

16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

DEPÓSITOS DO FLUXO DE DETRITOS DE 1967 NA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO (CARAGUATATUBA, SP): DELIMITAÇÃO E ELABORAÇÃO DE ISÓPACAS

Claudia Vanessa dos Santos Corrêa ¹; Fábio Augusto Gomes Vieira Reis ²; Lucília do Carmo Giordano ³; Marcelo Gramani ⁴; Victor Carvalho Cabral ⁵; Beatriz Marques Gabelini ⁶

Resumo – Em 18/03/1967 na região de Caraguatatuba (SP) escorregamentos e fluxos de detritos generalizadas foram deflagrados nas encostas da Serra do Mar, em função de fortes chuvas que assolaram a região. Assim, foram mapeadas e identificadas zonas de depósito referentes aos fluxos de detritos do respectivo evento na Bacia do Rio Santo Antônio, além de terem sido inferidas suas espessuras. A identificação e delimitação dos depósitos foram realizadas através do emprego de técnicas de sensoriamento remoto em fotografias aéreas de 1973, complementada por retro-análise, pelo resgate de relatos sobre o evento em dados bibliográficos. As espessuras dos depósitos dos fluxos de detritos de 1967 foram inferidas através dos trabalhos de campo realizados no local, subsidiados pelos relatos presentes na literatura. Foram encontradas 5 zonas de depósitos dos fluxos de detritos, relativos ao evento ocorrido em 1967, distribuídas nos rios tributários e no canal principal da bacia. A configuração do leque de deposição dos fluxos de detritos de 1967 provavelmente se cessou na porção distal do primeiro alvéolo esquerdo da Bacia Santo Antônio (primeiro morro esquerdo da bacia, considerando o sentido litoral- Serra do Mar). Outros autores sugerem outras configurações, porém, acredita-se tenham considerado os processos consequentes que ocorreram no local (fluxo de lama e inundação).

Abstract – On March 18, 1967, in the region of Caraguatatuba (SP), Brazil, landslides and debris flows were triggered on the slopes of Serra do Mar, due to heavy rains that devastated the region. Thus, deposit zones were identified and mapped regarding the debris flows of the respective event in the Santo Antônio River watershed, and their thickness were inferred. The identification and delineation of the deposits were carried out using remote sensing techniques in aerial photos of 1973, complemented by retro-analysis, by the retrieval of reports about the event in bibliographic data. The thicknesses of the deposits of debris flows of 1967 were inferred through the field works carried out in the place, subsidized by the reports present in the literature. Five zones of deposits of debris flows were found, related to the event occurred in 1967, distributed in the tributary rivers and the main channel of the watershed. The configuration of the deposition range of 1967' debris flows probably ceased in the distal portion of the first left alveolus of the Santo Antônio watershed (first left bank of the basin, considering the coastal direction- Serra do Mar). Other authors suggest other configurations; however, it is believed that they have considered the consequent processes that occurred in the place (mud flow and flooding).

Palavras-Chave – Iso-espessura; depósito de fluxo de detritos; Serra do Mar; Caraguatatuba.

¹ Ecóloga e Geógrafa, MSc., Dra., Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais): São José dos Campos -SP, (12) 3205-0142, claudiageobrax@yahoo.com.br/ claudia.correa@cemaden.gov.br

² Geólogo e Engenheiro Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”: Rio Claro -SP, fabioreis@rc.unesp.br

³ Ecóloga e Engenheira Ambiental, MSc., Dra., lcg@ecogeologia.com.br

⁴ Geólogo, MSc., IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo): São Paulo -SP, mgramani@ipt.br

⁵ Geólogo, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”: Rio Claro -SP, victorccb@gmail.com

⁶ Geógrafa, MSc., bgabelini@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os fluxos de detritos são movimentos de massa que se desenvolvem ao longo de redes de drenagem e envolvem fluidos densos, compostos por materiais de diferentes granulometrias e composições, bem como quantidades variáveis de água, identificados como processos naturais constituintes da dinâmica e da modelagem da paisagem (TAKAHASHI, 2014). Caracterizam-se pelo extenso raio de alcance, altas velocidades, altas vazões de pico e elevada capacidade de erosão e força de impacto (GRAMANI, 2001).

