

## CORRIDA DE DETRITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAÚBA – SÃO SEBASTIÃO (SP)

Tiago Fabrin Manzolli <sup>1</sup>; Márcio Angelieri Cunha <sup>2</sup>; Paulo César Boggiani <sup>3</sup>; Edilson Pizzato <sup>4</sup>; Marcos Saito de Paula <sup>5</sup>

**Resumo** – Foram investigados os efeitos da corrida de detritos ocorrida na bacia hidrográfica do Rio Paúba (São Sebastião, litoral do Estado de São Paulo) e sua possível deflagração, com implicações para previsão de futuros eventos do gênero na região, conhecida pelo catastrófico evento de 1967 na região vizinha de Caraguatatuba. As corridas de detrito são fenômenos de transporte hidrodinâmicos de potencial relativamente alto de transporte de materiais, caracterizados pela velocidade e raio de alcance e, conseqüentemente, com elevado poder de destruição. O evento estudado ocorreu no dia 23 de dezembro de 2014. O gatilho principal foram as chuvas dos dias 22, 23 e 24 de dezembro, quando choveu, em cada dia, 20,6 mm, 97,06 mm e 94,11 mm respectivamente. Entre as 16 e 18 horas do dia 23 foram registrados 43,92mm de chuva, que coincide com o horário da deflagração da corrida de detritos, aproximadamente às 18 horas do dia 23. A corrida de detritos desenvolveu-se ao longo do Rio Paúba até um ponto que, devido a um barramento natural, o acúmulo de água e detritos foi suficiente para romper a margem do rio e invadir a Rua Belo Horizonte, onde ocorreu a deposição do material transportado. A deflagração do evento foi atribuída ao aumento do próprio fluxo superficial do Rio Paúba, tendo energia suficiente para mobilizar os materiais presentes em seu leito. Esse evento mostra que um período de poucas horas com maior intensidade de chuva pode deflagrar corridas de detritos mesmo em estações chuvosas ordinárias para a região.

**Abstract** – Causes and effects of a debris flow event in the Paúba River hydrographic basin (São Sebastião city, São Paulo state coast) were studied, with possible insights for predictions of future events. The region is well known for a catastrophic debris flow event, occurred in 1967, at the neighbor city of Caraguatatuba. Debris flow events are hydrodynamic phenomena with high transport potential, high spread speed and range, resulting in high destruction power. The studied event occurred on December 23th, 2014. The main trigger of the debris flow was the rain from the days 22, 23 and 24 of December. It rained 20.6mm, 97.06mm and 94.11mm per day, respectively. The highest registered rain intensity occurred between 4p.m. and 6p.m. of December 23th (43,92 mm), matching the debris flow triggering time, about 6p.m. of the same day. The debris flow developed itself along the Paúba's riverbed, to a point that, due to a natural plugging, the accumulation of water and debris was enough to break the river margin into the Belo Horizonte street, where the debris flow was deposited. The event deflagration was due to increased superficial water flow in the river, allowing it to carry the debris deposited on its bed. Despite the rainfall of that month to be within normal range, it is concluded that high intensity rains, within a short period of time, may trigger a debris flow if the basin presents favorable geological and geomorphological conditions.

**Palavras-Chave** – Corridas de detritos; *Debris flow*; Serra do Mar; São Sebastião; Bacia Hidrográfica.

<sup>1</sup> Geól., São Paulo - SP, (11) 99421-4416, tiagofmanzolli@gmail.com

<sup>2</sup> Géol., MSc, Geomac Geologia Geotecnia e Meio Ambiente; São Paulo – SP, (11) 99994-9344, geomacunha@uol.com.br

<sup>3</sup> Geól., PhD, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo: São Paulo - SP, (11) 3091-4202, boggiani@usp.br

<sup>4</sup> Geól., PhD, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo: São Paulo - SP, (11) 3091-8938, pissato@usp.br

