



OCORRÊNCIA DE DESASTRE HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE MOCOIA (COLÔMBIA), CABECEIRA DA BACIA AMAZÔNICA.

Fernando Campo Zambrano^{1*} & *Masato Kobiyama*² & *Maurício Andrades Paixão*³

Resumo – A cabeceira da bacia amazônica está representada pela cordilheira dos Andes, tornando-se propensa a fenômenos como escorregamentos e fluxos de detritos. O município de Mocoia (Colômbia) nessa cordilheira sofreu em 31/03/2017 um desastre por fluxo de detritos, causando grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma caracterização do fenômeno e sua consequência (desastre) do evento. O fenômeno atingiu grande parte da área urbana causando destruição em mais de 25 bairros da cidade e a infraestruturas de serviços básicos. Além disso, causou a morte de 290 pessoas. Este fenômeno foi causado por uma intensa precipitação de 129 mm em 3 horas e intensificado pelo terreno declivoso. Isto produziu em torno de 600 escorregamentos translacionais, cuja maioria atingiu os canais dos rios, nas três sub-bacias que o município envolve. Esta caracterização, ou seja, registro, é uma etapa importante no gerenciamento de desastre, tanto na contribuição sobre o entendimento deste tipo de fenômeno, como na capacitação da população local de se proteger a desastres futuros.

Palavras-Chave – Gerenciamento de desastre, Fluxo de detritos, Município de Mocoia.

HYDROLOGICAL DISASTER OCCURRENCE IN THE MOCOIA MUNICIPALITY (COLOMBIA), THE AMAZON HEADWATER BASIN.

Abstract – The Amazon headwater basin is represented by the Andes Mountains, becoming prone to phenomena such as landslides and debris flows. On 31/03/2017, the municipality of Mocoia (Colombia) in the headwater region suffered from a disaster by debris flow causing large socioeconomic and environmental damages. The objective of the present work was, therefore, to carry out a characterization of the phenomenon and its consequence (disaster) of the event. The phenomenon affected much of the urban area causing destruction in more than 25 neighborhoods of the city and the infrastructures of basic services. In addition, it caused the death of 290 people. This phenomenon was caused by an intense precipitation of 129 mm in 3 hours and intensified by the steep terrain. It produced around 600 shallow landslides, whose majority reached the river channels, in three sub-basins inside the municipality. This characterization, i.e., registration, is an important step in disaster management, both in the contribution to the understanding of this type of phenomenon, and in the capacity of the local population to protect future disasters.

Keywords – Disasters management, Debris flow, Municipality of Mocoia.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), fernando.zambrano@ufrgs.br

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), masato.kobiyama@ufrgs.br.

³ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), mauricio.paixao@ufrgs.br

* Autor Correspondente

1. INTRODUÇÃO

Os desastres relacionados com fenômenos naturais (daqui na frente chamados desastres naturais) são definidos como um sério distúrbio no funcionamento de uma comunidade ou sociedade, ocasionando impactos econômicos, ambientais e perdas humanas, os quais excedem a capacidade da comunidade afetada de se recuperar com seus próprios recursos (UNIDR, 2009). O *Centre for Research on the Epidemiology of Disaster* (CRED) classifica os desastres, a partir de seus fatores determinantes de ocorrências em Geofísicos, Meteorológicos, Hidrológicos, Climatológicos e Biológicos.

Segundo o *Emergency Events Database* (EM-DAT), os desastres naturais vêm aumentando consideravelmente, sendo os desastres hidrológicos caracterizados principalmente por inundações e movimentos de massa úmida, os mais representativos em termos de ocorrências, como em impactos humanos de escala global. Os dados mostram que os desastres hidrológicos em 2015 tiveram a maior participação, com 46,5% do total de desastres ocorridos, e causaram mais de 36,2 milhões de vítimas (Guha-Sapir *et al.* 2015).

A bacia do rio Amazonas é a maior bacia fluvial do mundo, abrangendo vários países da América do Sul (Peru, Colômbia, Bolívia, Venezuela, Guiana, Equador e Brasil), sendo que no Brasil localiza-se a maior área da bacia. Os principais afluentes desta bacia nascem na cordilheira dos Andes e seguem para extensas planícies na área do Brasil até seu exutório no Oceano Atlântico. Esta característica faz com que, em sua maioria, o principal interesse de estudo sejam as inundações.