As áreas mais susceptíveis a ocorrência desses processos no Brasil estão situadas no sopé da Serra do Mar, da Serra da Mantiqueira e da Serra Geral, e no litoral norte do Estado de São Paulo foi registrado um grande evento de escorregamentos e fluxos de detritos generalizados em 18/03/1967, que afetou a região de Caraguatatuba e São Sebastião, onde se encontra uma malha dutoviária associada a Unidades de Tratamento da Petrobras, outros empreendimentos, estruturas e uma grande área urbana em crescimento.

O mapa de isópacas corresponde ao mapeamento e inferência de depósitos quaisquer e suas respectivas espessuras, através do emprego de fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto, trabalhos de campo e complementação de estudos de retro-análise (CORRÊA, 2018). Segundo Gregoret et al. (2016), o seu conhecimento e identificação é essencial para a compreensão da dinâmica dos fluxos de detritos, uma vez que permite inferir quais são os locais mais afetados por esses processos e quais são as direções preferenciais do seu fluxo. Nery (2016), baseando-se em literaturas a respeito da área de deposição de fluxos de detritos, salientou que o reconhecimento destes fenômenos é realizado pela morfologia do seu depósito, observando um par de diques ou depósitos laterais ao longo do sulco principal e/ou lóbulos frontais no término do trajeto (VAN STEIJN, 1996; IPT, 2002). Segundo Van Steijn (op.cit.) estes elementos podem ser detectados no campo e a partir de fotografias aéreas, a partir de critérios fotointerpretativos como a tonalidade, pela largura do canal e por sua deposição em locais com declividades inferiores a 15° (VANDINE, 1985).

Assim, o objetivo deste trabalho é de apresentar o mapeamento das isópacas dos fluxos de detritos de 1967 ocorridos na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, em Caraguatatuba (SP), com a finalidade de compreender a dinâmica do respectivo evento no local.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. A Bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio

A Bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, localizada no município de Caraguatatuba (SP), possui uma superfície de 37,5 km², é cercada pelas escarpas da Serra do Mar e deságua suas drenagens em uma grande planície aluvial e costeira (Figura 1). O Rio Santo Antônio, seu principal curso d'água, nasce na Serra do Mar e deságua no Oceano Atlântico percorrendo a zona urbana do município por cerca de 6 km e possui vários afluentes, como o Ribeirão do Ouro, o Mantegueira e o córrego Quinhentos Réis. O trecho mais a montante da bacia é caracterizado por encostas particularmente íngremes da Serra do Mar, enquanto a porção a jusante tem como principais feições uma área muito plana e urbanizada, em crescente processo de expansão (SAKAI, 2014). O local foi palco de um grande processo de movimento de massa que assolou a região da Serra do Mar em Caraguatatuba em 18/03/1967, cuja bibliografia registra ao menos a ocorrência de três eventos simultâneos na Bacia Santo Antônio: fluxo de detritos, fluxo de lama e enchente com alta concentração de material sólido.

