



## ABORDAGEM INTEGRADA PARA GERENCIAMENTO DE DESASTRE EM REGIÃO MONTANHOSA COM ÊNFASE NO FLUXO DE DETRITOS

DOI: 10.19177/rgsa.v7e0201831-65

Masato Kobiyama<sup>1</sup>, Roberto Fabris Goerl<sup>2</sup>  
Fernando Mainardi Fan<sup>3</sup>, Claudia Weber Corseuil<sup>4</sup>  
Gean Paulo Michel<sup>5</sup>, Vinicius Ferreira Dulac<sup>6</sup>



2º Seminário  
Internacional de  
**PROTEÇÃO E  
DEFESA CIVIL**

### RESUMO

Entre os vários efeitos das mudanças climáticas, o aumento da intensidade da chuva e dos erros de previsão do tempo tem sido observado no mundo inteiro, especialmente em regiões montanhosas. O primeiro aumento desencadeia mais frequentemente perigos naturais, como inundações bruscas, escorregamentos e fluxos de detritos, enquanto o segundo causa catástrofes mais severas associadas a tais perigos naturais. Como as inundações bruscas e os fluxos de detritos ocorrem de forma repentina, e suas velocidades são muito elevadas, há pouco tempo para emitir um alerta para que as pessoas atingidas salvem suas vidas. Isto exige que cada pessoa seja capaz de salvar sua própria vida, independente das autoridades locais e nacionais. Portanto, é necessário ter uma gestão integrada de prevenção de desastres, com adoção de medidas estruturais (construção de canais artificiais, barragens de contenção, etc.) e medidas não estruturais (sistema de alerta, mapeamento de perigo, educação e treinamento de moradores), a qual deve se basear no perfil da comunidade local e seus habitantes. No caso de redução de desastres hidrológicos, todas as medidas adotadas necessitam de dados hidrológicos, ou seja, dados de chuva e vazão. Portanto, uma rede de bacias-escola, que sirva para monitoramento, estudo hidrológico e educação comunitária, deve ser implementada em cada região montanhosa habitada. Os dados obtidos em cada bacia-escola permitem fazer a previsão hidrológica, servem de base para a adoção das medidas estruturais e para capacitar as comunidades locais para a prevenção dos desastres naturais.

**Palavras-chave:** Desastre. Região montanhosa. Fluxo de detritos. Bacia-escola.

1 Dr. Bacharel em Ciências Especiais. Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

2 Dr. Geógrafo. Professor do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: roberto.f.goerl@ufsc.br

3 Dr. Engenheiro Ambiental. Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: fernando.fan@ufrgs.br

4 Dra. Engenheira Florestal. Professora da Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: claudia.weber@ufsc.br

5 Dr. Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: gean.michel@ufrgs.br

6 Mestre. Gestor Ambiental. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: vfdulac@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

Montanhas podem ser facilmente encontradas em todas as partes do mundo. Um indivíduo sabe reconhecer montanhas, tendo seus próprios conceitos sobre as mesmas. Entretanto, as montanhas estão sendo claramente definidas e classificadas no mundo? No Brasil, o IBGE (2004), define montanha como uma região que apresenta encostas íngremes, com declividade maior do que 15% e altitudes superiores a 300 m, enquanto regiões de encostas suaves, com declividade menor do que 15%, e altitudes que variam entre 100 e 300 m, são classificadas como morros. Já Slaymaker (2004), define as montanhas como regiões com elevação absoluta (600 m acima do nível do mar), relevo superficialmente disponível ( $200 \text{ m/km}^2$ ) e declives topográficos ( $10^\circ$ ), e comenta que em nível internacional não existe uma definição padrão.

Devido à discrepância na definição de montanhas, surgiram diversas propostas para determinar a montanha mais alta do mundo. Normalmente, utiliza-se como referência a elevação absoluta acima do nível do mar e, conseqüentemente atribui-se ao monte Everest (Nepal) a montanha mais alta no mundo. Entretanto, sugerindo uma classificação de montanhas com base no relevo relativo (altura), Farias (2005) concluiu que a montanha mais alta no mundo é a de Dhaulagiri (também no Nepal). Por outro lado, pode-se dizer que, apesar de ter apenas 4207 m de altitude em relação ao nível do mar, Mauna Kea, na Ilha do Havaí é a montanha mais alta do mundo, neste caso considerando a medição desde a sua base até o pico, pois possui 10.105 m a partir do fundo do oceano Pacífico (5898 m abaixo da superfície, e 4207 m acima). O Monte Chimborazo também pode ser considerado o ponto mais alto do mundo, quando medida a distância do centro da Terra até o seu topo (em vez do nível do mar). O Chimborazo dista 6384,416 km do centro da Terra e o Everest 6382,605 km, o que dá uma diferença de 1,811 km. Aqui vale relatar que em 2014 a Autoridade de Informação Geoespacial do Japão declarou que o monte Hiyori, no município de Sendai é a montanha mais baixa (3 m) no Japão.

Reconhecendo que existem diversas definições de montanha e diferentes maneiras de determinar suas características, tais como a altura em relação ao nível do mar ou em relação a sua base, o presente trabalho considera a montanha como uma região que possui encostas declivosas, sem entrar em detalhes sobre a relação entre altura mínima e à declividade mínima da encosta. Portanto, trata

qualitativamente a montanha e o ambiente montanhoso e, conseqüentemente a bacia hidrográfica montanhosa. Deste ponto, pode-se dizer que uma região (ou bacia), caracterizada por diversas encostas bastante inclinadas é um ambiente montanhoso, e pode ser chamada de região (ou bacia) montanhosa.

Observando o Brasil por essa ótica, na porção leste, desde a parte norte até o sul, encontram-se muitos locais com ambientes montanhosos, o que permite dizer que a porção leste caracteriza-se predominantemente por bacias montanhosas. Nesta região (bacias montanhosas), encontram-se várias cidades de grande porte, como o Rio de Janeiro, São Paulo, Salvador, Belo Horizonte, Recife, entre outras. A população nestas cidades vem crescendo cada vez mais, e com isso, há a necessidade ainda mais de madeira para construção civil, de energia e também de alimentos, o que naturalmente causa a expansão das atividades florestais e agrícolas. Além disso, o aumento populacional causa a exploração das bacias montanhosas, devido à procura de mananciais e de locais para construção de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Assim, nas bacias montanhosas o uso e ocupação da terra tem se intensificado, e isso normalmente acontece sem planejamento adequado. Como consequência, aumenta a vulnerabilidade das comunidades que vivem na região montanhosa.

No ambiente montanhoso frequentemente ocorrem chuvas orográficas. No contexto de possíveis mudanças climáticas, a concentração espacial e temporal dos eventos de chuva torna-se cada vez mais discutida (ADAM et al., 2015). Essa concentração pode causar o aumento da intensidade de chuvas extremas, gerando ainda mais eventos hidrológicos de média ou alta magnitude.

Somada à possibilidade do aumento de índices pluviométricos extremos, estudos como o de Reynolds et al. (2017), examinaram a influência das mudanças climáticas na previsibilidade da chuva através da análise de previsões por conjunto, e demonstraram que a mudança climática poderá trazer aumentos notáveis na incerteza das previsões em diversas regiões. Isso implica que a mudança climática poderá aumentar os erros de previsão de tempo no futuro. Conforme matéria de THE GUARDIAN (2011), as mudanças nos padrões climáticos tornam a previsão das chuvas, particularmente difícil.

Assim, o uso intenso do solo sem planejamento adequado e a intensificação do regime pluviométrico são fatores potencializadores e causadores, respectivamente, das ocorrências de fenômenos naturais nas bacias montanhosas,

isto é, movimento de massa (escorregamento e fluxo de detritos) e inundação brusca. Tais fenômenos causam danos materiais, culturais e ambientais e também perda de vida humana. Além disso, a natureza repentina desses eventos torna a sua previsão um desafio tanto técnico como científico.

Mesmo que uma bacia seja predominantemente plana, sua região de cabeceira normalmente é um ambiente montanhoso. Por exemplo, a região de cabeceiras da bacia do rio Amazonas está localizada na cordilheira dos Andes, sendo formada por muitas bacias montanhosas. Justamente por causa de tal ambiente, a população desta região vem sofrendo com desastres, devido aos fenômenos naturais que ocorrem no ambiente montanhoso como, fluxo de detritos. Este tipo de desastre aconteceu na porção leste da Colômbia e foi relatado por ZAMBRANO et al. (2018).

Tais fenômenos naturais e seus consequentes desastres ocorrem sob a dinâmica da água. Justamente por isso é de extrema importância compreender os processos hidrológicos e o ciclo hidrológico e realizar um conjunto de ações de gerenciamento adequado dos recursos hídricos, de bacias hidrográficas e de desastres naturais. Então, o presente trabalho tem como objetivo discutir a importância da hidrologia como a ciência básica para compreender os processos hidrológicos e gerenciar adequadamente os recursos hídricos, especialmente em bacias montanhosas e em seguida, discutir o conceito básico de desastres naturais.

Desastres que frequentemente ocorrem em região montanhosa, ou seja, aqueles associados a fluxo de detritos são apresentados sob os aspectos históricos, geográficos e conceituais. Com base nestes aspectos são descritas as ações urgentes e necessárias para redução desses desastres. Por fim, discute-se o gerenciamento integrado para redução de desastres em bacias montanhosas com ênfase de fluxo de detritos.

## **2. HIDROLOGIA**

Para iniciar a *International Hydrological Decade* (IHD) em 1965, a UNESCO (1964) definiu a hidrologia como: “a ciência que lida com a água da Terra, sua

ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e sua interação com o ambiente físico e biológico, incluindo suas respostas para a atividade humana. A hidrologia é o campo que cobre a inteira história do ciclo da água na Terra”. Após o sucesso do IHD, a UNESCO tem continuado suas atividades voltadas à hidrologia no mundo, porém usando outro nome – *International Hydrological Programm* (IHP). Hoje está na sua fase VIII (JIMENEZ-CISNEROS, 2015). Para alcançar sua meta principal, isto é, a segurança hídrica, a fase VIII possui seis temas. No presente trabalho destaca-se o Tema 1- “Desastres relacionados à água e mudança hidrológica” e o Tema 6 - “Educação sobre a água: chave para segurança hídrica”. Isso implica que a comunidade dos hidrólogos necessita se dedicar para a redução de desastres causados pela dinâmica da água e, para isso, necessita melhorar a educação sobre água em todos os níveis.

