

## Revisitando os Fluxos de Detritos Destrutivos de 2011 em Teresópolis, nos Córregos do Vieira e do Príncipe

Ingrid Lima<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Geóloga, MSc - Projeto GIDES-JICA, DSc. Estudante IGEO/UFRJ

[lima.ingridf@gmail.com](mailto:lima.ingridf@gmail.com)

### Reviewing the Destructive Debris Flows of January 2011 in Teresópolis: the Vieira and the Prince Case Studies.

*Abstract: On 2011, January 11-12th, as part of the landslide mega-disaster of Serra Fluminense, two huge debris flows affected Teresópolis – the Vieira and the Prince ones. This paper briefly reviews the studies developed in the last 6.5 years in the subject and highlights the contributions both debris flows still may give to future debris hazard mapping in the city.*

keywords: debris flows, landslide mapping, hazard mapping

**Resumo:** Em Janeiro de 2011, no Mega-desastre da Serra Fluminense, dois fluxos de detritos destrutivos afetaram Teresópolis – o do Vieira e o do Príncipe. Este artigo faz uma revisão das suas características e discute as contribuições que ambos podem dar para as avaliações de risco associado a futuros fluxos de detritos na cidade.

Palavras-chave: fluxos de detritos, mapeamento de escorregamentos, mapeamento de risco

### Introdução

Entre os dias 11 e 12 de Janeiro de 2011 ocorreu o Megadesastre '11 da Região Serrana do Rio de Janeiro (DRM, 2011). O MDRS esteve associado a mais de um milhão de escorregamentos em encostas urbanas e rurais de 07 municípios, provocou 971 mortes e deixou mais de 20000 pessoas desabrigadas. De acordo com o DRM (2011), dentre os escorregamentos que mais provocaram vítimas fatais e perdas econômicas em Teresópolis, se destacaram os fluxos de detritos ao longo do vale principal dos córregos do Vieira e do Príncipe.

Os dois movimentos coletivos de rocha, solo e vegetação, associados a um evento de chuva extrema, se caracterizaram por complexos mecanismos de geração e propagação das massas de detritos por mais de 4 km ao longo de drenagens principais. Diversos pesquisadores fluminenses estudaram estes fluxos de detritos que causaram danos significativos, com destaque para Rodrigues (2011), Lima (2013), Waldherr et al. (2011; 2014) e Conq et al. (2015).

Passados 06 anos e meio da tragédia, este artigo propõe uma revisão dos aspectos similares específicos dos dois fluxos de detritos, e discute como estes podem contribuir

para a calibração de metodologias hoje propostas para a previsão de desastres semelhantes no futuro em Teresópolis.

### **Avanços do Conhecimento sobre os Fluxos de Detritos nos últimos 6.5 anos**

Nos últimos 30 anos, as pesquisas internacionais sobre fluxos de detritos têm procurado ultrapassar as grandes dificuldades envolvidas na previsão e na modelagem de fenômenos com comportamentos tão complexos. Ultrapassada a fase inicial, que priorizou a descrição das características e dos danos associados a cada ocorrência, os avanços mais significativos passaram a ser registrados na aplicação de métodos e simulações de previsão de desastres no futuro.

No campo da análise qualitativa, os estudos se concentram na utilização de indicadores morfométricos para avaliar a geração e o tipo de processo que predomina na deposição dos detritos transportados pelo fluxo. Os trabalhos pioneiros foram iniciados nos anos 60 e alguns estudos de caso foram feitos nos anos 80. (Bertrand et al, 2012). Jackson et al. (1987) Wilford et al. (2004) e Rogelis et al. (2014) descreveram os estudos em diferentes ambientes geomorfológicos.

No campo da análise quantitativa, há os métodos empíricos e os métodos analíticos; os empíricos estimam, a partir da análise da área e da forma da bacia, das características dos materiais envolvidos e das chuvas antecedentes (Rickenmann, 1999), e com base em correlações fundamentadas em experiências regionais, os parâmetros principais dos fluxos de detritos: concentração de sólidos; velocidade de transporte dos detritos; volume de sólidos transportados; descarga de pico, e mais importante, alcance do fluxo e força de impacto dos detritos.