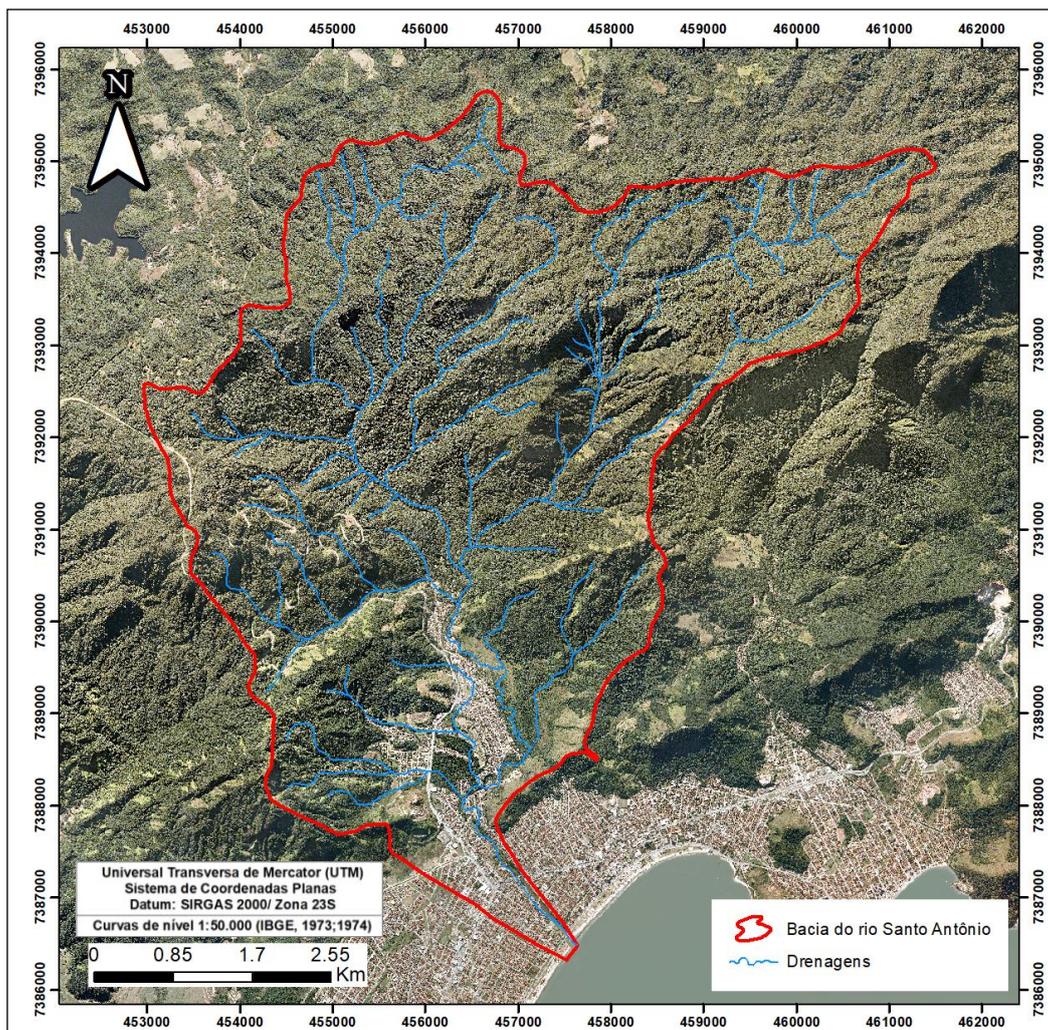


Figura 1. Localização da Bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio (Caraguatatuba/ SP). Elaborada pela autora a partir de ortofotos da Emplasa (2011).

2.2. O evento de 18/03/1967

A ocorrência do evento de 1967 em Caraguatatuba está intimamente relacionada à incidência dos altos índices pluviométricos que assolaram a região no mês de março. Segundo Gramani (2001), o ano pluviométrico de 1966-67 já se apresentava anormalmente alto, com valores de acumulado de chuva até a data do evento atingindo 2383 mm, cerca de 30% já acima da média anual. No mês de março foram registrados cerca de 945.6 mm de chuva, e somente nos dias 17 e 18 foram registrados respectivamente, 260 mm e 324.8 mm (IPT, 1988). As chuvas atingiram a marca de 586 mm, em apenas 48 horas.

O processo de fluxo de detritos que ocorreu na Bacia do Rio Santo Antônio foi desencadeado pela convergência quase simultânea de detritos nos canais de drenagem oriundo dos escorregamentos generalizados nas vertentes da Serra do Mar. Segundo Gramani (2001), o peso dos blocos (impactos), associado à velocidade dos fluxos de lama, criou uma série de reações em cadeia, removendo e empurrando os materiais já depositados a jusante das escarpas. Assim, segundo o IPT (1988), os processos variaram de comportamento, no tempo e no espaço, alterando suas características dinâmicas conforme o escoamento, passando de fluxos de detritos, fluxo de lama e enchente com alta concentração de material sólido (Figura 2).



Figura 2. Fluxo de detritos, fluxo de lama e enchente de 1967 na Bacia do Rio Santo Antônio, Caraguatatuba (SP). O fluxo originado pelos escorregamentos nas encostas atingiu as bacias de menor ordem, na região serrana, que por sua vez atingiu o canal principal (Rio Santo Antônio) e espalhou o material na porção mais baixa da área, em área urbana, causando perdas de vida e danos materiais e econômicos. Fonte: Sakai (2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração do mapa de isópacas dos fluxos de detritos de 1967 na Bacia do Rio Santo Antônio foi realizada mediante a utilização dos seguintes materiais:

- Fotografias aéreas de 1973 disponibilizadas pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), obtidas por levantamento aerofotogramétrico pela VASP (Viação Aérea São Paulo);
- Dados bibliográficos de Petri e Suguio (1971), Cruz (1974), Fúlfaro et al. (1976), Gramani (2001) e Nery (2016).