<sup>5</sup> Geól., MSc, Systra Engenharia: São Paulo - SP, (11) 3075-3840, msaito@systra.com

## 1. INTRODUÇÃO

A corrida de detritos estudada ocorreu na bacia hidrográfica do Rio Paúba em São Sebastião, SP, no dia 23 de dezembro de 2014, durante uma chuva de quase 100 mm registrada apenas neste dia. O estudo foi desenvolvido com estudo dos processos, através da bibliografia, principalmente para entendimento dos processos de deflagração e posterior caracterização do evento ocorrido, com observação local e levantamento de informações a respeito do mesmo.

Tais movimentos de massa são processos que ocorrem com frequência nas bacias hidrográficas da Serra do Mar da região sudeste do Brasil. Segundo Gramani (2014) as corridas de detritos dessa região originam-se a partir de um ou mais eventos de deslizamentos nas encostas serranas, geralmente em vales encaixados com drenagens de alta declividade. Durante esse processo de desenvolvimento da corrida de detritos, são comuns consideráveis alterações volumétricas da massa mobilizada em função de incorporação de material de outros deslizamentos ou do próprio leito da drenagem. Pode ocorrer também deposição de materiais devido a barragens naturais da drenagem ou diminuição da capacidade do fluxo de mobilizar os materiais mais grossos.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Paúba está localizada na região da Serra do Mar no litoral norte do estado de São Paulo, no município de São Sebastião. No final de dezembro de 2014 os moradores do bairro de Paúba no município de São Sebastião presenciaram o fenômeno que bloqueou o acesso ao bairro por vários dias devido a deposição do material mobilizado pela corrida ao longo da rua Belo Horizonte (principal acesso ao bairro de Paúba na parte localizada a montante da BR 101). A bacia hidrográfica em estudo e as principais drenagens estão localizadas na Figura 1.