Já os métodos analíticos se baseiam na solução de um sistema de equações numéricas. Os programas mais utilizados na modelagem de fluxo de detritos são o FLO-2D (O'Brien et al. 1993), o DAN-3D (McDougall, 2006), o KANAKO 2D (Nakatani et al., 2008), o FLOW-R (Horton et al. 2013) e o RAMMS (Bartelt et al., 2013).

A aplicação das ferramentas de simulação numérica no mapeamento do perigo de fluxos de detritos, na definição de suas possíveis trajetórias, alcance e capacidade de destruição, contudo, não é trivial, uma vez que a validação dos modelos demanda monitoramento de campo e calibração dos resultados. No Japão, na última década, por exemplo, hidrofones foram amplamente utilizados para monitorar rios montanhosos, o volume de dados aumentou muito, mas os resultados das medições continuam pecando pela necessária calibração (Okamoto et al., 2013).

No Brasil, também se registraram avanços na última década nos estudos dos fluxos de detritos. Kobiyama & Michel (2014) publicaram uma lista dos trabalhos que trataram dos fluxos de detritos no período de 1949 a 2014, à qual foram naturalmente integrados os trabalhos que discutem os fluxos de detritos que afetaram Teresópolis e a Região Serrana, em 2011.

Em relação à previsão, uma contribuição importante é a Metodologia de Avaliação do Risco de acidentes associados a corridas de massa para dutos instalados em ambientes serranos, descrita por Amaral (2015). Basicamente, a proposta envolve a simulação com os programas SHALSTAB e FLO2D, utilizando Modelos Digitais de Terreno (pré-escorregamentos e pós-escorregamentos) gerados com imagens do LIDAR e dados de campo (espessura dos solos e índices de chuva) para definir a área de alcance e a energia de impacto dos fluxos de detritos.

Outra iniciativa pertinente está sendo fechada em 2017. Trata-se da experiência com a metodologia japonesa, desenvolvida no âmbito do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (PROJETO GIDES), do qual participam a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), o Ministério das Cidades (MCID), o Centro Nacional de Alerta e Monitoramento de Desastres (CEMADEN/MCTIC), o Centro Nacional de Gestão de Riscos e Desastres (CENAD/MI) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM/MME). Neste projeto serão consolidados manuais sobre mapeamento de perigo e risco a movimentos de massa, planejamento urbano, monitoramento e alerta de desastres e obras de contramedidas, os quais servirão como guia e poderão ser disponibilizados pelos ministérios envolvidos aos demais membros da federação e a outros entes interessados. No que se refere à fluxo de detritos, basicamente, os esforços se concentram na delimitação das áreas críticas a partir de critérios topográficos, tais como a relação comprimento - largura do canal principal; as exigências relativas à inclinação, à área de contribuição mínima e à altura correspondente ao volume máximo de material mobilizado no vale durante o fluxo.

### **Revisitando os fluxos de detritos de Teresópolis 2011.**

Os fluxos de detritos do Distrito de Vieira e do Córrego do Príncipe, no Bairro de Campo Grande, estiveram associados a chuvas extremas, da ordem de 88 mm/h a 130 mm/h, 264.0mm / dia e 300 mm acumulados em 12 dias (DRM, 2012). Os fluxos de detritos do Vieira e do Príncipe são semelhantes em termos de consequências,

#### **O Fluxo de Detritos do Príncipe**

O fluxo de detritos do Córrego do Príncipe (Figura 1) se estendeu por 4.8 km e teve uma largura variando entre 40 e 180m. O fluxo se desenvolveu a partir de contribuições de material proveniente dos taludes laterais do canal principal, derivados de inúmeros deslizamentos no contato solo-rocha. Ao ganhar densidade, o fluxo torrencial ao longo do canal passou a exumar e/ou mobilizar o material de antigos depósitos de corrida de detritos disponível no canal.