Neste contexto, a *International Association of Hydrological Sciences* (IAHS), que é a principal associação científica na área da hidrologia no mundo, está realizando sua década internacional científica (*Panta Rhei: Everything flows*) (SAVENIJE, 2015). Esta Década Científica enfatiza o estudo integrado de processos hidrológicos à sociedade, destacando a sócio hidrologia. Cada vez mais a sócio hidrologia vem sendo discutida na comunidade de hidrólogos, por exemplo, Sivakumar (2012), Sivapalan et al. (2014) e Kuili et al. (2016). Nesta discussão, a sociedade ou as pessoas são o foco principal, comenta Savenije (2015).

Com base na hidrologia clássica Kobiyama et al. (2008) comentaram que, os três princípios hidrológicos dos recursos hídricos são: (1) ocorrência natural do ciclo hidrológico; (2) heterogeneidade espacial dos recursos hídricos; e (3) heterogeneidade temporal dos mesmos. Entretanto, considerando a hidrologia atual, ou seja, a sócio hidrologia, os princípios devem ser quatro, adicionando um item de “interação entre sociedade e água”. As heterogeneidades espaço-temporais dos recursos hídricos, as quais resultam do ciclo hidrológico, trazem a falta e o excesso de água à sociedade, o que conseqüentemente causa desastres. Observando que tais desastres vêm sendo intensificados pelas ações humanas, é bastante razoável colocar a interação entre o ser humano e a água como um dos princípios hidrológicos dos recursos hídricos.

### 3. DESASTRES NATURAIS E HIDROLÓGICOS

#### 3.1. Conceito e classificação

Em toda sua história a humanidade vem sofrendo com desastres, tentando reduzi-los e aprendendo a conviver com eles. Justamente por isso, várias instituições e comunidades desenvolveram seus próprios conceitos sobre desastres e também os fatores associados a eles, tais como perigo, vulnerabilidade e risco. Isto vem criando uma diversificação, divergência e até confusão conceitual, como Goerl et al. (2012) comentaram.

Como inundações, escorregamentos, fluxos de detritos, terremotos, vendaval, entre outros são fenômenos naturais que ocorrem frequentemente em qualquer parte do mundo e, potencialmente podem prejudicar a sociedade, estes podem ser chamados como perigos naturais (*natural hazards*). O Ministério da Integração Nacional (2012) definiu desastre como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável. Então, pode-se dizer que um perigo natural como a inundação pode ser considerado um desastre natural, somente quando causa prejuízo à sociedade, caso contrário é considerada apenas fenômeno natural. Em outras palavras, desastre não ocorre onde não há população envolvida. Como Marty (2009), comentou que os desastres não são puramente o resultado de eventos naturais, mas o produto de tais eventos no contexto social, político e econômico em que eles ocorrem. Justamente por isso, uma ciência como sócio hidrologia torna-se mais importante no estudo de desastres.

Em 2008, o *Emergency Disaster Data Base* (EM-DAT) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), órgão parceiro da Organização Mundial da Saúde(OMS), reclassificou os tipos de desastres em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos (SCHEUREN et al., 2008). Os naturais foram divididos em seis subgrupos: biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e extraterrenos (meteoritos), e estes, por sua vez, em outros doze subtipos. Esta nova classificação resultou de uma iniciativa entre os dois principais bancos de dados de desastres, o CRED e a *Munich Reinsurance Company* (MunichRe), os quais decidiram adotar uma classificação em comum para os seus respectivos bancos de dados (BELOW et al., 2009).

Uma das principais alterações foi a separação dos movimentos de massa em dois tipos: seca e úmida. O primeiro está associado apenas aos eventos geofísicos (terremotos) e o segundo aos condicionantes hidrológicos (poro-pressão e lençol freático). Independente da origem, tais movimentos de massa são comumente chamados de escorregamentos. A *UN- International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR) também adotou esta nova classificação, visto que o EM-DAT é o principal banco de dados utilizado pela ONU. A Tabela 1 mostra o resumo das classificações antiga e atual dos desastres naturais estabelecidas pelo CRED e ONU.

Tabela 1 – Classificações antiga e atual dos desastres naturais no CRED – ONU.

Classificação		Principais tipos
Antiga	Atual	
Geológico	Geofísico	Terremotos, vulcões, movimentos de massa ( <b>seca</b> )
Hidrometeorológico	Meteorológico	Tempestades
	Hidrológico	Inundações, movimentos de massa ( <b>úmida</b> )
	Climatológico	Temperaturas extremas, secas, incêndios
Biológico	Biológico	Epidemias, pragas, infestações de insetos

Fonte: Kobiyama e Michel (2014)

Brasil (2012) lançou a Lei 12.608/12 que institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil (PNPDEC). Para uma melhor explanação de alguns aspectos da PNPDEC, o Ministério da Integração Nacional (2012) publicou a Instrução Normativa - No. 01. Nesta Instrução Normativa, encontram-se vários fragmentos de texto onde o governo federal expressa a maneira como realizará a classificação brasileira dos desastres naturais, por exemplo:

“Art. 7º A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil adotará a classificação dos desastres constante do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU) e a simbologia correspondente.”

“Art. 8º Para atender à classificação dos desastres do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil passa a adotar a Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE, que segue como Anexo I desta Instrução Normativa.”

“ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES (COBRADE)... Adequar a classificação brasileira à classificação utilizada pela ONU representa o acompanhamento da evolução internacional na classificação de desastres e o nivelamento do país aos demais organismos de gestão de desastres do mundo. Além disto, a classificação adotada pela ONU é mais simplificada do que a Codificação dos Desastres (CODAR) utilizada hoje pelo SINDEC.”

A partir das três expressões acima citadas, fica claro que o Brasil tinha a intenção de tornar a classificação e codificação brasileira (COBRADE) muito semelhante à utilizada pela ONU, embora a brasileira seja mais detalhada. Entretanto, observa-se que a COBRADE não acompanha a alteração da classificação realizada pelo CRED, e mantém um estilo mais próximo à classificação antiga (Tabela 2).

Tabela 2 – Diferenças entre as classificações brasileira e internacional dos desastres naturais.

Classificação Brasileira		Classificação Internacional	
Classe	Tipos de desastres	Classe	Tipos de desastres
Geológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos</li> <li>• Vulcanismos</li> <li>• Movimentos de massa</li> <li>• Erosão</li> </ul>	Geofísico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremoto</li> <li>• Vulcanismo</li> <li>• Movimentos de massa (<b>seca</b>)</li> </ul>
Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de grande escala</li> <li>• Tempestades</li> <li>• Temperaturas extremas</li> </ul>	Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempestades</li> </ul>
Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundações</li> <li>• Enxurradas</li> <li>• Alagamentos</li> </ul>	Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundações</li> <li>• Movimentos de massa (<b>úmida</b>)</li> </ul>
Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secas</li> </ul>	Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Secas/estiagens</li> <li>• Incêndios</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epidemias</li> <li>• Infestações/pragas</li> </ul>	Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epidemias</li> <li>• Infestações de insetos</li> <li>• Debandadas de animais</li> </ul>

Fonte: Kobiyama e Michel (2014).

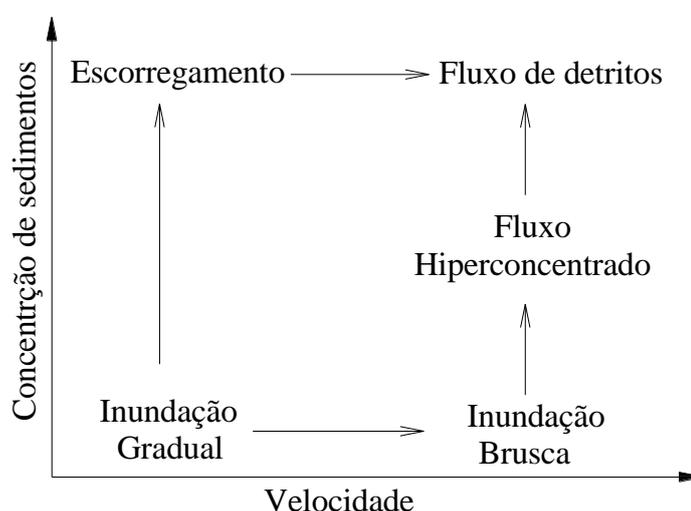
O presente trabalho adota a classificação do CRED. Segundo Kobiyama et al. (2010a), dentre todos os tipos de desastres naturais, os desastres hidrológicos (inundações + movimento de massa úmida) são os que acarretam maiores problemas tanto no Brasil, quanto no mundo. Por essa razão, a sociedade deve dar mais atenção aos desastres hidrológicos. Como o próprio nome diz, a hidrologia seria fundamental para redução de desastres hidrológicos, já que o principal causador desses desastres é chuva.

Há outro fator que justifica a importância da hidrologia no contexto de gerenciamento de desastres naturais. Independente do tipo de desastre (inundação, tsunami, vulcão, furacão, etc.), o item mais importante durante a ocorrência de um desastre é fornecer água potável às vítimas. O gerenciamento de recursos hídricos

para fornecer água aos afetados é essencial na fase de resposta a um desastre qualquer. Aqui, sabe-se que tal gerenciamento deve ser executado com base na hidrologia. Assim, o gerenciamento dos recursos hídricos, de bacias e de desastres são fortemente ligados entre si.

A Figura 1 demonstra conceitualmente os tipos dos desastres hidrológicos em relação à velocidade do processo e à concentração de sedimentos. Quando ocorre uma chuva intensa, podem ocorrer simultaneamente diversos desastres hidrológicos, o que pode dificultar a identificação do tipo, já que os desastres possuem um caráter transitório.

Figura 1 – Classificação conceitual dos tipos de desastres hidrológicos.