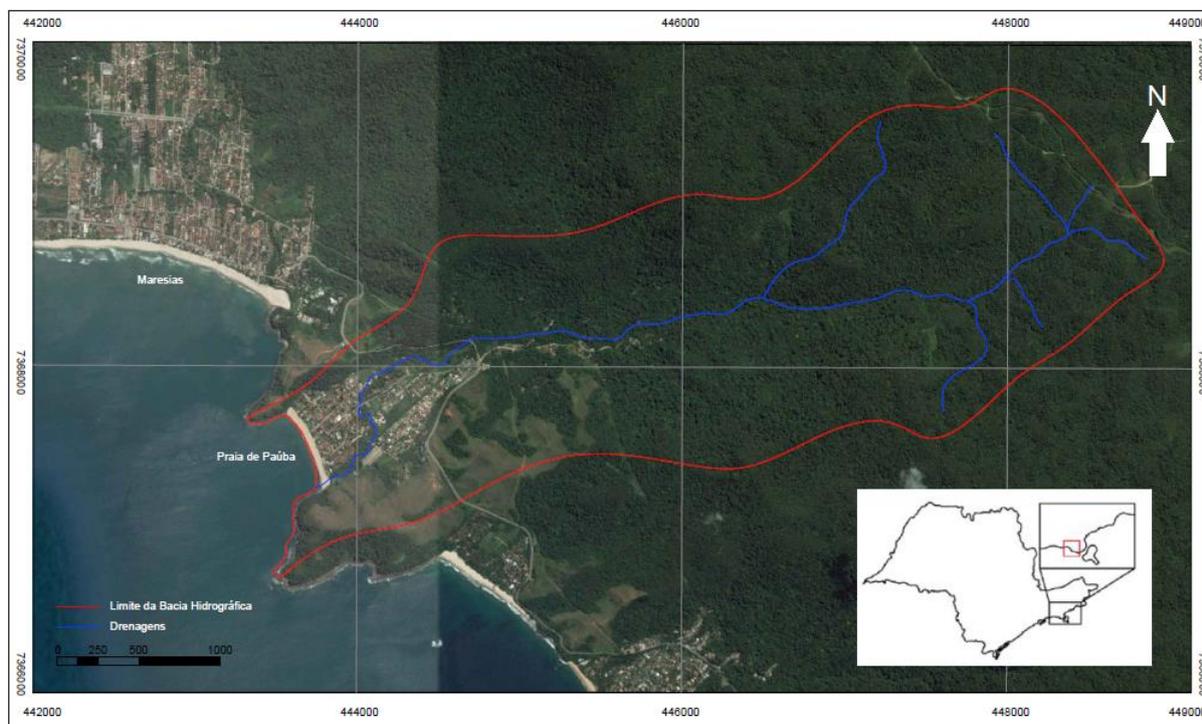


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica em estudo.

A ocorrência das corridas de detritos na região é controlada por fatores de diversas naturezas da área, sendo relacionados às condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, hidráulicas e da cobertura vegetal da bacia. A seguir a área é descrita em relação a cada um destes fatores:

- Geológicos: Fonte abundante de material para ser mobilizado, o clima favorece o intemperismo do maciço rochoso granítico-gnaissico, gerando solos espessos com muitos matacões gerados por esfoliação esferoidal.
- Geomorfológicos: As encostas da região costumam ter declividades elevadas, maiores que 30°, e atingem cotas acima de 600 metros de altitude em relação ao nível do mar, tornando-as muito instáveis.
- Hidráulicos: As drenagens dessas bacias são encaixadas nos vales das encostas e também são íngrimes, atingindo declividades acima de 20°, gerando um fluxo de água de alta energia capaz de mobilizar materiais de grandes dimensões. Outra característica das drenagens, intimamente relacionados às condições geológicas, é a presença de vários blocos de rocha de diversas dimensões, desde decimétricas a métricas, resultantes de eventos anteriores.
- Climáticos: O clima tropical da região, caracterizado por grandes índices pluviométricos nos meses de novembro a fevereiro, favorece a deflagração das corridas de detritos, aumentando intensamente a quantidade de água no solo, que ao saturar-se, liquifaz-se, escoando pelas drenagens, aumentando a capacidade de mobilizar os blocos de rochas já existentes ao longo de seu curso.
- Vegetação: A ausência de vegetação pode diminuir a estabilidade das encostas e ocasionar escorregamentos dos solos, fornecendo material para as corridas de detritos.

### **3. EVENTO DE 23 DE DEZEMBRO DE 2014**

Em reconhecimentos de campo realizados poucos dias após o evento e também no dia 3 de julho de 2015, no bairro de Paúba em São Sebastião, foi reconhecida a área e a corrida de detritos ocorrida no dia 23 de dezembro de 2014. No local o trabalho concentrou-se na Rua Belo Horizonte ao lado do Rio Paúba onde ocorreu a corrida de detritos. A Figura 2 mostra os pontos guias para a descrição do evento.

Segundo informações obtidas dos moradores do bairro chovia frequentemente no final do ano de 2014 e na noite do dia 22 começou a chuva que originou a corrida de detritos. A chuva seguiu até a tarde do dia 24, sendo que o período de chuva mais intensa foi na tarde do dia 23, entre as 16 e 18 horas.

Analisando os dados de pluviosidade obtidos pelo Portal SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) da boia SP-CEBIMAR-USP podemos confirmar as informações obtidas pelos moradores do bairro. A chuva teve início na noite do dia 22 de dezembro por volta das 22 horas e prosseguiu até a tarde do dia 24 de dezembro, somando 211,77mm nesses três dias (20,6mm no dia 22, 97,06mm no dia 23 e 94,11mm no dia 24), com o maior pico de chuva entre as 16 e 18 horas do dia 23, período no qual choveu 43,92mm. São apresentados gráficos das chuvas do mês de dezembro (entre os dias 12 e 31 disponíveis no Portal SiMCosta) que somou 244,12mm e da chuva do dia 23 de dezembro no qual é possível ver o pico de 43,92mm entre as 16 e 18 horas (figuras 3 e 4).