No início do movimento, grande parte do material do fluxo foi retida em 04 pontos de estrangulamento do canal principal, formando grande lagos (alvéolos) de acumulação provisória de detritos e de grande volume d'água. No pico da chuva, contudo, estas gargantas foram rompidas dando origem a fluxos que mobilizaram parte dos depósitos pretéritos de antigas corridas de massa. Embora tenha ficado confinada ao vale do Príncipe (Waldherr et al. 2014), o fluxo destruiu 85% das moradias na zona de transporte/erosão, particularmente aquelas localizadas em cotas mais baixas e mais próximas ao canal principal, e 50% das moradias nas zonas de deposição, em especial a montante das gargantas, ora pelos escombros transportados, ora submergidas pelos lagos.



Figura 1: a) Vista geral em zig-zag da trajetória do fluxo de detritos no canal do córrego do Príncipe. b) Erosão do leito maior no Campo Grande, destacando-se a grande quantidade de blocos.

### O Fluxo de Detritos do Vieira

A corrida de massa do Vieira (Figura 2), com alcance de 7.5km, afetou a bacia do rio Vieira, entre as cotas 2000m e 880m, causando a destruição de centenas de casas e 86 mortes. Segundo Lima (2013), a mobilização dos materiais disponíveis no eixo do terço superior do canal de drenagem principal foi reforçada por um grande deslizamento de solo e rocha num dos talude laterais localizado próximo à cabeceira de drenagem.

Já transformado numa massa mais densa e viscosa, o fluxo torrencial passou a mobilizar e transportar os materiais detríticos dispostos ao longo do canal principal. Esta ascensão de categoria também foi possível devido à inclinação do canal e à sua linearidade, como comprova claramente a linha reta da cicatriz do movimento no trecho do vale, entre as cotas 1.750 m e 900 m, encaixado na direção N40E de uma falha tectônica. Possivelmente o fluxo manteria o seu caráter de pouca concentração de detritos se o canal se prologasse linearmente até a base da vertente serrana.

Acontece que, exatamente na cota 900 m, o canal exibe uma espetacular mudança de sua direção, em forma de cotovelo, passando a ser controlado pelo sistema de fraturas com direção N25W. Esta deflexão abrupta do canal, correspondente a um *knickpoints*, foi responsável então pelo barramento temporário do fluxo, uma verdadeira garganta de acumulação provisória de detritos, pronta para ser arrebatada e rompida (Figura 2a). E a ruptura ocorreu, liberando pulsos de fluxos muito concentrados de detritos, que aí sim, conseguiram mobilizar blocos rochosos maiores dispostos ao longo do canal. Tudo possivelmente se limitaria a um fluxo hiper-concentrado de detritos, se o canal principal não exibisse um perfil repleto destas deflexões e gargantas naturais. Vencidas as “barragens naturais”, a massa heterogênea, muito viscosa e veloz, assumiu um caráter absoluto de um fluxo de detritos complexo e destrutivo. O fluxo veloz, potencialmente catastrófico, encontrou, contudo, um limite perfeito para o seu amortecimento, um campo de futebol, que localizado à margem do canal principal, serviu para o depósito dos blocos rochosos que seguiam à frente do fluxo de massa detrítica, retirando dele o seu principal elemento de perigo e destruição, uma vez que a partir daquele ponto não houve mais condição de mobilizar matacões rochosos (figura 2b).

O “campinho” foi providencial, mas não definitivo. Isto porque, devido à contribuição de enxurradas advindas de tributários, o agora fluxo torrencial, com pouca concentração de detritos, continuou a lavar o material mais fino disposto ao longo do canal, numa atividade erosiva que permitiu a “exumação” dos blocos rochosos que ocupavam o leito do rio. No trecho do canal entre as cotas 1000m e 900m, devido à

diminuição da sua viscosidade, se iniciou a deposição, como mostram os depósitos arenosos extensos e espessos nos leques do canal. Libertado finalmente do confinamento lateral ao chegar à cota 1.200 m, o agora fluxo de lama percorreu ainda 7km, passando pelo Hotel São Moritz, até chegar ao Restaurante “Linguíça do Padre”, na cota 900 m, onde afunilou em um *knickpoint* e passou a ter características propriamente hidráulicas (altas velocidades e turbulência).