Quanto aos procedimentos metodológicos, inicialmente as fotografias aéreas foram georreferenciadas e mosaicadas em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica/ *software* ArcGis 10.2.2), sendo que o *datum* SIRGAS2000 foi inferido, seguindo as orientações do IBGE (1997). Ademais, adotou-se o sistema de coordenadas planas/ projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) como vigente, de modo a facilitar cálculos envolvendo a aferição das espessuras dos depósitos dos fluxos de detritos.

Posteriormente o delineamento da área de depósito foi efetuado em ambiente SIG a partir da fotografia aérea supracitada, utilizando-se as premissas Van Steijn (1996), IPT (2002) e os critérios fotointerpretativos de Vandine (1985), complementada com dados de Nery (2016) e Cruz (1974). Não obstante, as espessuras foram inferidas através dos trabalhos de campo efetuados e pelas observações e relatos de Cruz (1974), além de dados produzidos por Petri e Suguio (1971). Ademais, as considerações de Gramani (2001) e de Fúlfaro et al. (1976) também contribuíram para a delimitação do depósito e estimativas das espessuras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontradas 5 zonas de depósitos de fluxos de detritos, relativos ao evento ocorrido em 1967, distribuídas nos rios tributários e no canal principal da bacia, conforme exibido na Figura 3.

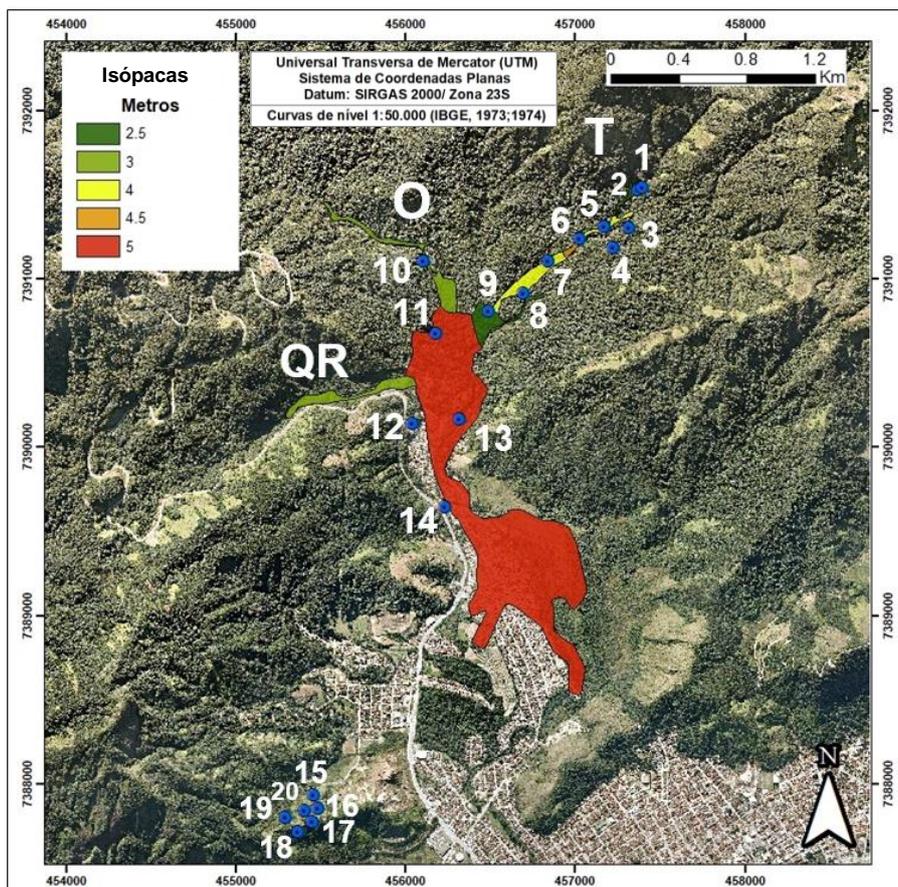


Figura 3. Mapa de isópacas do depósito dos fluxos de detritos de 1967 na Bacia Santo Antônio (Caraguatatuba/ SP).

O mapeamento realizado por Cruz (1974) foi utilizado com cautela, pois no setor jusante da bacia, na planície aluvial e costeira, a autora também delimitou depósitos de fluxos de lama e da enchente, e não apenas os de fluxos de detritos, processo foco dessa pesquisa. De modo a facilitar a discussão dos resultados, os canais/ vales tributários da drenagem principal da bacia foram denominados de “T” (tributário), “O” (correspondente ao Ribeirão do Ouro) e “QR” (Córrego Quinhentos Réis) (Figura 3).