Figura 2 – Mapa de localização dos pontos descritos em campo (desenho sobre imagem de satélite do software Google Earth).

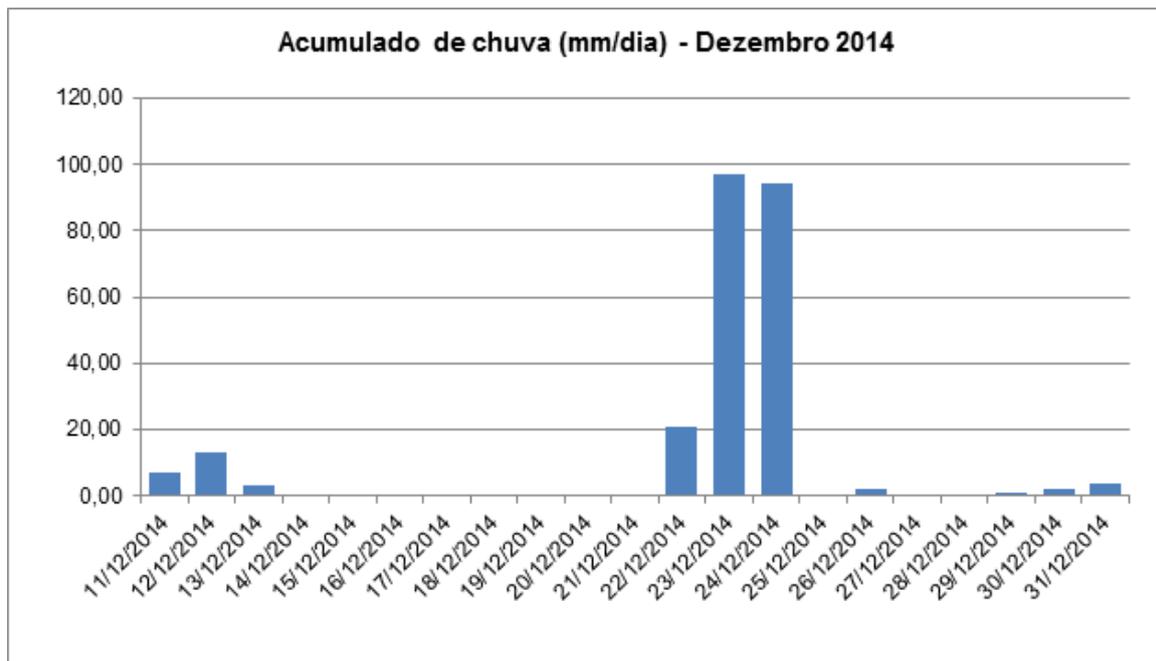


Figura 3 – Chuvas registradas entre os dias 12 e 31 de dezembro de 2014 (mm/dia).