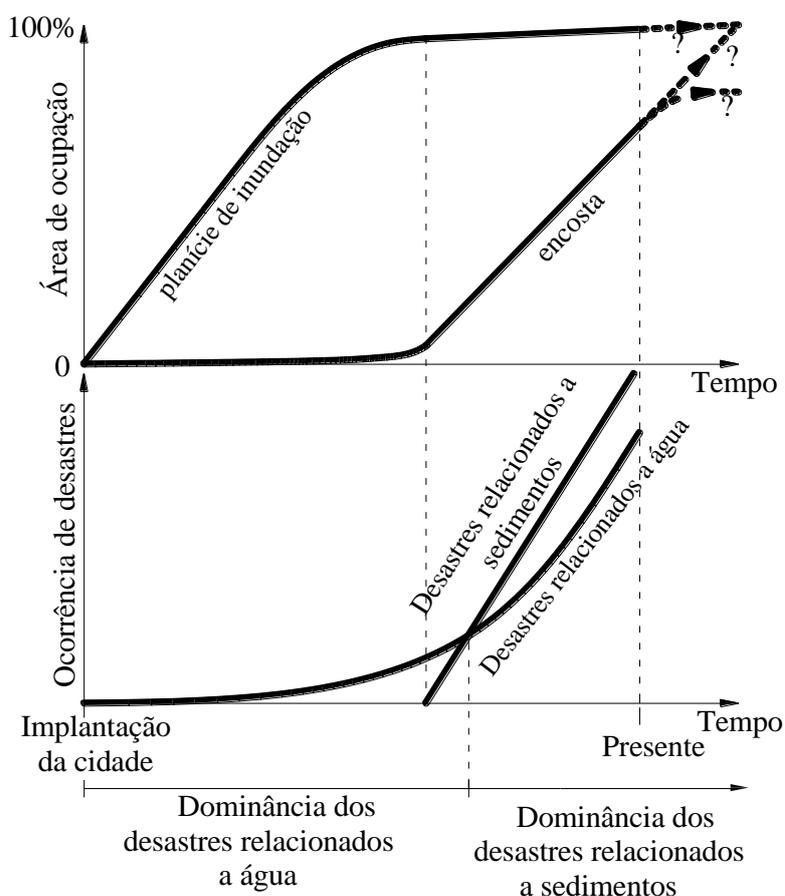
Fonte: Kobiyama et al. (2010a)

### 3.2. Evolução de desastres hidrológicos

Como os seres vivos, os desastres em uma região também manifestam evolução. Kobiyama et al. (2010a), explicaram a evolução de desastres hidrológicos ao longo da alteração da ocupação territorial em um município (Figura 2). Um dos fatores mais importantes relacionados à humanidade que desencadeiam os desastres hidrológicos se deve ao uso/ocupação da terra. Normalmente, o desenvolvimento de uma cidade começa com ocupação das planícies de inundação. Tal fato pode ser observado desde quatro civilizações antigas (rios Nilo, Indus, Amarelo, Tigres e Eufrates). Naturalmente, uma comunidade sofre inundações por causa do local de sua instalação inicial. Depois de ocupar a maior parte das

planícies de inundação, a comunidade crescente começa a ocupar as áreas de encostas, as quais têm maior potencial de gerar desastres relacionados a sedimentos do que as planícies de inundação. Portanto, após algum tempo, o número de ocorrências de desastres relacionados aos sedimentos pode ultrapassar os desastres relacionados à água.

Figura 2 – Evolução de desastres hidrológicos associada à mudança de ocupação da terra.



Fonte: Kobiyama et al. (2010a)

A observação do aspecto histórico da evolução de desastres facilita compreender a tragédia ocorrida, por exemplo, no Vale do Itajaí-SC em 2008. De acordo com Tachiniet al. (2009), as pessoas na região do Vale do Itajaí historicamente são preparadas para enfrentar inundações graduais, mas não para inundações bruscas e movimentos de massa úmida. Esse comportamento foi a principal causa dessa tragédia. As pessoas nesta região estão iniciando a conviver

com desastres associados ao movimento de massa úmida, devido à intensa ocupação de encosta, que começou na década de 90.

Assim, a sociedade relativamente nova, como a maioria da população brasileira, não possui experiência para enfrentar movimentos de massa. Em geral, enfrentar movimentos de massa é mais complexo do que enfrentar inundações. A Tabela 3 apresenta algumas semelhanças e diferenças entre desastres relacionados a inundação (água) e a movimento de massa (sedimentos). Claramente nota-se que enfrentar movimentos de massa é bem mais difícil do que inundações. Justamente por isso, a comunidade científica, especialmente hidrológica, deve dar mais atenção aos desastres com sedimentos, dedicando-se às pesquisas sobre movimentos de massa.

Tabela 3 - Semelhanças e diferenças entre desastres relacionados à inundação (água) - DRA e ao movimento de massa (sedimentos) - DRS.

	DRA	DRS
<b>Semelhanças</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desastres hidrológicos.</li> <li>• Ocorrências com chuvas intensas e/ou elevada quantidade acumulada.</li> <li>• Prejuízo à saúde pública.</li> <li>• Necessidade do planejamento da ocupação territorial.</li> <li>• Necessidade da popularização da hidrologia.</li> <li>• Importância de monitoramento e modelagem hidrológica.</li> </ul>	
<b>Diferenças</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O local de ocorrência é concentrado (beira do rio) e mais amplo.</li> <li>• A previsão de ocorrência é mais fácil.</li> <li>• Consequências: danos materiais (objetos, residências, plantações); desabrigados temporários; perdas humanas são raras.</li> <li>• Avaliação de situação de risco é visual e fácil; assim que o nível da água baixa, cada um sabe que pode voltar para casa.</li> <li>• Superação: pode ser superado poucos dias ou poucas semanas, após ocorrência, assim que o rio se normaliza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O local de ocorrência é bem espalhado e bem localizado.</li> <li>• A previsão de ocorrência é difícil.</li> <li>• Consequências: danos materiais (residências inteiras, terrenos, plantações); desabrigados temporários e permanentes; muitas perdas de vidas humanas.</li> <li>• Avaliação de situação de risco é muito difícil, pois o retorno da população às suas residências depende de avaliação rigorosa por especialistas.</li> <li>• Superação: o solo fica instável por meses ou anos; superar o desastre pode demorar meses ou anos.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

### 3.3. Desastres hidrológicos na região montanhosa

Uma bacia montanhosa caracteriza-se pelo comprimento e declividade da encosta maiores, processos hidrológicos mais rápidos, correntes dos rios mais

violentas, heterogeneidades espaciais dos recursos hídricos mais acentuadas e bacias hidrográficas de tamanho pequeno. Então, geralmente o tempo de concentração em cada bacia é pequeno. Sendo assim, caso ocorra qualquer inundação, normalmente é brusca (*flash flood*). Os desastres causados por este tipo de inundação vêm chamando mais atenção da comunidade científica nas últimas décadas (GRUNTFEST e HANDMER, 2001; SENE, 2013). Observando a Figura 1, pode-se dizer que os fenômenos de fluxo de detritos e fluxos hiper concentrados podem ocorrer junto com inundação brusca. Esses três fenômenos naturais podem ser identificados e classificados em termos de concentração de sedimentos e consequentemente de densidade de massa (Tabela 4).

A diferenciação desses três fluxos também pode ser feita do ponto de vista reológico. O fluxo de inundação brusca é Newtoniano, enquanto os fluxos hiper concentrados e de detritos são considerados não Newtonianos, o que pode chamar muita atenção e curiosidades dos cientistas, especialmente na área de hidráulica. Embora o fluxo de detritos faça parte dos desastres geológicos na COBRADE e está sendo estudado mais pelos geólogos no Brasil, os fluxos hiper concentrado e de detritos têm sido investigados pelos hidráulicos no mundo, por exemplo, WAN e WANG (1994) e TAKAHASHI (1991), respectivamente.

Tabela 4 – Diferenciação reológica dos tipos de fenômenos.

Fenômeno	Concentração de sedimento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência cisalhante (dina/cm <sup>2</sup> )	Tipo de fluido	Tipo de fluxo	Perfil de concentração de sedimento
Inundação brusca	1-40% (peso) e 0,4-20% (volume)	1,01 – 1,33	0 - 100	Newtoniano	Turbulento	Nãouniforme
Fluxo hiper-concentrado	40-70% (peso) e 20-47% (volume)	1,33 – 1,80	100 - 400	Não-Newtoniano	Turbulento a laminar	Nãouniforme para uniforme
Fluxo de detritos	70-90% (peso) e 47-77% (volume)	1,80 – 2,30	> 400	Não-Newtoniano ou visco-plástico	Laminar	Uniforme

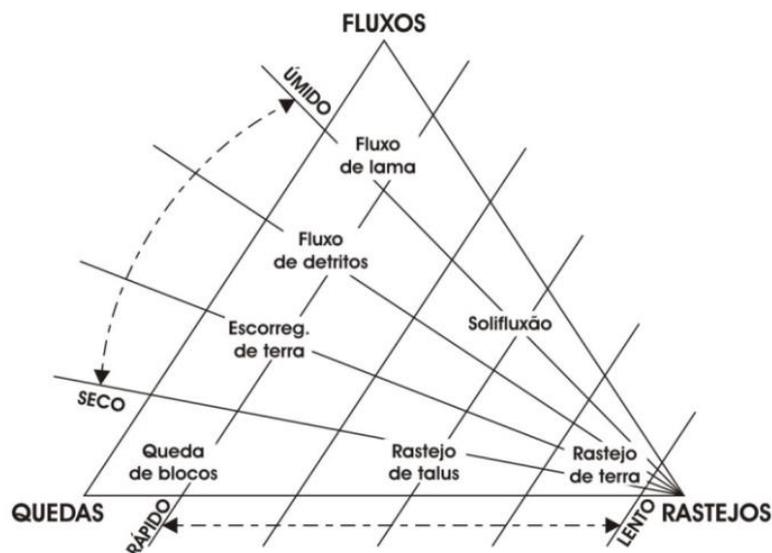
Fonte: Adaptado de Costa (1988).

## 4. FLUXO DE DETRITOS

### 4.1. Conceito

Segundo Takahashi (2007), o fluxo de detritos é composto por uma mistura de sedimento e água, que flui continuamente por ação da gravidade e tem grande mobilidade. Usualmente, os movimentos de massa, independente de ser seca ou úmida, podem ser divididos em: rastejamento, escorregamento translacional, escorregamento rotacional, queda de blocos e fluxo de detritos. Sendo assim, o fluxo de detritos é um tipo de movimento de massa. Carson e Kirkby (1975), tentaram explicar como diferenciar os tipos de fluxos de massa com um diagrama triangular (Figura 3). As Figuras 1 e 3 demonstram que o fluxo de detritos possui características similares ao fluxo de lama (ou hiper concentrado) e aos escorregamentos. Coussot e Meunier (1996), comentaram que o fluxo de detritos é um fenômeno intermediário entre fluxo hiper concentrado e escorregamento. Para Iverson (2004), o fluxo de detritos é um fenômeno transicional de movimento de massa, cujas características alternam-se entre escorregamento e inundação.