Figura 2a: Garganta principal do rio Vieira; b: Zona da frente de deposição de detritos.

### **Similaridades dos dois Fluxos de Detritos**

Nos dois fluxos de detritos a trajetória do movimento, tal como nas corridas do vale do Cuiabá, em Petrópolis e do Córrego Dantas, em Nova Friburgo foi imposta pelas mudanças bruscas na direção dos canais, principalmente na alta e média vertente, controladas pelas litologias e, principalmente, pelas discontinuidades estruturais presentes. O controle litológico é exercido por diques de diabásio e veios de quartzo, pegmatitos e aplitos, mais resistentes à erosão que as rochas intrusivas graníticas e gnáissicas. Já o controle estrutural é exercido por dois sistemas de fraturas com direções NE-SW, que é a principal na Serra do Mar, e NW-SE. Por conta deles, formam-se sucessivos pontos de estrangulamento que atuam como barragens temporárias de fluxos torrenciais. Quando vencidas, a situação se complica; quando mais amplas, retêm o fluxo e dissipam sua energia.

### **Contribuições que os dois fluxos de detritos podem dar para a avaliação de risco associado a futuros fluxos de detritos em Teresópolis.**

Os resultados dos estudos dos fluxos de detritos do Vieira e do Príncipe foram incorporados às Cartas de Risco Remanescentes (DRM, 2011) e às Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbana (DRM, 2015) de Teresópolis. Esses instrumentos técnicos mostram a distribuição dos depósitos de detritos mobilizados ou exumados pelos dois movimentos de massa, o que deixa claro que os mesmos podem ser remobilizados por chuvas torrenciais no futuro, e que esforços devem ser feitos para a não liberação destas áreas para o uso e a ocupação do solo no futuro.

O cenário previsto de destruição baseado em feições geomorfológicas registradas no passado é, sem dúvida, uma contribuição importante para o planejamento das medidas preventivas e de reconstrução nas áreas afetadas, mas não é suficiente, no entanto, para garantir a modelagem de futuros processos destrutivos na Serra Fluminense. Isto exige a aplicação de metodologias apropriadas e a utilização de dados de entradas confiáveis, sem os quais as simulações de fluxos de detritos podem ter a sua validade contestada. Dentre os dados confiáveis a serem incorporados, provou-se que talvez os mais importantes

sejam aqueles relacionados ao contexto geológico-geomorfológico específico da região, representado por um controle lito-estrutural fabuloso dos cursos dos canais de drenagem, que impõe a presença de gargantas naturais em profusão.

Para avaliar se os pontos de estrangulamento dos canais principais, fundamentais para o entendimento da dinâmica dos fluxos de detritos que podem ocorrer na região Serrana Fluminense, estão bem mapeados nas bases cartográficas hoje disponíveis, permitindo, assim, uma simulação real das condições de perigo associadas a futuros fluxos de detritos nos demais canais de Teresópolis, procedeu-se a uma comparação visual de trechos dos mapas dos dois fluxos de detritos (Lima, no prelo) com as fotografias tomadas de helicóptero, tal como mostrado nas figuras 3 e 4.

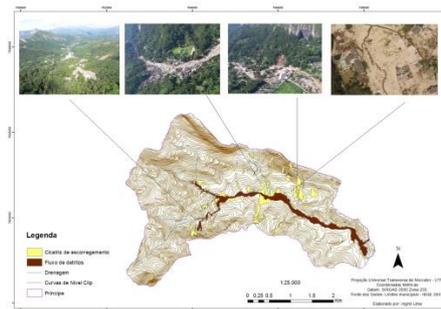


Figura 3: Mapa de início, trajetória e deposição dos fluxos de detritos, elaborado sobre a base cartográfica da AMPLA na escala 1: 25.000 (Lima, no prelo) e a fotografia oblíqua (de helicóptero) do fluxo de detritos do Príncipe.