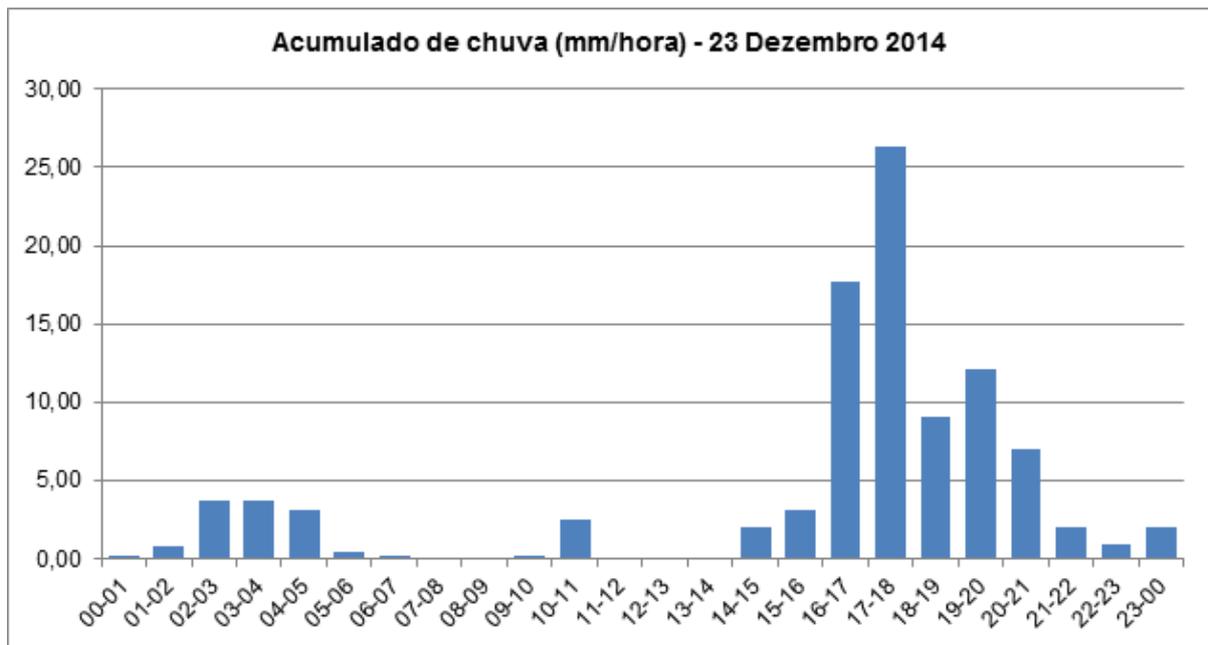


Figura 4 – Intensidade da chuva do dia 23 de dezembro em períodos de 1 hora (mm/h).

A corrida provavelmente teve início ao longo do rio, a montante do ponto 6, por volta das 18 horas do dia 23, coincidente com o pico da chuva registrada. A água proveniente da chuva, somada a água de escoamento superficial do rio, foi capaz de mobilizar os grandes blocos de rocha presentes no leito da drenagem, dando início a corrida. O fluxo segue descendo a drenagem (ponto 4) e incorporando materiais do leito e das margens. O material desceu seguindo a drenagem até o ponto 3, onde a corrida de detritos rompeu a margem do rio e foi canalizada ao longo da Rua Belo Horizonte (Figura 5a e 5b).



Figura 5 – (a): Curva do Rio Paúba onde o material mobilizado pela corrida de detritos rompeu o leito e invadiu a Rua Belo Horizonte. (b): Início do depósito da corrida de detritos logo após o rompimento do leito do rio, sendo possível ver as árvores derrubadas no processo e a erosão do nível da rua (seta vermelha).

O poder de erosão dos detritos carregados pela água foi capaz de escavar a rua em até 2 metros de profundidade em alguns pontos e deixou um grande depósito de blocos de rocha de até 2 metros de diâmetro entre os pontos 3 e 1 (Figura 6a). Este depósito apresenta na sua porção frontal, devido à turbulência de sua mobilização e deposição, gradação inversa da granulometria, onde os blocos e matacões de maior diâmetro ficam na parte superior enquanto que seixos e sedimentos finos como areia são depositados na parte inferior (Figura 6b).



Figura 6 – (a): Depósito de blocos e matacões ao longo da Rua Belo Horizonte. (b): Porção Frontal do depósito de blocos da corrida de detritos, sendo possível identificar de forma grosseira a granulometria inversa dos materiais (poucos dias após o evento).

Devido ao fato do rio ter mudado seu curso e continuado a fluir pela Rua Belo Horizonte por algum tempo depois da corrida de detritos os sedimentos depositados foram remobilizados, formando uma pequena planície de inundação no ponto 1, onde os sedimentos finos (areia fina a grossa mal selecionada) e pequenos blocos de rocha de até 40cm foram depositados (Figura 7a e 7b).