No vale da drenagem “T” foram realizados nove pontos de campo, no qual foram estabelecidas 3 zonas de espessuras, de montante à jusante: 2.5, 4, 4.5, 4 e 2.5 metros (Figura 3).

No ponto um e dois (zona de isópacas de 2.5 metros) foram encontrados muitos blocos, que em sua maioria possuíam tamanhos métricos em seu eixo maior. Assim, foi observado que uma das margens do rio no ponto um possuía uma espessura de deposição de material de cerca de 2.5 metros (Figura 4).

A zona de espessura de 4 metros foi estimada a partir de 3 pontos de campo, com complementação de outros 2: cinco, sete, três e quatro, sendo que os dois últimos foram coletados em uma porção mais superior do talude (Figura 3). Nestes pontos foram também observadas a deposição de muitos blocos, no leito e nas margens do rio tributário.

A zona de espessura de 4.5 metros foi delimitada a partir das observações de campo do ponto seis, localizado no vale do tributário “T” (Figura 3). Na zona de espessura 2.5 metros foram realizadas duas observações em campo: pontos oito e nove (Figura 3). O ponto nove corresponde ao exutório da drenagem “T”, cuja confluência se dá posteriormente ao canal principal da Bacia

Santo Antônio e o ponto oito está inserido em uma das drenagens tributárias do mesmo rio (Figura 5).



Figura 4. Observações de campo evidenciando espessuras de depósitos do processo de fluxo de detritos de 1967 e tamanhos dos blocos. As fotografias A e B referem-se ao ponto um, ao passo que a C foi registrada no ponto dois. No ponto um observa-se uma deposição com espessura estimada de pelo menos 2.5 metros. Na figura A é possível notar o imbricamento dos blocos e o seu tamanho, cujo eixo maior varia entre centimétrico a métrico. No ponto dois são observados blocos com maior tamanho em eixo. Fonte: Arquivo pessoal Fábio Augusto Gomes Vieira Reis.



Figura 5. Registro de campo do ponto seis. Nas fotografias A e B é possível observar um grande acúmulo de bloco, com tamanhos variáveis (centimétricos a métricos), porém há predominância de blocos de eixo maior maiores. Na figura A é possível estimar em 4.5 metros a altura do bloco. Fonte: Arquivo pessoal Fábio Augusto Gomes Vieira Reis.

A zona de espessura de 3 metros, situada no vale do tributário “O” (Ribeirão do Ouro) foi delimitada e estimada por fotointerpretação, atividades de campo (ponto 10) e bibliografias (GRAMANI, 2001; NERY, 2016; CRUZ, 1974) (Figura 6).

A zona de espessura de 3 metros no vale do tributário “QR” (Córrego Quinhentos Réis) foi estimada a partir de dados bibliográficos, uma vez que em campo não foi possível visitar o local, devido ao seu difícil acesso. Assim, baseado em relatos de Cruz (1974), nas quebras de relevo, no formato do vale e cicatrizes de Fúlvaro et al. (1976), foi estabelecida a espessura de 3 metros para a região.

A zona de espessura de 5 metros, localizada na planície aluvial do Rio Santo Antônio foi delimitada e estimada a partir de alguns pontos de campo realizados no local (11, 12 e 14), além de complementações por parte da bibliografia existente (CRUZ, 1974; GRAMANI, 2001; NERY, 2016). Cabe destacar que o ponto 13 foi obtido em relevo de meia encosta e os resultados encontrados foram referentes ao processo de escorregamento, e não de fluxo de detritos.



Figura 6. Deposição dos depósitos nos rios tributários do Santo Antônio. Segundo Cruz (1974), (A) O baixo vale do Rio Mantegueira, localizado na porção superior à direita da bacia (tributário do Ribeirão do Ouro) transformou-se em um “rio de pedras”, (B) formando vastos taludes de detritos em poucas horas, com blocos de mais de 3 metros de eixo maior (CRUZ, 1974). Segundo a mesma autora, os blocos maiores foram depositados nos pés das escarpas, formando grandes taludes de detritos.