No entanto, a região de sua cabeceira da bacia, caracterizada pelo relevo acidentado, torna-se propensa a grandes desastres hidrológicos relacionados principalmente a movimentos de massa úmida caracterizados por escorregamentos e fluxo de detritos. Este tipo de desastre vem gerando impactos sócioeconômicos e ambientais, além de numerosas perdas humanas. Porém, os desastres hidrológicos não estão somente relacionados ao relevo, pois muitas vezes existem diversas causas para este tipo de desastre, e uma das principais é a ocupação das áreas propensas a fenômenos hidrológicos extremos. Esta ocupação inadequada se dá tanto pela inexistência de percepção do risco por parte da população, quanto pela escassez de instrumentos de ordenamento territorial, além, da falta de pesquisa sobre o entendimento dos fenômenos.

Petley (2012) e Sepulveda e Petley (2015) demonstraram que quanto mais publicações técnico-científicas se realizem, menores serão os impactos sob a população. Assim, todos os trabalhos técnico-científicos podem auxiliar as medidas estruturais e não estruturais bastante úteis no gerenciamento de desastres naturais. Muitos destes trabalhos estão relacionados a subsidiar sistemas de monitoramento e alerta de desastres, como também o adequado ordenamento territorial. Porém, Kobiyama e Goerl (2007) demonstraram a importância de uma boa descrição do evento, sendo esta uma etapa fundamentalmente importante na prevenção de desastres naturais, e que está sendo deixada de lado.

Em 2017, no Município de Mocoa, estado do Putumayo - Colômbia, um desastre ocorreu destruindo grande parte da área urbana por um fluxo de detritos, resultado de vários escorregamentos e inundações provocadas por chuvas intensas. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma caracterização desse evento, analisando seus fatores e mecanismos de ocorrência do fenômeno, além da ocorrência do desastre.

2. CONCEITO DE MOVIMENTO DE MASSA

Recentemente a bacia do rio Mocoa sofreu diferentes fenômenos naturais referentes a movimentos de massas. Segundo o EM-DAT, os movimentos de massa podem ser divididos em seca e úmida. Os movimentos de massa seca estão relacionados a eventos gerados a partir da dinâmica interna do solo, como os terremotos (processos geofísicos). Os movimentos de massa úmida estão associados à presença de água no solo (processos hidrológicos). Em geral, os movimentos de massa são classificados em rastejos (*Creep*), escorregamentos (*Landslide*), quedas de blocos (*Fall*), e fluxos (*Flow*). Esta classificação é realizada em função da velocidade do fenômeno, tipo de material, geometria, teor de água e de sedimentos.

Na Colômbia as instituições responsáveis pelo gerenciamento de desastres, denominaram o recente desastre como evento *fluvio torrencial*, termo raramente utilizado na área científica. Embora existam diferentes termos entre países e também entre pesquisadores, o presente estudo adota o termo “fluxo de detritos”, que é o termo mais coerente da palavra em inglês *debris flow*. Segundo Takahashi (2007) os fluxos de detritos são definidos como fenômenos naturais compostos pela mistura de água, ar e sedimentos, governados pela gravidade, os quais se movem em massa e são dirigidos por forças dinâmicas de fluidos. Jakob e Hungr (2005) comentaram que os fluxos de detritos são um dos tipos de movimentos de massa mais perigosos devido à grande velocidade do fluxo e das longas distâncias que podem percorrer com alto poder destrutivo.

Os escorregamentos podem se dividir ainda em rotacionais (profundos) e translacionais (rasos). Os escorregamentos rotacionais apresentam planos de ruptura curvados e envolvem movimento de rotação da massa do solo (Selby, 1993). Escorregamentos translacionais ocorrem em camadas mais rasas de solo e apresentam superfícies de ruptura plana. Este tipo de escorregamento se dá em encostas íngremes, onde a fronteira entre o solo e a rocha torna-se propensa à superfície de ruptura e cuja profundidade da ruptura é muito inferior ao comprimento do talude.