Figura 3 – Classificação dos tipos de movimento de massa



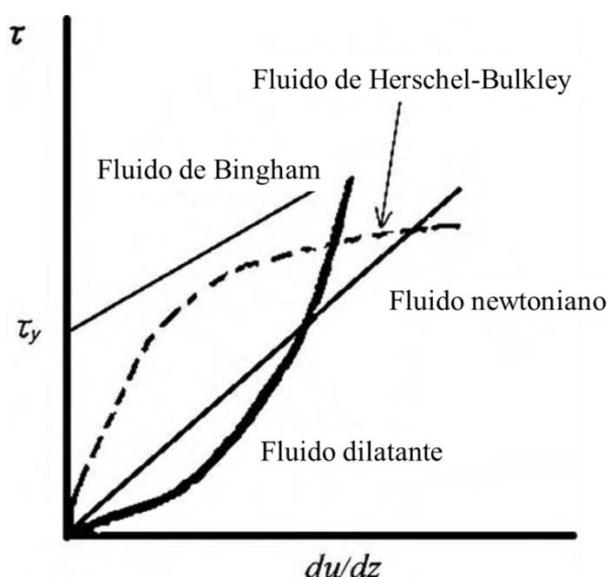
Fonte: Adaptado de Carson e Kirkby (1975).

Takahashi (2007), explicou diversos fluidos com diferentes curvas de consistência, as quais relacionam a tensão cisalhante com a taxa de deformação

(Figura 4). Como visto nessa figura, o fluido Newtoniano apresenta a seguinte relação:  $\tau = \mu \cdot (du/dz)$  onde  $\tau$  é a tensão cisalhante;  $\mu$  é a viscosidade dinâmica; e  $du/dz$  é a taxa de deformação. No caso de fluido não-newtoniano, há o fluido de Bingham:  $\tau = \tau_y + \eta(du/dz)$ ; o fluido de Herschel–Bulkley;  $\tau = \tau_y + K_1 \cdot (du/dz)^n$ ,  $n \leq 1$ ; e o fluido dilatante;  $\tau = K_2 \cdot (du/dz)^n$ ,  $n > 1$ . Salienta-se que Takahashi (2007) adotou o fluido dilatante para investigar computacionalmente o fluido de detritos.

Devido ao fato dos fluxos de detritos possuírem um caráter transicional e de fluidez, na comunidade científica encontra-se muita subjetividade na sua definição, identificação e descrição. Para reduzir a subjetividade na identificação destes fenômenos, poderiam ser utilizados alguns critérios, por exemplo, de Wilford et al. (2004), que consideraram o fluxo de detritos, a inundação de detritos e a inundação como processos hidrogeomorfológicos, e buscaram um método quantitativo para diferenciá-los através da morfometria.

Figura 4 – Curvas de consistência de diferentes fluídos



Fonte: Takahashi (2007).

#### 4.2. História e geografia da ocorrência no Brasil

Analisando Marcelino et al. (2006), Tominaga et al. (2009), Gramani (2015), entre outros, foram encontradas informações sobre ocorrências de fluxos de detritos no Brasil no período 1900-2015. A Tabela 5 apresenta os desastres com fluxo de

dejetos que causaram mais de 10 mortes humanas no período acima mencionado. O mais antigo desastre causado por fluxo de dejetos no Brasil, registrado tecnicamente, aconteceu em dois locais, Vale do Paraíba (SP/RJ) e Leopoldina (MG), em 1948. Observa-se que na década de 80 começou a aumentar a ocorrência e o registro deste tipo de desastre.

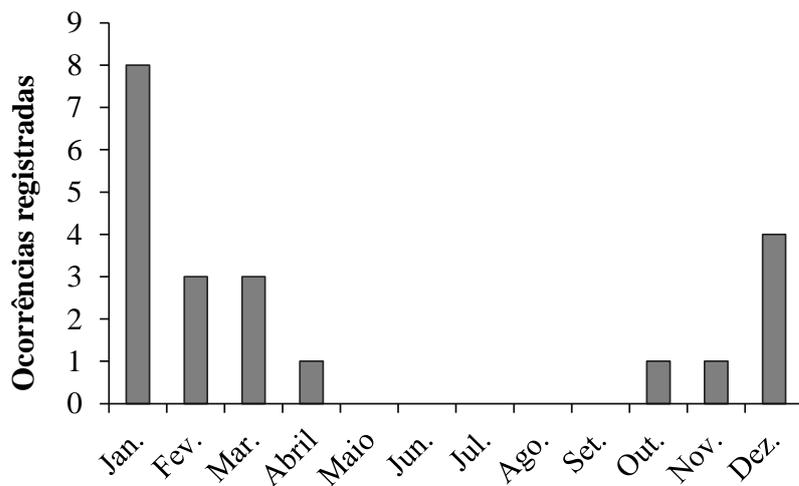
Tabela 5– Ocorrências de grandes desastres associados com fluxo de dejetos no Brasil no período de 1900-2014

Ano/mês	Local	Nº de mortes (aproximado)
1948/Dez	Vale do Paraíba (SP/RJ)	250
1948/Dez	Leopoldina (MG)	250
1967/Jan	Serra das Araras (RJ)	1700
1967/Mar	Caraguatatuba (SP)	120
1974/Mar	Maranguape (CE)	12
1974/Mar	Tubarão (SC)	40
1986/Dez	Lavrinhas (SP)	11
1988/Jan	Cubatão (SP)	10
1988/Fev	Petrópolis (RJ)	277
1988/Fev	Rio de Janeiro (RJ)	289
1990/Out	Blumenau (SC)	14
1995/Dez	Timbé do Sul (SC)	29
1999/Jan	Vale do Paraíba (RJ)	41
2000/Jan	Petrópolis (RJ)	22
2001/Jan	Petrópolis (RJ)	51
2003/Fev	Serra Fluminense (RJ)	36
2008/Nov	Vale do Itajaí (SC)	135
2010/Jan	Angula dos Reis (RJ)	30
2011/Jan	Serra Fluminense (RJ)	978
2013/Mar	Petropolis(RJ)	33
2014/Jan	Itaóca (SP)	27

Fonte: Elaborado pelos autores.

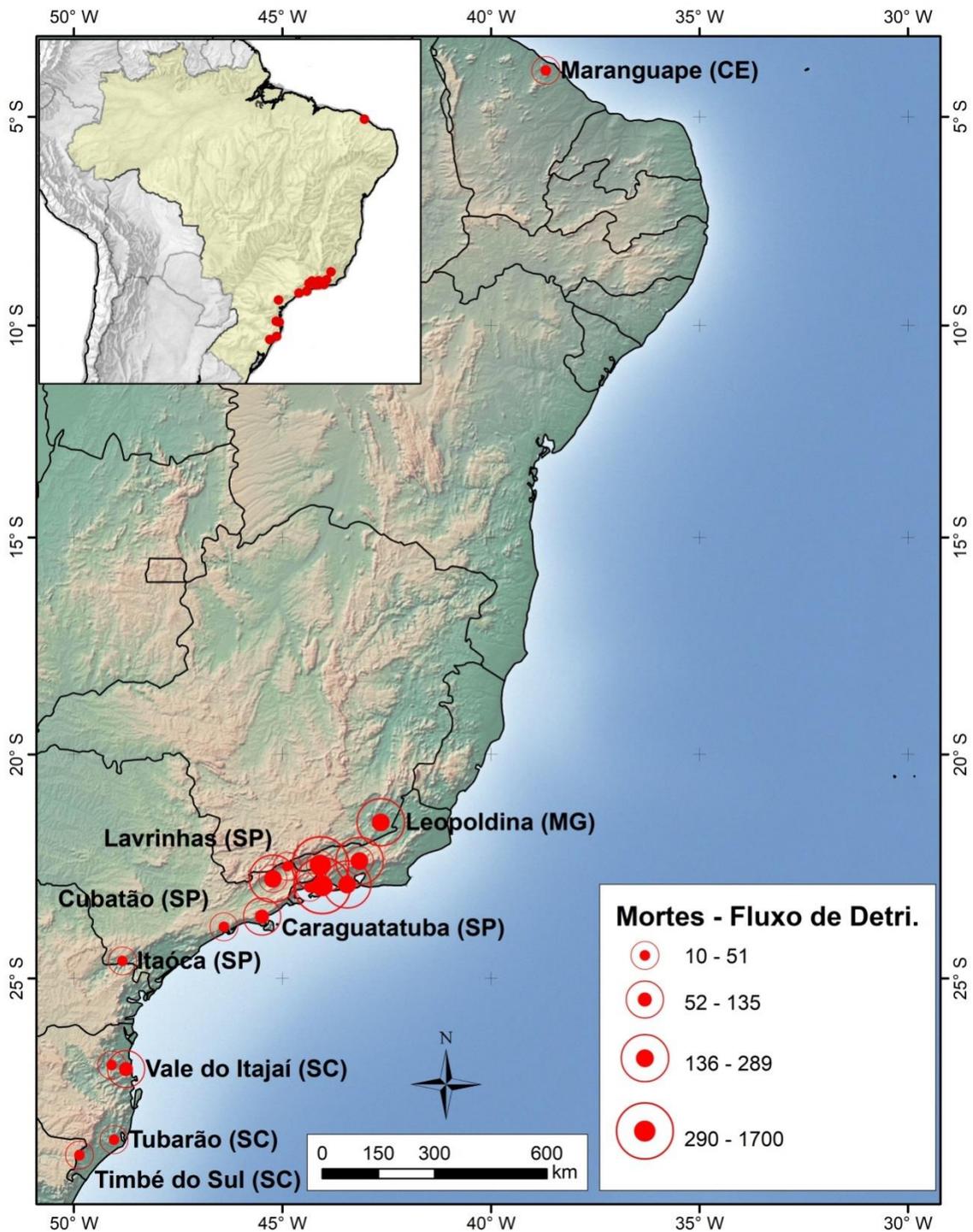
Com base nas informações da Tabela 5, a frequência mensal dessas ocorrências foi elaborada (Figura 5). Os desastres ocorrem com maior frequência no período de outubro a abril, o que evidencia que a chuva é a principal causadora deste fenômeno. Além disso, foi elaborado o mapa de ocorrência de grandes desastres com fluxo de dejetos no Brasil (Figura 6), no qual observa-se que os registros se concentram na porção leste do país, em áreas com características de ambiente montanhoso.

Figura 5 –A frequência mensal dos grandes desastres associados a fluxo de detritos no Brasil no período de 1900-2014.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6 – Localidades dos grandes desastres associados afluxo de detritos no Brasil no período de 1900-2014.



Fonte: Elaborado pelos autores.

## **5 AÇÕES NECESSÁRIAS PARA REDUÇÃO DE DESASTRES ASSOCIADOS A FLUXO DE DETRITOS**

Com base na história e na geografia da ocorrência de desastres associados a fluxo de detritos e seu atual gerenciamento a fim de reduzi-los, o presente trabalho propõe cinco ações necessárias e urgentes no Brasil: (1) estabelecimento de conceito e terminologia padrão; (2) sistematização do monitoramento hidrometeorológico e levantamento topográfico; (3) registros das ocorrências e construção de banco de dados de desastres naturais; (4) mapeamento de áreas de perigo ou suscetíveis a fluxo de detritos; e (5) pesquisas científicas sobre fluxos de detritos lenhosos.