Observa-se nitidamente que a falta de resolução dos mapas de início, trajetória e deposição dos fluxos de detritos, quando ampliados, impede a visualização da sucessão de barragens naturais, identificadas nos trabalhos de campo e nas fotos aéreas oblíquas, como controladoras do volume de detritos transportados em cada trecho do fluxo de detritos, e definidoras indiretas da localização das áreas mais destruídas e menos destruídas em cada uma das bacias.

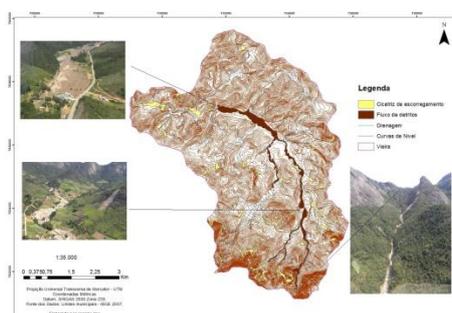


Figura 4: Mapa de início, trajetória e deposição dos fluxos de detritos, elaborado sobre a base cartográfica da AMPLA na escala 1: 10.000 (Lima, no prelo) e a fotografia oblíqua (de helicóptero) do fluxo de detritos do Vieira.

## Discussão e Conclusão

Passados 6.5 anos do registro dos fluxos destrutivos de detritos no Canal do Vieira e no Córrego do Príncipe, apesar dos avanços registrados nas pesquisas sobre o tema no

mundo e no Brasil, ainda não foi realizada uma comparação entre os resultados de simulações realizadas a partir de metodologias diversas de previsão de trajetória, alcance e capacidade de destruição destes complexos tipos de escorregamento na Serra Fluminense.

Esta pesquisa, no entanto, encontra vários obstáculos. Um deles é a limitação de escala da base cartográfica hoje disponível que não indica todas as gargantas e barragens naturais estabelecidas nos cursos d'água. Esta deficiência, como mostrado, invalidar as simulações e acabar por afetar a credibilidade e a aplicabilidade dos métodos hoje disponíveis para modelagem e previsão dos fluxos de detritos no futuro, causadas por chuvas extremas.

### Referências Bibliográficas

- AMARAL, C. (2015) Metodologias Brasileiras de Análise de Risco a diferentes tipos de Escorregamentos e sua devida consideração em projetos institucionais nacionais e internacionais. 15º CBGE, Bento Gonçalves, RS, Anais, CD, ABGE.
- BARTELT, P.; BUEHLER, Y.; CHRISTEN, M.; DEUBELBEISS, Y.; GRAF, C.; MCARDELL, B.; SALZ, M.; SCHNEIDER, M. (2013) RAMMS: Rapid Mass Movements Simulation - User Manual v1.5 Debris Flow. Switzerland: WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. Switzerland, 2013.
- BERTRAND, M.; LIÉBAULT, F.; PIÉGAY, H. (2012) Susceptibility of small upland catchments to debris flow. In: 12th Congress INTERPRAEVENT 2012 – Grenoble / France. 12f.
- CONQ, M.; SILVEIRA, C.S.; DOURADO, F. (2015). Processos geomorfológicos e danos derivados da corrida de detritos de janeiro 2011 na bacia do Córrego do Príncipe, Teresópolis – Região Serrana do Rio de Janeiro. In: Ciência e Natura, v37 n1, 2015, jan-abr.p93-103, Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. ISSN impressa: 0100-8307 ISSN online: 2179-460x. 11p. 2015.
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - DRM - Serviço Geológico do Rio de Janeiro. (2011). Megadesastre '11 da Região Serrana do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.drm.rj.gov.br>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS – DRM – Serviço Geológico do Rio de Janeiro. (2015). Cartografia Geotécnica de Aptidão Urbana de Teresópolis. Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br/>> Acesso em: 20 de setembro de 2017.
- HORTON, P; JABOYEDOFF, M; RUDAZ B; ZIMMERMANN, M. (2013). Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. In: Natural hazards and earth system sciences 13(4):869-885 · April 2013
- JACKSON, L.E.; KOSTASCHUCK, R.A.; MACDONALD, G.M. (1987). Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. In: Costa JE, Wieczorek GF (eds) Debris flows/avalanches: process, recognition, and mitigation. Rev Eng Geol vol. VII. Geol Soc Am, 1987.
- KOBIYAMA, M; MICHEL, G.P. (2014). Bibliografia dos trabalhos de fluxos de detritos ocorridos no Brasil no período de 1949-2014. Trabalho Técnico GPDEN No. 01. Disponível em <<https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp->