Como acima mencionado, tais escorregamentos e fluxos de detritos compõem movimentos de massa. No entanto, diferenciar os tipos de esses movimentos não é tão simples, já que em alguns casos, os fluxos de detritos podem iniciar sob a forma de um escorregamento (geralmente translacional), que ao atingir os cursos de água, o material ganha velocidade e fluidez, passando a formar um fluxo de detritos. Segundo Takahashi (2014) a iniciação de um fluxo de detritos pode ocorrer a partir de três mecanismos: (i) sedimentos depositados no leito de um canal, que ao serem movimentados pela água, tornam a concentração de sólidos muito alta, aumentando a densidade do fluido, e se transformando em fluxos de detritos; (ii) a partir de um escorregamento, quando o mesmo atinge o canal e seus sedimentos são propagados; e (iii) colapso de uma barragem de detritos.

3. OCORRÊNCIA DO DESASTRE HIDROLÓGICO

3.1. Área de estudo

O Município de Mocoa está localizado ao Sul da Colômbia no Estado do Putumayo. Esse município faz parte da bacia do rio Mocoa na cordilheira centro-oriental e oriental, que por sua vez é uma sub-bacia da bacia do rio Amazonas em sua cabeceira. A bacia do rio Mocoa (312 km²) varia sua altimetria entre 341 e 3.632 m, sendo que o município de Mocoa está aproximadamente a 600 m de altitude. No entanto, os fenômenos hidrológicos que provocaram o desastre no município de Mocoa, localizaram-se nas sub-bacias do rio Taruca, Sangoyaco e Mulato (Figura 1).

Segundo Gomez *et al.* (2015) a litologia que abrange a área onde aconteceram os diferentes fenômenos inclui as formações Belém e Ospina do Grupo Orito, caracterizados principalmente por lodolitos, arenitos líticos e intercalações de conglomerados ferruginosos com presença de crostas de

gesso e camadas de carvão; abanicos aluviais, depósitos coluviais e planícies aluviais; e formação Mazogranito de Mocoa representado principalmente por granodioritos que variam de sienogranitos a tonalitos e de quartzomonzonitos a quartzomonzodioritos. Além disso, os solos que compõem esta área de estudo estão caracterizados principalmente por argissolos.