### **5.1 Estabelecimento de conceito e terminologia padrão**

Embora o presente estudo adote o termo fluxo de detritos, a Proteção e Defesa Civil no Brasil, utiliza o termo “corrida de massa”, conforme estabelecido pela COBRADE. Na classificação de desastre, este fenômeno é considerado como hidrológico pelo CRED (nível internacional) e como geológico pela COBRADE (nível nacional). Assim, nota-se uma divergência na terminologia e conceito relacionados a este fenômeno e desastre.

Por meio de reuniões técnico-científicas com setores de proteção e defesa civil, universidades, institutos de pesquisa, comitês de bacias, entre outros, deve-se uniformizar essas terminologias e conceitos. Para isso, a metodologia quantitativa proposta por Wilford et al. (2004) deverá ser cada vez mais empregada no Brasil, a fim de melhorar a metodologia de registro.

### **5.2. Sistema de monitoramento hidrometeorológico e levantamento topográfico**

É comumente dito que chuvas intensas podem causar fluxos de detritos (ZNAMENSKY, 2014). Justamente por isso, a chuva necessária para desencadear fluxos de detritos (por exemplo, SUZUKI et al., 1979; KOBASHI e SUZUKI, 1987; WIECZOREK e GLADE, 2005) e escorregamentos (por exemplo, SUZUKI e KOBASHI, 1981; TATIZANA et al., 1987; MICHEL et al., 2015) é um dos principais temas abordados atualmente na ciência e tecnologia voltadas ao gerenciamento de desastres.

Para avançar ainda mais o conhecimento sobre fluxos de detritos, é necessário implementar um sistema de monitoramento automático de chuva e vazão. Devido ao fato desse fenômeno ocorrer bruscamente, principalmente nas regiões montanhosas, esse sistema deve ser implementado mais intensamente nas cabeceiras das bacias e preferencialmente deverá ter curto intervalo de medição. Conforme Kobiyama et al. (2009), esse valor deveria ser 10 minutos ou menor.

Tratando de um desastre com fluxo de detritos e inundação brusca ocorrido na região do Alto Sinos/RS no dia 05 de janeiro de 2017, DRH/SEMA-GPDEN/IPH/UFRGS (2017) relatou a importância da medição de chuva que vem sendo realizada por diversos agricultores na região. Embora o ideal seja que os órgãos públicos implementem um sistema de monitoramento intensivo e automático, implementar este sistema com aparelhos caseiros junto com moradores rurais das regiões montanhosas pode ser uma alternativa para a falta de um sistema de monitoramento oficial. Por isso, a conscientização e o envolvimento dos moradores são fundamentais.

Segundo Paixão et al. (2018), um dos fatores que influenciam o desenvolvimento do fluxo de detritos é a condição topográfica. Para compreender melhor este fenômeno estimulá-lo computacionalmente, a fim de elaborar medidas preventivas, é necessário criar um banco de dados com melhor resolução de bases cartográficas e modelo digital de terreno (MDT), ou seja, com resolução espacial compatível com a magnitude dos eventos, a qual possibilite a sua identificação e medição de forma mais precisa.

Vários trabalhos avaliaram o efeito da qualidade (resolução espacial) do MDT no desempenho dos modelos computacionais, a fim de mapeamento, por exemplo, Wu e Huang (2008) e Goerl et al. (2017) para inundações; Claessens et al. (2005) para escorregamentos, e Fischer et al. (2012), Horton et al. (2013) e Sodnik et al. (2013) para fluxo de detritos.

As regiões que sofrem frequentemente movimentos de massa apresentam alteração drástica de paisagem, devido aos processos erosivos (desagregação, transporte, e deposição) e, por consequência modificação de sua condição topográfica. Isto implica na necessidade frequente de atualização de mapas topográficos e dos MDT's das áreas susceptíveis ao movimento de massa e à erosão superficial.

Salienta-se que todos os dados oriundos do monitoramento hidrológico e dos levantamentos topográficos e batimétricos devem ser disponibilizados para toda a comunidade, com objetivo de promover a conscientização da mesma e também as pesquisas científicas.

### **5.3. Registros de ocorrências e construção de banco de dados**

A ciência ou um estudo científico sobre um fenômeno quase sempre inicia a partir de observações do mesmo. Por isso, para avançar os estudos científicos sobre fluxos de detritos é fundamental realizar o registro de todas as ocorrências, independente do evento ter causado ou não um desastre. Existem diversas equações que foram estabelecidas somente a partir de bancos de dados contendo registros de ocorrências. Por exemplo, a equação que relaciona o ângulo de percurso do fluxo com o volume total de sedimento produzido (COROMINAS, 1996; RICKENMANN, 1999). Como uma equação que descreve a situação brasileira ainda não foi elaborada, Kobiyama et al. (2010b) compararam seu resultado, com fenômenos que ocorreram na Europa, usando uma figura de RICKENMANN (2005). Para verificar a semelhança entre a situação brasileira e a europeia e/ou para gerar a própria equação a fim de descrever a condição dos fluxos brasileiros, é imprescindível que um banco de dados contendo registros de ocorrências de fluxos de detritos seja criado e disponibilizado na íntegra a todos interessados.

Na elaboração dos registros e construção de banco de dados é necessário que alguns parâmetros mínimos sejam apontados. Existem, de maneira geral, sugestões e manuais para registros de escorregamentos, por exemplo, o manual de HIGHLAND e BOBROWSKY (2008) e COROMINAS et al. (2014). Entretanto, não foi encontrado um manual que apresente detalhes e recomendações para o registro da ocorrência de fluxos de detritos. O regime pluviométrico, informação topográfica e o horário de ocorrência são características fundamentais que devem ser registradas. Além disso, caso seja possível, informações pedológicas, geológicas, sedimentológicas, reológicas, hidráulicas, e outras características hidrológicas, também devem ser registradas. Vale salientar que o ambiente no Brasil caracteriza-se por ter altas temperaturas, pluviosidade e biodiversidade, fazendo com que os fluxos de detritos ocorram de forma diferente daqueles que ocorrem em outros países, especialmente na Europa e América do Norte.

Em campo, minimamente deve-se identificar as áreas de iniciação, transporte e deposição dos fluxos de detritos. Em cada área, é preciso identificar também as profundidades de erosão e/ou deposição. Esses levantamentos em campo devem ser feitos o quanto antes possível, pois os processos erosivos nos locais de ocorrência do fluxo de detritos são normalmente muito dinâmicos, causando uma rápida alteração das características geomorfológicas na paisagem. A Figura 7 mostra a rápida alteração da paisagem após a ocorrência desse fenômeno. Logo depois da ocorrência de um fluxo de detrito, o levantamento topográfico se torna extremamente oneroso e perigoso. Entretanto, se este levantamento for efetuado bem mais tarde, não será fácil coletar os dados corretamente.

Aqui vale salientar os comentários de Quarantelli (2001), que tratou dos problemas de registros de desastres e também da sua análise estatística. A baixa qualidade dos dados de registro pode causar problemas nos resultados científicos que, conseqüentemente, resulta no gerenciamento de desastres inadequado ou até mesmo errado, prejudicando a sociedade.

Figura 7 – Alteração das características de percurso e deposição no fluxo de detritos ocorrido em Rio dos Cedros/SC em novembro de 2008: (a) 29/01/2009; (b) 07/06/2010.



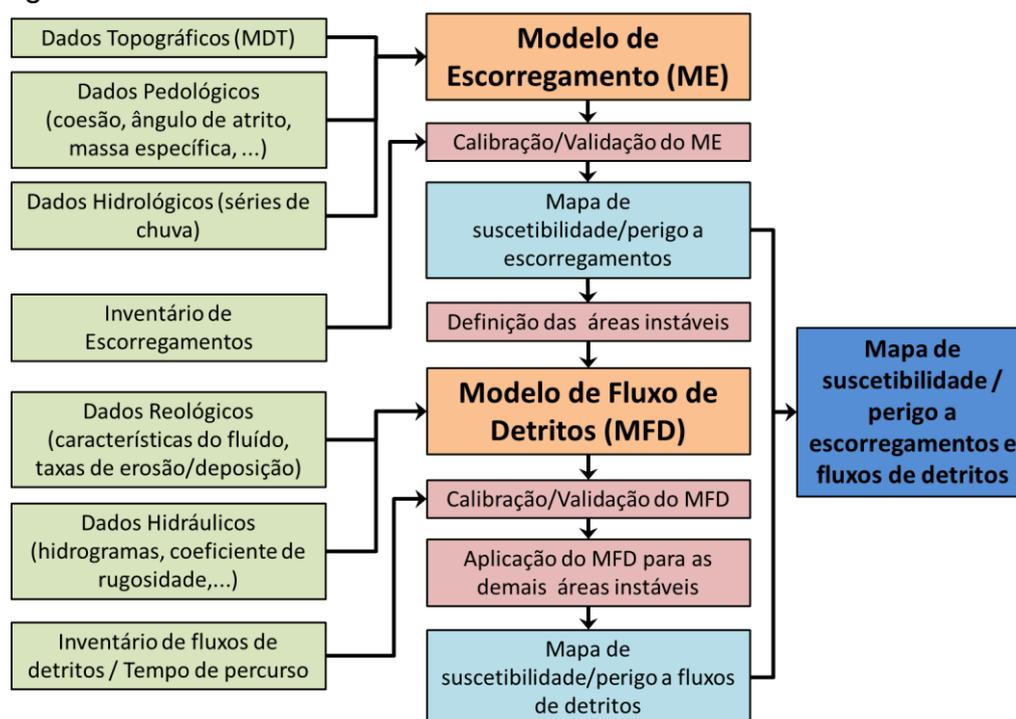
Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 5.4. Mapeamento de área de perigo ou suscetível a fluxo de detritos

O PNPDEC exige dos governos estadual e municipal a elaboração de mapas de risco. Como o risco é função de perigo e de vulnerabilidade, em primeiro lugar é necessário elaborar os mapas de perigo de fluxo de detritos. Embora existam diversos métodos para tais mapeamentos, aqueles elaborados por meio de modelos computacionais, com uso do banco de dados brasileiros, podem ser muito úteis e mais realistas.

Como Richitet al. (2017), apresentaram, há muitos *softwares* que simulam o fluxo de detritos no mundo. Desta forma, para a elaboração de mapas de perigo pelas prefeituras municipais no Brasil, um *software* livre pode ser útil, por exemplo, o Kanako-2D proposto por Nakatani et al. (2008). Michel e Kobiyama (2016), propuseram um procedimento de mapeamento de áreas de susceptibilidade/perigo a escorregamentos e fluxos de detritos por meio da utilização conjunta do SHALSTAB (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998) e Kanako-2D (Figura 8). Com base em Michel e Kobiyama (2016) e Paixão e Kobiyama (2017), pode-se dizer que o uso do modelo Kanako-2D para o mapeamento de área de perigo de fluxo de detritos tem grande potencial no Brasil.