content/uploads/2014/10/Kobiyama-e-Michel-2014-Bibliografia-dos-trabalhos-de-fluxo-de-detritos-no-Brasil.pdf.> Acesso em: 20 de setembro de 2017.

- LIMA, I.F. (2013). O Fluxo de massa do Vieira, Teresópolis-RJ, Megadesastre de 2011: Análise das feições sedimentológicas e de sua fenomenologia. 75f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.
- MCDUGALL, S. (2006). *A new continuum dynamic model for the analysis of extremely rapid landslide motion across complex 3D terrain*, PhD dissertation, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, p. 253.
- NAKATANI, K.; WADA, T.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. (2008). Development of “Kanako 2D (Ver.2.00),” a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v. 1, n. 2, p. 62-72, 2008
- O'BRIEN, J. S.; JULIEN, P. Y. Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 119, n. 2, p. 244-259, 1993.
- OKAMOTO, A.; UCHIDA, T; HAYASHI, S.; SUZUKI, T.; YAMASHITA, S.; TAGATA, S.; FUKUMOTO, A.; KANBARA, J. (2013). Possibility of early warning for large-scale landslides using hydrological and sediment transport observations in mountain rivers. In: *Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series* (6).
- RICKENMANN, D. (1999). “Empirical relationships for debris flow”, *Natural Hazards*, vol. 19,p.47-77.
- RODRIGUES, J.C; AMARAL, C.P.; TUPINAMBA, M. (2011) Megadesastre '11 da Serra Fluminense: A corrida de massa do Vieira, em Teresópolis – Análise Preliminar Condicionantes Geológicas. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 13, 2011, São Paulo. *Anais...São Paulo: ABGE*, 2011
- ROGELIS, M.C.; WERNER, M. (2014). Regional debris flow susceptibility analysis in mountainous periurban areas through morphometric and land cover indicators. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, p. 3043-3064.
- WALDHERR, F. R. ; TUPINAMBÁ, M. ; MOTTA, M. ; AMARAL, C. ; FRAIFELD, F. ; PAIXÃO, R. (2011). Megadesastre '11 Da Serra Fluminense: Zonas De Estrangulamento Durante Corrida De Detritos No Córrego Do Príncipe, Em Teresópolis. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE*, 12, 2011, Nova Friburgo. *Anais...Nova Friburgo: SBG*, 2011.
- WALDHERR, F. R.; TUPINAMBÁ, M.; A dinâmica dos depósitos pretéritos na deflagração de corridas de detritos em eventos catastróficos: a bacia de drenagem do córrego do Príncipe, Teresópolis – RJ. In: “Riesgos, vulnerabilidades y resiliencia socioambiental para enfrentar los cambios globales” Santiago (Chile), 03 al 05 de diciembre 2014 eje 5 – desastres naturales, riesgos y vulnerabilidades em américa latina y península ibérica p.1185 – 1192. 2014.
- WILFORD, D.J.; SAKALS, M.E.; INNES, J.L.; SIDLE, R.C.; BERGERUD, W.A. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*. fls 6. 2004.