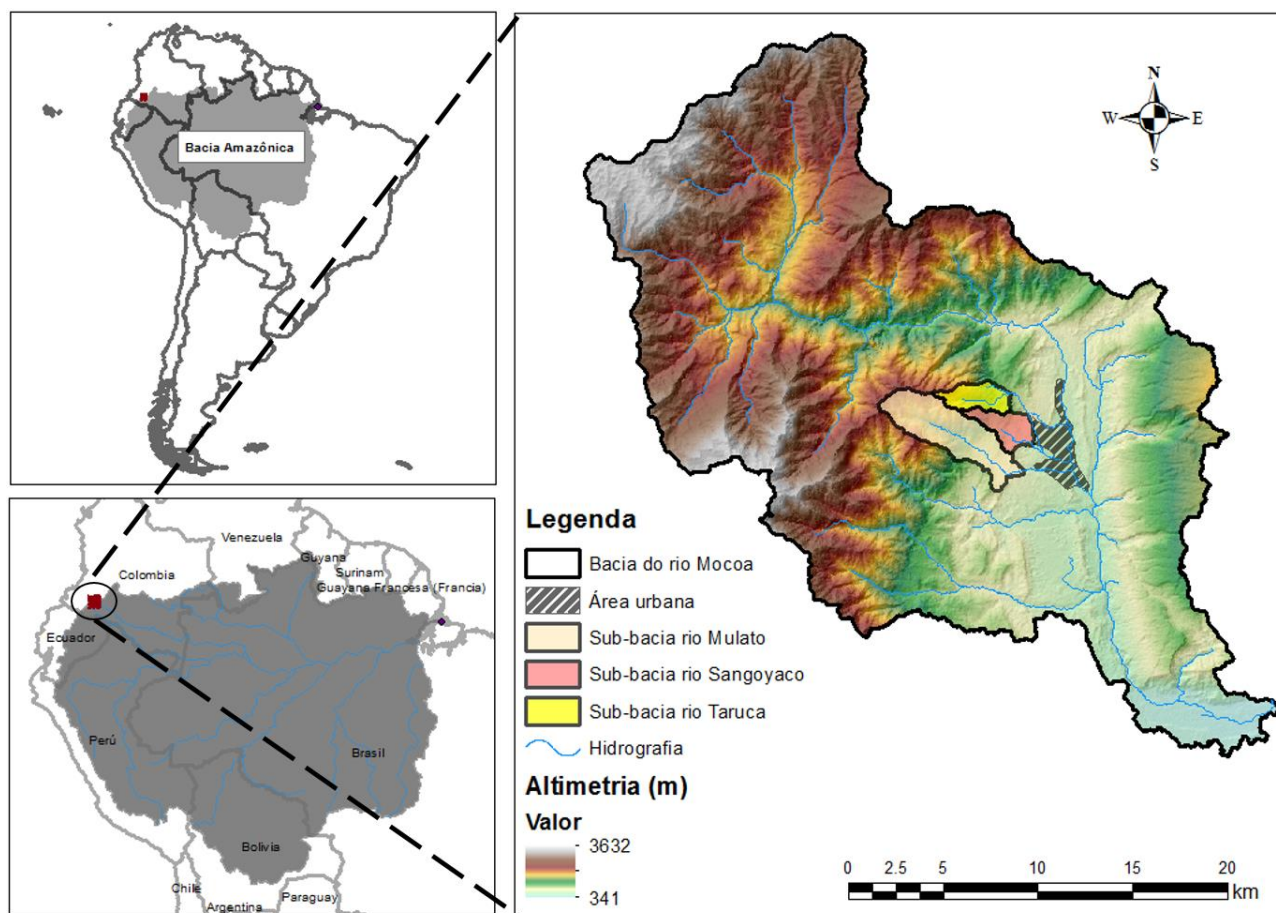


Figura 1 – Mapa de Localização e altimetria da bacia do rio Mocoa - Colômbia

3.2. Aspectos físicos dos Fenômenos

O dia 31 de março de 2017, apresentaram-se precipitações intensas e bem localizadas na cabeceira das bacias Mulato, Sangoyaco e Taruca. Segundo os dados do *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*, entre as 22:00 horas do 31 de março e a 01:00 hora do 1 de abril de 2017 se registrou uma precipitação de 129,3 mm, sendo esta equivalente a uma precipitação acumulada em condições normais de 10 dias na zona do Piedemonte amazônico. Os dados do IMERG, que representam dados de precipitação por satélite mostraram que os totais de chuva da área durante a semana entre o 26 de março a 2 de abril de 2017 foram maiores a 80 mm, onde estenderam-se desde o Leste de Mocoa até as altas montanhas que envolvem a cidade. Estas precipitações intensas teriam influenciado na deflagração dos diferentes fenômenos relacionados a escorregamentos e fluxo de detritos.

Os escorregamentos translacionais concentraram-se na parte alta e média (altitudes entre 1500 e 2000 m) das bacias do rio Mulato, Sangoyaco e Taruca. Suas inclinações chegaram até 76° nas encostas, sendo estimadas com base no mapa de declividades elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS/PARSAR de 12,5 x 12,5 m de resolução, lançado em 2006 pela Agencia de Exploração Aeroespacial do Japão. Estas altas declividades também teriam influenciado na

mobilidade de escorregamentos na encosta até alcançarem a calha do rio. A Figura 2 mostra os diferentes escorregamentos translacionais que aconteceram na área de estudo, ao exibirem uma superfície de ruptura de geometria plana, além de como alguns desses escorregamentos atingiram os cursos de água.



Figura 2 – Escorregamentos translacionais na bacia do rio Mocoa (Fonte: CORPOAMAZONIA, 2017)

Segundo o GFZ (2017) registraram-se aproximadamente 600 escorregamentos, amplamente distribuídos nas encostas das três sub-bacias. Estes foram identificados a partir de imagens de satélite obtidas do dia 10 de abril após o evento. A maioria dos escorregamentos, ao ser do tipo translacional, provocou que grande parte do material deslocado convergisse para o canal, gerando um fluxo de detritos, o qual foi propagado até a área urbana de Mocoa.