Figura 8 – Procedimento para mapeamento de áreas de susceptibilidade/perigo a escorregamentos e fluxos de detritos.



Fonte: Michel e Kobiyama (2016).

Como acima mencionado, o risco é função do perigo e vulnerabilidade. Muitos moradores na região montanhosa não acreditam que o fluxo de detrito possa alcançar suas casas e também muitos turistas que exploram a montanha não reconhecem o elevado potencial de alcance do fluxo. Portanto, os mapas de perigo, elaborados por meio de modelos computacionais ou por outros métodos, devem ser apresentados à população, a fim de demonstrar o perigo real desse fenômeno. Essa conscientização certamente reduzirá a vulnerabilidade da população. A maior vulnerabilidade da população está no fato de que ela não acredita que o fluxo atingirá o local onde ela vive.

### 5.5. Pesquisas sobre fluxos de detritos lenhosos

Como Takahashi (2007) mencionou, o fluxo de detritos normalmente possui uma mistura de duas fases (sedimentos e água). No caso de a região montanhosa ser coberta por floresta, os troncos têm influência significativa. Entretanto, os efeitos dos troncos ou da vegetação em geral nos mecanismos de ocorrência dos fluxos de detritos ainda não são compreendidos cientificamente de maneira satisfatória

(LANCASTER et al., 2003; STOFFEL e WILFORD, 2013). Embora existam diversas tentativas de modelar a dinâmica dos troncos no fluxo de detritos (WALLERSTEIN, 2003; MAZZARONA et al., 2011; SHRESTHA et al., 2012), nenhum modelo até o momento apresentou resultados satisfatórios.

Realizando uma revisão de literatura sobre a dinâmica dos troncos em nível de bacias hidrográficas para a condição de clima temperado, Seo et al. (2010), comentaram que os troncos possuem efeitos positivos na ecologia fluvial e função negativa em relação ao gerenciamento de desastres fluviais. Além disso, enfatizaram que o papel dos troncos nos rios varia entre regiões com diferentes climas.

No Brasil, o clima tropical e subtropical favorece o desenvolvimento da biodiversidade e conseqüentemente da biomassa vegetal nas bacias hidrográficas, especialmente nas zonas ripárias. Como a vegetação ripária é muito rica, a presença de vegetação e de troncos nos fluxos de detritos pode ser excepcionalmente significativa. Isto permite dizer que, quando ocorre um fluxo de detritos no Brasil, em bacias com presença de florestas, ele pode ser categorizado como um fluxo de detritos lenhosos (*woodydebrisflow*). Assim, os estudos realizados no Brasil devem focar a dinâmica dos troncos no contexto integrado do fluxo de detritos. Além das observações em campo e modelagens computacionais, existem diversos estudos com modelos reduzidos realizados em laboratórios com uso de canais artificiais, por exemplo, ITOH et al. (2010) e WATANABE et al. (2013). Por essa razão, é de extrema importância que a comunidade científica brasileira realize este tipo de estudo.

## **6 GERENCIAMENTO INTEGRADO DE DESASTRES DE FLUXO DE DETRITOS**

O objetivo principal do gerenciamento de desastres associados afluxo de detritos é reduzir seus efeitos para população, sendo que a meta final é morte humana zero. Para esta redução, pode-se tomar medidas estruturais e não estruturais. Em relação às estruturais pode-se citar a construção de barragens do tipo aberto (*grid-check dam* ou *slit-check dam*), zonas tampão com reflorestamento, entre outros (HUEBL e FIEBIGER, 2005). Em relação às não estruturais, pode-se adotar estabelecimento de leis, identificação de áreas de perigo, implementação de

sistema de alerta e evacuação nos locais de ocorrência de fluxo de detritos, entre outros.

Em geral, a ocorrência de fluxo de detritos apresenta forte tendência de linearidade, enquanto que as inundações bruscas e graduais manifestam tendência bidimensional. Em outras palavras, a ocorrência de fluxo de detritos abrange, relativamente, menor área, atingindo um menor número de casas (famílias), em comparação às inundações. Apesar disso, causam elevado número de mortes humanas quando comparados às inundações.

Devido ao alto poder destrutivo dos fluxos de detritos, a execução de medidas estruturais, geralmente, demanda altos custos de investimentos, diminuindo a eficiência da sua implantação. Isto reforça a necessidade de investimentos em medidas não estruturais, que requerem menos custos, no caso de redução dos desastres relacionados a fluxo de detritos.

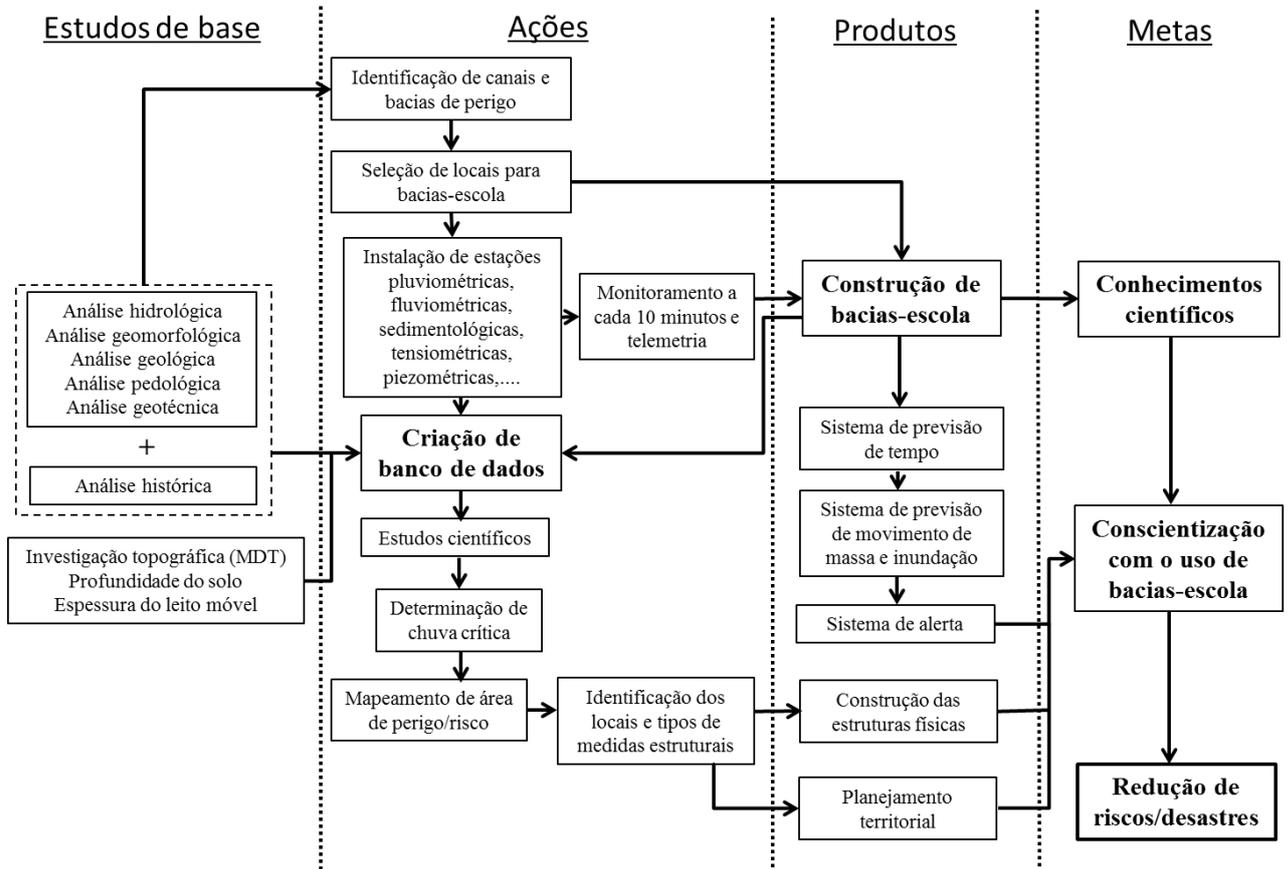
Nas medidas não estruturais, o desenvolvimento tecnológico de previsão de ocorrência e de estimativa do alcance de fluxos de detrito é de extrema relevância para o planejamento das medidas estruturais, mapeamento das áreas susceptíveis e para o estabelecimento de sistemas de alerta e evacuação. O mapeamento de áreas de perigo limitará o livre acesso e a ocupação humana nestes locais. Isto provavelmente causará a realocação e, eventualmente, evacuação da população destes locais. Essas ações poderão resultar em grandes prejuízos sociais e econômicos.

Justamente por isso, o mapeamento e o sistema de alerta/evacuação devem ser executados com embasamento científico e tecnológico bem consolidado. Com esta finalidade, Michel e Kobiyama (2016), propuseram uma metodologia para mapear áreas susceptíveis a escorregamentos e fluxos de detritos por meio de modelos computacionais. Esta metodologia pode ser bem executada somente com os dados obtidos de monitoramento em bacias-escola.

A Figura 9 apresenta resumidamente uma abordagem integrada do gerenciamento de desastres associados a fluxos de detritos com base em bacias-escola. Inicialmente, devem ser realizadas análises hidrológicas, geomorfológicas, geológicas e históricas, a fim de identificar os canais e bacias susceptíveis à ocorrência de fluxo de detritos. Posteriormente, é necessário construir bacias-escola, conforme descrevem Kobiyama et al. (2009), por meio de instalação de estações de monitoramento pluviométricas, fluviométricas, sedimentológicas, piezométricas e

tensiométricas. Na execução do monitoramento com estas estações, recomenda-se que o intervalo de tempo de medição seja de no máximo 10 minutos, devido à alta velocidade do mecanismo de ocorrência do fluxo de detritos.

Figura 9 – Gerenciamento integrado para redução de desastres associados a fluxos de detritos com base em bacias-escola.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas bacias-escola, ainda é necessário realizar medições topográficas, da profundidade do solo em encostas e do sedimento no leito do canal, das características hidráulicas, mecânicas e reológicas do solo, entre outras. Todos os dados obtidos nas pré-análises, investigações e monitoramento devem ser armazenados em um banco de dados. Esse, por sua vez, deve ser disponibilizado para a comunidade em geral, visando aumentar a familiaridade da população com dados ambientais.