Figura 7 – (a): Início dos depósitos de materiais finos (areia mal selecionada) e pequenos blocos de rocha (depósito frontal da corrida de detritos ao fundo). (b) Final dos depósitos finos, delimitando a máxima distância percorrida pelos sedimentos.

Os danos causados pela corrida de detritos foram: bloqueio da principal rua de acesso do bairro devido aos depósitos associados, impedindo que muitos moradores pudessem acessar a cidade por alguns dias, destruição parcial de tubulações de esgoto (Figura 8a e 8b), algumas famílias que moravam próximas do rio foram desalojadas, muros de propriedades foram danificados e grande parte do bairro ficou sem energia elétrica por alguns dias após o ocorrido. Não foram registrados óbitos e pessoas com ferimentos graves.



Figura 8 – (a): Rede de esgoto danificada. (b): Bloqueio da Rua Belo Horizonte invadida pela corrida de detritos, derrubando as árvores do local.

#### 4. DISCUSSÃO

Apesar da precipitação pluviométrica durante o mês de dezembro analisada não apresentar chuvas nos dias anteriores da corrida de detritos (condição importante para ocorrência de corridas de detritos segundo Kanji et al. (2003)), o evento foi deflagrado pela chuva que começou no dia 22 e teve seu pico de intensidade na tarde do dia 23.

Plotado no gráfico apresentado por Kanji et al. (2003), o evento ultrapassa o limiar para deflagração de corridas de detritos entre a terceira e quarta hora de chuva, justamente entre as 17 e 18 horas da tarde do dia 23, momento de maior intensidade da chuva (Figura 10).

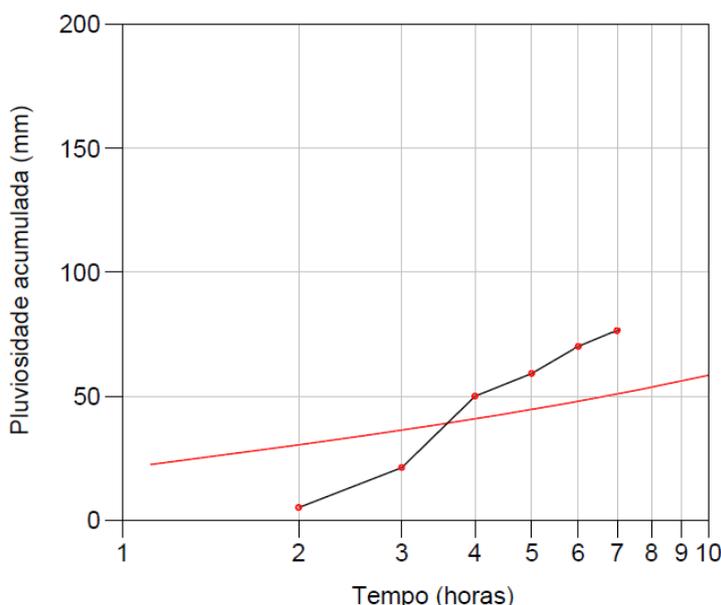


Figura 10 – Detalhe do gráfico desenvolvido por Kanji *et al.* (2003). A linha vermelha é o limiar para ocorrência de movimentos de massa em encostas e em preto a chuva registrada pela boia SP-CEBIMAR-USP.

É válido ressaltar também que a chuva que deflagrou o evento possa ser diferente da chuva registrada pela boia, existe uma incerteza na medida, pois elas estão localizadas em locais diferentes, a boia está no mar próximo à costa e a chuva responsável pela corrida ocorreu nas encostas da Serra do Mar. É possível que o comportamento de barreira geográfica da Serra do Mar intensifique as chuvas no local, aumentando o risco de ocorrência de uma corrida de detritos.