A propagação do material deslocado se deu por três rios, sendo o rio Taruca (6,56 km de comprimento), Sangoyaco (7,00 km de comprimento) e Mulato (10,37 km de comprimento). Em relação ao tipo e tamanho dos sedimentos, a equipe técnica da *Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia Colombiana* (CORPOAMAZONIA) junto à participação de diversas instituições de nível nacional e regional, realizaram a delimitação da área do desastre, mostrando grande presença de blocos de rocha e troncos de árvores em meio ao solo desprendido pelos escorregamentos, além de um solo de textura argilosa proveniente da formação geológica Orito (CORPOAMAZONIA, 2017).

Além disso, foram caracterizados os tamanhos dos sedimentos depositados durante o evento. A área atingida pelo fluxo de detritos (Figura 3), foi identificada a partir do trabalho áreas afetadas pelo fluxo de detritos em Mocoa, dados disponibilizados pelo programa do Instituto das Nações Unidas para Formação e Pesquisa (UNITAR/ONOSAT). Aqui localizou-se o corpo principal do evento, onde identificou-se blocos de pedra de grande tamanho, em uma porcentagem do 80% com dimensões entre 0,20 e 12 m de diâmetro, como também foram identificados troncos de árvore com comprimentos de até 30 m e diâmetro de 0,7 m aproximadamente. Em uma menor proporção, identificaram-se sedimentos de argilas e areias com 15% (CORPOAMAZONIA, 2017). As imagens (a), (b), (c), (d) da Figura 3 mostra algumas vistas das áreas afetadas pelo fluxo de detrito, onde grande parte da cidade de Mocoa foi devastada pelo fenômeno.

3.3. Ocorrência do Desastre

No dia do evento (31 de março de 2017), um fluxo de detritos atingiu grande parte da área urbana do Município de Mocoa, tornando-o um grande desastre hidrológico, considerando os

prejuízos socioeconômicos e ambientais, bem como as perdas humanas que se produziram. CORPOAMAZONIA (2017) relatou que a área total atingida foi de 358,4 ha considerando as áreas urbana e rural. Ao se considerar apenas a área urbana, 96 ha foram atingidos, ou seja, 31% da área do município.