Por meio das bacias-escola, os pesquisadores podem armazenar as informações no banco de dados, e, conseqüentemente, aumentar o conhecimento acerca deste fenômeno. Além disso, os dados monitorados devem ser inseridos no

sistema de monitoramento em tempo real para serem utilizados na previsão dos fenômenos, no contexto do sistema de alerta. Ainda, diversos setores e instituições devem compartilhar este sistema de monitoramento e utilizá-lo para a educação relacionada às ações de proteção e defesa civil. Assim, finalmente as bacias tornam-se bacias-escola para a comunidade local.

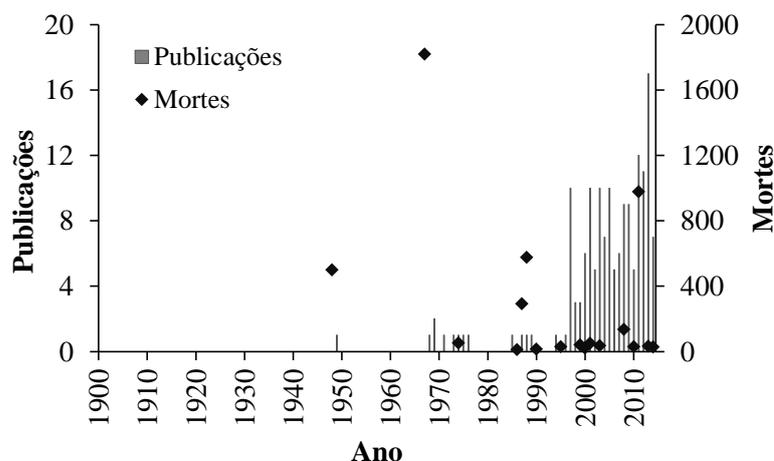
## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No Japão, a ocorrência dos desastres associados a fluxos de detritos e escorregamentos ocorridos nos municípios de Kure e de Hiroshima, em junho de 1999, fez a população reconhecer a necessidade do fortalecimento de medidas estruturais, estabelecimento de métodos de evacuação mais eficientes, limitação de atividades humanas nas áreas de perigo, entre outros. Assim, o governo japonês estabeleceu a Lei de Promoção de Medidas Preventivas contra Desastres de Sedimentos, em Áreas de Alerta de Desastres de Sedimentos (Lei de Prevenção de Desastres de Sedimentos) em abril de 2000 (IPR, 2003). Desta maneira, o Brasil também deveria estabelecer leis similares, visando à redução de perdas humanas e econômicas, relacionadas a este tipo de desastre.

Além da criação de leis há a necessidade de mais medidas preventivas. No entanto, não existem até o momento, movimentos sociais que reivindiquem o estabelecimento dessas medidas. Isso provavelmente resulta da falta de conhecimento e interesse social sobre o fenômeno de fluxo de detritos.

Pode-se dizer também que esse fato acontece devido ao pequeno número das publicações técnico-científicas sobre fluxo de detritos. Kobiyama et al. (submetido) graficamente apresentaram a frequência de ocorrência de grandes desastres de fluxo de detritos e o número de publicações técnico-científicas sobre os mesmos, no Brasil (Figura 10). Embora o número de publicações vem aumentando, ainda não é satisfatório.

Figura 10 – Histórico dos trabalhos científicos sobre fluxos de detritos e o número de mortes relacionadas, no Brasil no período de 1900-2014.



Fonte: Kobiyama et al. (submetido).

Analisando os desastres relacionados a escorregamentos Petley (2012) e Sepúlveda e Petley (2015), demonstraram que, países que pesquisam e possuem um elevado número de publicações, sofrem menos as consequências desse tipo de desastre. Isso demonstra que a sociedade brasileira precisa avançar mais em seus estudos sobre fluxos de detritos, a fim de reduzir os desastres causados por estes. Adicionalmente, aumentando o número de publicações sobre este tema, certamente irá despertar o interesse das pessoas no Brasil.

Sabe-se que não é possível assegurar proteção total à população somente através do estabelecimento de leis. A previsão de ocorrência (no tempo, espaço e magnitude) de fluxos de detritos com alta confiabilidade é extremamente difícil. As características destes fluxos como mecanismo de ocorrência e energia destrutiva ainda não são bem compreendidas, nem mesmo no âmbito científico. Devido à característica de ocorrência bastante repentina, a velocidade do movimento é alta e o seu poder destrutivo é extremamente elevado, sendo um evento isolado capaz de causar enormes danos. Justamente por isso, a principal recomendação, relacionada aos fluxos de detritos, deve ser semelhante àquele ensinamento e treinamento utilizado no caso de ocorrência de tsunamis, ou seja, “Salve sua vida com suas próprias forças”, exemplo de uma reportagem da tragédia do Japão em 2011 (SAWAJI, 2012).

Para que cada indivíduo consiga salvar sua própria vida, não basta correr e se afastar do local de perigo. Cada um precisa receber orientação sobre ações de

proteção e defesa civil, aprendendo o que são os fluxos de detritos e como eles ocorrem. Portanto, é necessário que se construam mais bacias-escola, para que cada comunidade possa compreender melhor os processos hidrológicos e as condições críticas de sua região. Por essa razão, nas regiões montanhosas do Brasil a implementação de bacias-escola é urgentemente necessária.

## **INTEGRATED APPROACH TO DISASTER MANAGEMENT IN MOUNTAINOUS REGION WITH EMPHASIS OF DEBRIS FLOW**

### **ABSTRACT**

Among various effects of climate change, the increases of rainfall intensity and of weather forecast errors can be remarked in the whole world, especially in mountainous regions. The first increase triggers more frequently flash flood, landslides and debris flows, while the second one causes more severe disasters associated to such hazards. As the initiation of flash floods and debris flows occurs suddenly and their velocities are very high, there is short time for local people to save their lives against them, which requires each person to be capable to save his own life independent upon local and national authorities. Then, it is necessary to have an integrated management with structural measures (construction of artificial channels, dams and so on) and nonstructural measures (warning system, hazard mapping, habitants education and training), which should be based on the local community and its habitants. In the hydrological disaster reduction case, all the measures need hydrological data such as rainfall and discharge. Therefore, the school catchment network which serves for hydrological study as well as community education should be implemented in each mountainous region. The data obtained at each school catchment permit to carry out hydrological forecast, structural measures and local communities training.

**Keywords:** Disasters. Mountainous region. Debris flow. Schoolcatchment.

### **REFERÊNCIAS**

ADAM, K. N.; FAN, F.M. ; COLLISCHONN, W.; PONTES, P.R.M.; BRAVO, J.M. Mudanças climáticas e vazões extremas na bacia do rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, p. 999-1007, 2015.

BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster Category – Classification and peril Terminology for Operational Purposes**. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2009. 19p.

CARSON, M.A.; KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process**. London: Cambridge University Press, 1975. 475p.

- CLAESSENS, L.; HEUVELINK, G.B.M.; SCHOORL, J.M.; VELDKAMP, A. DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, p.461–477, 2005.
- COROMINAS, J. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. **Canadian Geotechnical Journal**, v.33, n.2, p.260-271, 1996.
- COROMINAS, J.; VAN WESTEN, C.; FRATTINI, P.; CASCINI, L.; MALET, J.-P.; FOTOPOULOU, S.; CATANI, F.; VAN DEN EECKHAUT, M.; MAVROULI, O.; AGLIARDI, F.; PITILAKIS, K.; WINTER, M.G.; PASTOR, M.; FERLISI, S.; TOFANI, V.; HERVÁS, J.; SMITH, J.T. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bull Eng Geol Environ**, v.73, p.209-263, 2014.
- COSTA, J.E. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In: BAKER, V.R.; KOCHER, R.C.; PATTON, P.C. (orgs.) **Flood geomorphology**. New York: John-Wiley & Sons, 1988. p. 113-122.
- COUSSOT, P.; MEUNIER, M. Recognition, classification and mechanical description of debris Flows. **Earth-Science Reviews**, v.40, p.209-227, 1996.
- DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R. **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 1998.29p.
- DRH/SEMA-GPDEN/IPH/UFRGS **Diagnóstico preliminar: Descritivo dos eventos ocorridos no dia 5 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS**. Porto Alegre: DRH/SEMA, 2017. 26p.
- FARIAS, A.P. Classificação de montanhas pela altura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, n.2, p.21-28, 2005.
- FISCHER, L.; RUBENSDOTTER, L.; SLETTEN, K.; STALSBERG, S.; MELCHIORRE, C.; HORTON, P.; JABOYEDOFF, M. Debris flow modeling for susceptibility mapping at regional to national scale in Norway. In: EBERHARDT, E.; FROESE, C.; TURNER, A.K.; LEROUEIL, S. (eds.) **Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding**. London: Taylor & Francis Group, 2012. p. 723-729.
- GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; PELLEIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. **Bol. Geogr.**, v.30, n.1, p.81-100, 2012.
- GOERL, R.F.; MICHEL, G.P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.69/1, p.61-69, 2017.
- GRAMANI, M.F. A corrida de massa no córrego Guarda-Mão, município de Itaoca (SP): Impacto e observações de campo. In: the 15<sup>o</sup> Brazilian Congress of Engineering and Environmental Geology, **Proceedings**, 2015.p.1-10.
- GRUNTFEST, E.; HANDMER, J. (eds.) **Coping with flash floods**. Dordrecht: Springer, 2001. 322p. (Series 2. Environmental Security - V.77)
- HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook—A guide to understanding landslides**. Reston: U.S. Geological Survey, 2008. 129p. (Circular 1325)

HORTON, P.; JABOYEDOFF, M.; RUDAZ, B.; ZIMMERMANN, M. Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.13, p.869–885, 2013.

HUEBL, J.; FIEBIGER, G. Debris-flow mitigation measures. In: JACOB, M.; HUNGR, O. (eds), **Debris flow hazards and related phenomena**, Berlin: Springer-Verlag, 2005.p.445–487.

IBGE **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente. 2 ed.** Brasília: IBGE, 2004. 332f.

IPR – Interprevent 2002 in the Pacific Rim **SABO in Japan**. Tokyo: Sabo Publicity Center, 2003. 122p.

ITOH, T.; OGAWA, K.; NISHIMURA, S.; KURAOKA, S. Preliminary Experimental Studies on Debris Flow with Woods focusing on Difference of Specific Weight of Tree Species. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.3, n.1, p.9-19, 2010

IVERSON, R.M. Debris flow, In: GOUDIE, A. S. (ed.) **Encyclopedia of Geomorphology**, London: Routledge, 2004. p.225.

JIMENEZ-CISNEROS, B. Responding to the challenges of water security: the Eighth Phase of the International Hydrological Programme, 2014–2021. **IAHS Publ.**, n.366, p.10-19, 2015.