Interpreta-se que a origem do evento se deu com o aumento da quantidade de água presente no Rio Paúba. O fluxo de água no rio aumentou até que começou a mobilizar os materiais depositados em seu leito e erodindo os solos residuais das margens, incorporando-os à corrida.

Os depósitos de material trazido pelo evento em Paúba são coerentes com os depósitos descritos na bibliografia para corridas de detritos canalizadas, onde são formados lóbulos de detritos ao longo da drenagem sem uma estrutura interna ou distribuição dos grãos por tamanho bem definido, além da gradação longitudinal ao longo do depósito e gradação inversa observada na frente do depósito, conforme observados por Coussot e Meunier (1996), Hungr *et al.* (2001), Gramani (2001) e Takahashi (2014).

Outra característica observada nesta corrida que confirma sua natureza canalizada são as barragens do canal que ocorrem ao longo do transporte conforme descritas por VanDine (1996), blocos muito grandes ou detritos vegetais impedindo a passagem da corrida pode força-la a mudar de direção abruptamente, como foi observado no local onde a corrida rompeu o leito do Rio Paúba e passou a correr pela Rua Belo Horizonte.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu caracterizar uma corrida de detrito no vale do Rio Paúba deflagrado por chuva intensa em período relativamente curto, com precipitação de 43,92 mm em 2 horas, antes do início da corrida de detritos. Os períodos anteriores não apresentaram grande incidência de chuva, as quais foram concentradas um dia antes e um dia após o evento apenas, totalizando 211,77 mm.

Fator preponderante para origem do evento foi o aumento do fluxo superficial do rio Paúba, que foi suficiente para iniciar o transporte dos materiais depositados no seu leito, deflagrando a corrida que, após um barramento natural dos próprios detritos, passou a correr pela rua Belo Horizonte, onde foi observado a maior parte do depósito associado.

Considera-se importante o registro desses eventos, mesmo que relativamente pouco intensos, no sentido de proporcionar previsões futuras, dado ao aumento da ocupação antrópica na área.

A chuva teve início na noite do dia 22 de dezembro por volta das 22 horas e prosseguiu até a tarde do dia 24 de dezembro, somando 211,77mm nesses três dias (20.6mm no dia 22, 97.06mm no dia 23 e 94.11mm no dia 24), com o maior pico de chuva entre as 16 e 18 horas do dia 23, período no qual choveu 43,92mm. São apresentados gráficos das chuvas do mês de dezembro (entre os dias 12 e 31 disponíveis no Portal SiMCosta) que somou 244,12mm e da chuva do dia 23 de dezembro no qual é possível ver o pico de 43,92mm entre as 16 e 18 horas (Figuras 3 e 4).

## REFERÊNCIAS

- COUSSOT, P., MEUNIER, M. (1996). Recognition, classification and mechanical descriptions of debris flows. *Earth-Science Reviews*, 40, 209-227
- GRAMANI, M. F. (2001). Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (“debris flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. Tese (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica. USP.
- HUNGR, O., EVANS, S. G., BOVIS, M. J., HUTCHINSIN, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7, 221-238.
- KANJI, M. A.; MASSAD, F.; Cruz, P. T. (2003). Debris Flows in Areas of Residual Soils: Occurrence and Characteristics. *International Workshop on Occurrence and Mechanism of Flows in Natural Slopes and Earthfills.v.2*, 1-11 Naples: Associazione Geotecnica Italiana
- SiMCosta. <http://www.simcosta.furg.br/portal/>. Site do SiMCosta – Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira, 2015. Disponível em < <http://www.simcosta.furg.br/portal/>>. Acesso em: 25 Setembro 2015.
- TAKAHASHI, T. (2014). *Debris Flow. Mechanics, Predictions and Countermeasures* (2a ed.). London: Taylor & Francis Group.
- VANDINE, D. F. (1996). Debris flow control structures for forest engineering. British Columbia Ministry of Forests Research Program. Work. Pap. 08/1996.