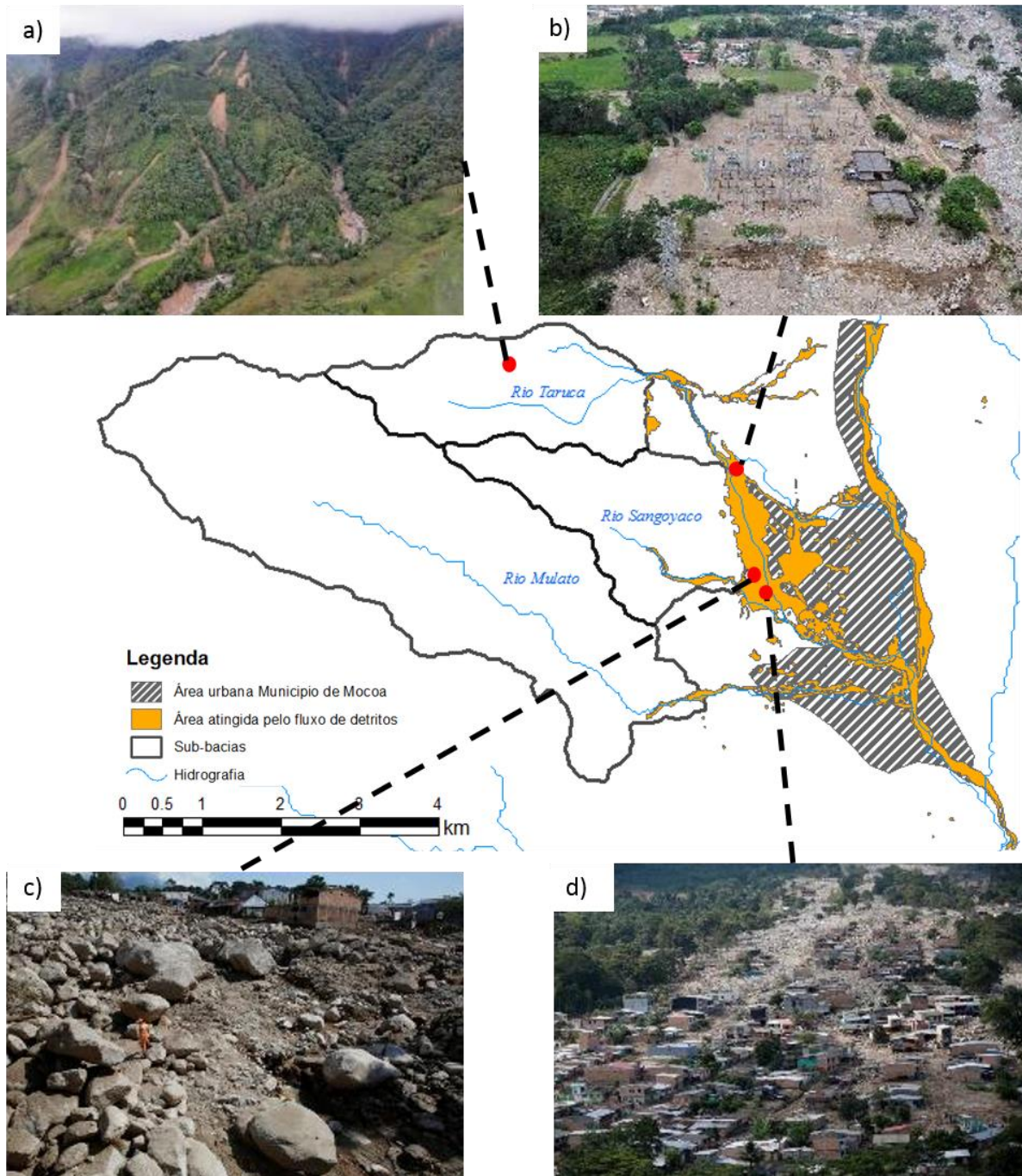


Figura 3 – Áreas afetadas pelo fluxo de detritos no Município de Mocoa, Colômbia: (a) escorregamentos translacionais na cabeceira da bacia Taruca; (b) estação de energia elétrica destruída; (c) diâmetro dos sedimentos; e (d) bairro destruído.

O desastre causou a perda, deterioração e destruição total de moradias de centenas de pessoas, além da destruição de seus bens e recursos econômicos. Segundo o decreto 0601 do 06 de abril de 2017 no qual o município declarou o estado de emergência econômica, social e ecológica, foram mais de 25 bairros atingidos pelo fluxo de detritos, onde muitos deles foram destruídos em sua totalidade. Além disso, foram afetadas sete pontes principais, 10 vias públicas, uma subestação de energia elétrica, rede telefônica, três plantas de tratamento de água potável e a rede de água e de esgoto.

Ao mesmo tempo, foi reportado que o número de mortes até aquele momento era de 290 pessoas. Além disso, o evento deixou 332 pessoas feridas, afetou 1518 famílias e em torno de 200 pessoas ainda estavam desaparecidas.

Neste contexto, as autoridades responsáveis pelo gerenciamento de desastres naturais, tais como a Unidade Nacional de Gestão do Risco de Desastres (UNGRD) no âmbito nacional e CORPOAMAZONIA no âmbito regional, além de diversas instituições, vêm desenvolvendo visitas técnicas de avaliação e monitoramento, a fim de definir ações para atender e recuperar as áreas afetadas pela ocorrência do fluxo de detritos no município de Mocoa.

Diversos pesquisadores e gestores relataram que este desastre podia ter sido evitado. Por exemplo, Sepulveda *et al.* (2015) analisaram os escorregamentos na América Latina, onde observaram que, os escorregamentos na Colômbia causam um grande número de perdas humanas, e que não se tem indicativos de que as perdas de vida por escorregamentos diminuam. Kuaran (2014) relatou o risco que o município de Mocoa estava sofrendo por uma eventual avalanche de rochas como ele denomina, provenientes de escorregamentos que atingiram o canal e que em qualquer momento podiam ser transportados até a área urbana. Estes relatos não foram ouvidos ou discutidos efetivamente pelas autoridades responsáveis, o que as levou a não tomar as medidas preventivas necessárias.