KOBASHI, S.; SUZUKI, M. The critical rainfall (danger index) for disasters caused by debris flows and slope failures. **IAHS Publ.**, v.165, p.201-211, 1987.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P. Histórico de ocorrência de fluxos de detritos e seus estudos no Brasil. In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, João Pessoa/PB, **Anais**, 2014. 20p.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; ROCHA, H.L.; CORSEUIL, C.W.; MALUTTA, S.; GIGLIO, J.N.; MOTA, A.A.; SANTOS, I.; RIBAS JUNIOR, U.; LANGA, R. Implementation of school catchments network for water resources management of the Upper Negro River region, southern Brazil. In: TANIGUCHI, M.; BURNETT, W.C.; FUKUSHIMA, Y. HAIGH, M.; UMEZAWA, Y. (eds.) **From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management**. London: Taylor & Francis Group, 2009. p. 151-157.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; GOERL, R.F.; GIGLIO, J.N.; REGINATTO, G.M.P. Hydrological disasters reduction: lessons from hydrology. In: SENS, M.L.; MONDARDO, R.I. (orgs.) **Science and Technology for Environmental Studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany**. Florianópolis: Federal University of Santa Catarina, 2010a.p.49-72.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; CORREA, G.P.; MICHEL, G.P. Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects. In: WRACHIEN, D.; BREBBIA, C.A. (orgs.) **Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III**. Southampton: WITpress, 2010b. p. 77-88.

KOBIYAMA, M.; REGINATTO, G, M. P.; MICHEL, G. P. Contribuição da engenharia de sedimentos ao planejamento territorial com ênfase em redução de desastres

hidrológicos. In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (2010: Brasília) Brasília: EMBRAPA, **Anais**, 2010c. 18p.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P.; ENGSTER, E.C. Ruralização para a gestão de recursos hídricos em área urbana: aplicação de hidrologia. In: LADWIG, N.I.; SCHWALM, H. (Org.) **Planejamento e gestão territorial: Hidrografia e sustentabilidade**. Florianópolis: Insular, 2016. p.13-42.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P. GOERL, R.F. Proposal of debris flow disasters management in Brazil based on historical and legal aspects. **International Journal of Erosion Control Engineering**, (submetido).

KUILI, L.; CARR, G.; VIGLIONE, A.; PRSKAWETZ, A.; BIÖSCHL, G. Conceptualizing socio-hydrological drought processes: The case of the Maya collapse. **Water Resources Research**, v.52, p. 6222–6242, 2016.

LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K.; GRANT, G.E. Effects of wood on debris flow run out in small mountain watersheds. **Water Resources Research**, v.39, n.6, 1168, 2003. doi:10.1029/2001WR001227

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**, v.6, n.19, p.130-149, 2006.

MARTY, C. Mountain Hazards. In: KOHLER, T.; MASELLI, D. (eds.) **Mountains and Climate Change - From Understanding to Action**. Bern: Geographica Bernensia with the support of the Swiss Agency for Development and Cooperation, 2009.p.31-39.

MAZZORANA, B.; HÜBL, J.; ZISCHG, A.; LARGIADER, A. Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers. **Natural Hazards**, v.56, p.425–449, 2011.

MICHEL, G.P.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a fluxos de detritos por meio de modelagem computacional. In: LADWIG, N.I.; SCHWALM, H. (Org.) **Planejamento e gestão territorial: Hidrografia e sustentabilidade**. Florianópolis: Insular, 2016. p.71-89.

MICHEL, G.P.; GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Critical rainfall to trigger landslides in Cunha River basin, southern Brazil. **Natural Hazards**, v.75, p.2369–2384, 2015.

MINISTÉRIO DA INEGRAÇÃO NACIONAL **Instrução normativa No. 01, de 24 de agosto de 2012**. Brasília: Diário Oficial da União 169 e 170, 2012.

NAKATANI, K.; WADA, T.; SATOFUKA, Y.; MIZUYAMA, T. Development of “Kanakano 2D (Ver. 2.00),” a user-friendly one-and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphic al user interface. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v.1, n.2, p.62-72, 2008.

PAIXÃO, M.A.; KOBIYAMA, M. Efeito do tamanho dos sedimentos sobre a área atingida por fluxos de detritos: Estudo de caso da bacia do arroio Böni, Serra Gaúcha. **Ciência e Natura**, v.39, n.2, p.299-307, 2017.

PAIXÃO, M.A.; KOBIYAMA, M. MICHEL, R.D.L.; MICHEL, G.P. Evaluation of slope effects on the debris flow deposition length by using Kanako-2D. In: INTERPRAEVENT 2018, Tokyo: International SABO Association, **Proceedings**, 2018. (no prelo)

- PETLEY, D.N. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding. In: EBERHARDT, E.; FROESE, C.; TURNER, A.K.; LEROUEIL, S. (orgs.) **Landslides and engineered slopes**. Vol 1. London: CRC Press, 2012. p. 3-13.
- QUARANTELLI, E.L. Statistical and conceptual problems in the study of disasters. **Disaster Prevention and Management**, v.10, n.5, p.325-338, 2001.
- REYNOLDS, C.A.; SATTERFIELD, E.A.; McLAY, J.G. Impact of climate change on forecast perturbation growth. In: 29th Conference on Climate Variability and Change, Washington: AMS, **Proceedings**, 2017. Acesso em: <https://ams.confex.com/ams/97Annual/webprogram/Paper304497.html>
- RICHT, L.A.; KOBAYAMA, M.; SILVA, R.V. Uma revisão de modelos computacionais (*softwares*) para simulação de fluxo de detritos. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Florianópolis: 2017), **Anais**, 2017. 8p.
- RICKENMANN, D. Empirical relationships for debris flows. **Natural Hazards**, v.19, p.47-77, 1999.
- RICKENMANN, D. Run out Prediction Methods. In: JACOB, M.; HUNGR, O. (orgs.) **Debris-flow hazards and related phenomena**. Berlin: Springer-Verlag, 2005. p.305-324.
- SAVENIJE, H.H.G. Panta Rhei, the new science decade of IAHS. **IAHS Publ.**, n.366, p.20-22, 2015.
- SAWAJI, O. Education and disaster reduction. **Japan Journal**, v.8, n.11, p.6-10, 2012.
- SCHEUREN, J-M.; WAROUX, O.P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review: The Numbers and Trends 2007**. Brussels: CRED/Munich: Munich Re Foundation, 2008. 47p.
- SENE, K. **Flash Floods: Forecasting and Warning**. Dordrecht: Springer, 2013. 385p.
- SEO, J.I.; NAKAMURA, F.; CHUN, K.W. Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions. **Landscape Ecological Engineering**, v.6, p.271–287, 2010.
- SEPÚLVEDA, S.A.; PETLEY, D.N. Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.15, p.1821-1833, 2015.
- SHRESTHA, B.B.; NAKAGAWA, H.; KAWAIKE, K.; BABA, Y.; ZHANG, H. Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans. **Natural Hazards**, v.61, p.577–602, 2012.
- SIVAKUMAR, B. Socio-hydrology: not a new science, but a recycled and re-worded hydrosociology. **Hydrological Processes**, v.26, p.3788–3790, 2012.
- SIVAPALAN, M.; KONAR, M.; SRINIVASAN, V.; CHHATRE, H.; WUTICH, A.; SCOTT, C.A.; WESCOAT, J.L.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. **Earth's Future**, v.2, p.225–230, 2014.
- SLAYMAKER, O. Mountain Geomorphology. In: GOUDIE, A. S. (ed.) **Encyclopedia of Geomorphology**, London: Routledge, 2004. p. 701-703.

- SODNIK, J.; PODOBNIKAR, T.; PETJE, U.; MIKOS, M. Topographic data and numerical debris-flow modeling. In: MARGOTTINI, C.; CANUTI, P.; SASSA, K. (eds.) **Landslide Science and Practice, Vol. 1**, Berlin: Springer-Verlag, 2013. p. 573-578.
- STOFFEL, M.; WILFORD, D. Hydrogeomorphic processes and vegetation: disturbance, process histories, dependencies and interactions. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.37, p.9-22, 2012.
- SUZUKI, M.; KOBASHI, S. The critical rainfall for the disasters by slope failures. **J. JSCEC**, n. 121, p.16-26, 1981.
- SUZUKI, M.; FUKUSHIMA, Y.; TAKEI, A.; KOBASHI, S. The critical rainfall for the disasters caused by debris movement. **J. JSCEC**, n.110, p.1-7, 1979.
- TACHINI, M.; KOBIYAMA, M.; FRANK, B. Descrição do desastre: as enxurradas. In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (eds.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. p.92-101.
- TAKAHASHI, T. **Debris Flow**. Rotterdam: Balkema, 1991. 165p. (IAHR Monographs)
- TAKAHASHI, T. **Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures**. Leiden: Taylor & Francis/ Balkema, 2007. 448p.
- TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo, **Anais**, v.2, 1987. p.225-236.
- THE GUARDIAN **How will climate change affect rainfall?** 2011. In: <https://www.theguardian.com/environment/2011/dec/15/climate-change-rainfall>
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (orgs.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.
- UNDP **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.
- UNESCO **International Hydrological Decade, Intergovernmental Meeting of Experts, Final Report**. Paris: UNESCO, 1964. 51p. (UNESCO/NS/188)
- WALLERSTEIN, N. P. Dynamic model for constriction scour caused by large woody debris. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.28, p.49–68, 2003.
- WAN, Z.; WANG, Z. **Hyperconcentrated flow**. Rotterdam: Balkema, 1994. 230p. (IAHR Monographs)
- WIECZOREK, G.F.; GLADE, T. Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: JACOB, M.; HUNGR, O. (orgs.) **Debris-flow hazards and related phenomena**. Berlin: Springer-Verlag, 2005. p. 325-362.
- 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**, v.1, p.61-66, 2004.
- WU, S.; LI, J.; HUANG, G. H. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrology applications: sensitivity to elevation data resolution. **Applied Geography**, v.28, p. 210-223, 2008.
- ZAMBRANO, F.C.; KOBIYAMA, M.; PAIXÃO, M.A.; GUEVARA, J.A.L.; ARTURO, B.E.N. Gestão de risco de desastres naturais na Colômbia: estudo de caso, desastre

hidrológico no município de Mocoa– Putumayo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 2018. (No prelo).

ZNAMENSKY, D. Debris and mudflow initiation processes in Brazilian tropical and subtropical humid and mountainous environments. In: LACERDA, W.A.; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L.; EHRlich, M. (orgs.) **Extreme rainfall induced landslides: an international perspective**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. p. 103-127.