corridas de Detritos ou “Debris Flows”: avaliação de parâmetros. Dissertação de mestrado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo, 198p.