Assim, pode-se dizer que é de suma importância priorizar medidas preventivas integradas contra fluxo de detritos, ou seja, antes do evento acontecer, que envolva a compreensão dos mecanismos de ocorrência do fenômeno e a redução dos desastres associados ao mesmo. Existem dois tipos de medidas: estruturais e não estruturais. Em medidas estruturais, pode-se citar as atividades de construção civil, tais como as barragens *grid*, *check dam* ou *Slit-check dam* (Huebl e Fiebiger, 2005), porém demandam altos custos e nem sempre evitam que o desastre ocorra. Em relação às medidas não estruturais, pode-se citar o estabelecimento de leis, determinação de áreas de perigo, e a implementação de sistemas de alerta e de evacuação. Normalmente, estas medidas envolvem menos custos e são mais eficientes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ambientes montanhosos frequentemente geram fenômenos bastante rápidos e violentos (como é o fluxo de detritos), o que conseqüentemente traz os desastres às comunidades locais. A única maneira para reduzir tais desastres é o adequado e eficiente gerenciamento de desastres, dando ênfases a medidas de prevenção não estruturais.

Desta forma, o entendimento dos mecanismos de ocorrência do fenômeno se faz uma tarefa importante na hora de realizar um bom gerenciamento. Assim, o desastre acontecido no município de Mocoa o dia 31 de março de 2017, que causou grandes prejuízos, poderia ter sido evitado. Os eventos já ocorridos fazem um bom exemplo de aprendizagem para aumentar os conhecimentos sobre esses fenômenos e se proteger, conseqüentemente aumentando a resiliência na comunidade. Nesse sentido cito uma frase de Torakito Terada “*Os desastres naturais voltam quando os esquecemos*”.

REFERÊNCIAS

- CORPOAMAZONIA. (2017). Boletines sobre las evaluaciones del desastre de Mocoa. Disponível em: <http://www.corpoamazonia.gov.co/>. Acesso 15 de maio de 2017.
- GFZ. (2017). Landslide and debris flow detection – Mocoa, Colombia. Disponível em: <http://reliefweb.int/map/colombia/landslide-and-debris-flow-detection-mocoa-colombia-28-apr>. Acesso 18 de maio de 2017.
- GÓMEZ, J., NIVIA, Á, MONTES, N.E., ALMANZA, M.F., ALCÁRCEL, F.A. & MADRID, C.A. (2015). *Compilando la Geología: una visión de 2015*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales Bogotá, 9–33 p.
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. (2015). Annual Disaster Statistical Review 2014: The Numbers and Trends. Brussels: *CRED*. pp. 22.
- HUEBL, J.; FIEBIGER, G. (2005) Debris-flow mitigation measures. In: *Debris-flow hazards and related phenomena*. Org. por JACOB, M.; HUNGR, O. Springer-Verlag, pp. 445-487.
- JAKOB, M; HUNGR, O. (2005). *Debris-flow hazards and related phenomena*. SpringerVerlag Berlin, 739 p.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. (2007). Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters”. *SUISUI Hydrological Research Letters* 1, pp. 11-14.
- KUARAN, J. (2014). Quebrada la Taruca em Mocoa, tragédia anunciada de proporções inimagináveis, que as autoridades han hecho caso omisso. Disponível em: <http://notifronteras.com/ultimas-noticias/quebrada-la-taruca-en-mocoa-tragedia-anunciada-de-proporciones-inimaginables-que-las-autoridades-han-hecho-caso-omiso/>. Acesso 25 de maio de 2017.
- PETLEY, D.N. (2012). *Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding*. In: EBERHARDT, E.; FROESE, C.; TURNER, A.K.; LEROUEIL, S. (orgs.) *Landslides and engineered slopes*. CRC Press London, 3-13 p.
- SEPÚLVEDA, S.A.; PETLEY, D.N. (2015). Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.15, pp.1821-1833.
- TAKAHASHI, T. (2007). Progress in debris flow modeling. In: SASSA, K.; FUKUOKA, H.; WANG, F.; WABG, G. (eds.) *Progress in landslide science*. SpringerVerlag Heidelberg, 60-77 p.
- TAKAHASHI, T. (2014). *Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures*. CRC Press, 572p.
- UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *Terminology on disaster risk reduction*. UNISDR Geneva, pp. 9.