Adicionalmente, está registrada nas obras de Cruz (1974) e de Gramani (2001) que ao longo da Bacia Santo Antônio, em sua planície aluvial, foram criados depósitos de 4 a 5 metros de espessura, com blocos de 5 metros de eixo maior. Nesse sentido, foi verificado em campo que a deposição de blocos provavelmente se cessou na porção distal do primeiro alvéolo esquerdo da Bacia Santo Antônio (primeiro morro esquerdo da bacia, considerando o sentido litoral- Serra do Mar), e, portanto, a planície a qual os autores se referem é a zona de espessura de 5 metros, uma vez que a sua jusante ocorreu o processo de fluxo de lama e enchente. Assim, a configuração final da respectiva zona também seguiu estas assertivas.

Por fim, destaca-se que nos pontos de campo de 15 a 20 foram registrados indícios apenas de eventos relacionados aos escorregamentos, uma vez que estes foram realizados no relevo de meia-encosta e no topo do primeiro alvéolo direito da Bacia Santo Antônio. Assim, a etapa de fotointerpretação das fotos aéreas de 1973 e as cicatrizes de escorregamento elaboradas por Fúlfaro et al. (1976) corroboraram tal afirmativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluxos de detritos que ocorreram na Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, em Caraguatatuba foram deflagrados por escorregamentos nas encostas da Serra do Mar, que atingiram os canais tributários da respectiva bacia, e, posteriormente, a drenagem principal. De maneira geral, observou-se que as zonas de deposição dos fluxos dão-se preferencialmente em regiões de baixa declividade (<5°).

Pela configuração do leque de deposição o fluxo de detritos de 1967 provavelmente se cessou na porção distal do primeiro alvéolo esquerdo da Bacia Santo Antônio (primeiro morro esquerdo da bacia, considerando o sentido litoral - Serra do Mar). Outros autores sugerem outras configurações, porém, acredita-se que estes tenham considerado os processos consequentes que ocorreram no local (*mud flow* e *mud flood*).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional de Petróleo (ANP) pelo fomento à pesquisa e à bolsa de pesquisa concedida. O trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia e Ciências Ambientais aplicadas ao Petróleo da UNESP - PRH 05, com apoio do PRH/ANP.

REFERÊNCIAS

- CORRÊA, C.V.S. (2018) “*Modelagem morfométrica para avaliação da potencialidade de bacias hidrográficas a corridas de detritos: proposta aplicada em Caraguatatuba (SP) e São Sebastião (SP)*”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 275p.
- CRUZ, O. (1974) “*A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP – contribuição à geomorfologia litorânea tropical*”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.
- EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. (2011) “*Projeto Mapeia São Paulo – Vale do Paraíba e Litoral Norte*”. Ortofotos 2011. Escala 1:10.000. Ortofotos. São Paulo: EMLASA.
- FÚLFARO, V.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P. (1976) “*Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente*”. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, v. 2, p. 341-350. CD-ROM.
- GRAMANI, M.F. (2001) “*Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais*”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Solos, EPUSP - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 372p.
- GREGORETTI, C.; DEGETTO, M.; BOREGGIO, M. (2016) “*GIS-based cell model for simulating debris flow runout on a fan*” in *Journal of Hydrology*, v. 534, p. 326–340.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1997) “*Sistema de referência geocêntrico para a América do Sul*” in Relatório Final Grupos de trabalho I e II. Rio de Janeiro: CDD IBGE, 122 p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1988) “*Estudo das instabilizações de encostas na Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e da prevenção de seus efeitos*”. São Paulo: IPT, Relatório n. 26258.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (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*”. IPT: São Paulo, Relatório n. 59123.
- NERY, T.D. (2016) “*Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo*”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 164 p.
- PETRI, S.; SUGUIO, K. (1971) “*Características granulométricas dos materiais de escorregamentos de Caraguatatuba, São Paulo, como subsídio para o estudo da sedimentação Neocenozóica do Sudeste Brasileiro*” in Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, 25. Anais... p.71-82.
- SAKAI, R.O. (2014) “*Estudo do impacto de Debris flows: caso da Bacia do Rio Santo Antônio em Caraguatatuba (Brasil)*”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
-

Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 236 p.

TAKAHASHI, T. (2014) "*Debris flow: mechanics, prediction and Countermeasures*". London: Taylor & Francis Group.

VAN STEIJN, H. (1996) "*Debris-flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe*" in *Geomorphology*, v. 15, p. 259-273.

VANDINE, D.F. (1985) "*Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Codillera*" in *Canadian Geotechnical Journal*, v. 22, p. 44-68.
