

RELAÇÃO ENTRE DESASTRES NATURAIS E FLORESTA

Relation between natural disasters and forest

Masato Kobiyama

Dep. de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC - Bolsista CNPq
kobiyama@ens.ufsc.br

Gean Paulo Michel

Mestrando em Engenharia Ambiental, UFSC, Bolsista CNPq
geanpmichel@gmail.com

Roberto Fabris Goerl

Doutorando em Geografia, UFPR, Bolsista REUNI
Roberto.fabris@gmail.com

RESUMO

Os desastres naturais são sérios distúrbios desencadeados por perigos naturais que causam perdas socioambientais e podem ser classificados em diversos grupos (geofísico, hidrológicos, meteorológicos, etc.) e tipos (terremoto, tsunami, escorregamento, inundação, incêndio, etc.). Os registros destes desastres demonstram que os hidrológicos ocorrem com maior frequência no mundo. Os desastres podem ocorrer em qualquer lugar do planeta, ou seja, não apenas em ambientes urbanizados, mas também em ecossistemas florestais. Os principais componentes deste ecossistema são árvores (copa + tronco + raiz), arbustos, faunas, solos florestais, entre outros. Dependendo dos componentes de uma floresta e também das condições destes componentes, a mesma pode exercer efeitos positivos e/ou negativos para cada tipo de desastre. Para inserir a floresta como um elemento primordial no gerenciamento de desastres naturais, é necessário compreender melhor as suas funções. Uma das ações relevantes e urgentes para atender esta necessidade deve ser a implementação de rede de bacias-escola, pois, por meio dela, a comunidade aumentará o conhecimento sobre hidrologia florestal que por sua vez procura entender quais as relações entre a floresta e a água que contribuem para desencadear os desastres hidrológicos.

Palavras-chave: bacia-escola, hidrologia florestal, desastres hidrológicos

ABSTRACT

Natural disasters are serious disturbances triggered by natural hazards that cause social and environmental losses. They are classified into several groups (geophysical, hydrological, meteorological, etc.) and types (earthquake, tsunami, landslide, flood, fire, etc.) The statistical data demonstrate that the hydrological

disasters occur more frequently in the world. In places where these disasters occur, there are forests that consist in trees (canopy + trunk + root), shrubs, fauna, forest soils, etc. Depending upon the components of the forest and also upon the condition of these components, the forest exerts positive and/or negative effects for each type of disaster. To take advantage of the forest in the natural disasters management, it is necessary to better understand the forest functions. One of the important and urgent actions to meet this need can be the implementation of school catchment network for each region, with which the local community will increase the knowledge of forest hydrology that researches the relationship between forest and water which triggers the hydrological disasters.

Keywords: School catchment, forest hydrology, hydrological disasters

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais vêm sendo frequentemente noticiados na mídia, e a preocupação da sociedade em relação a eles está tornando-se cada vez maior. Usando os dados disponíveis no *Emergency Disaster Data Base – EM-DAT* do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED*, órgão parceiro da Organização Mundial da Saúde, pode-se elaborar a distribuição temporal dos desastres naturais do mundo no período de 1900 a 2011 (**Figura 1**). Observa-se claramente o aumento considerável dos desastres naturais a partir da década de 50 e dos prejuízos econômicos a partir da década de 70.

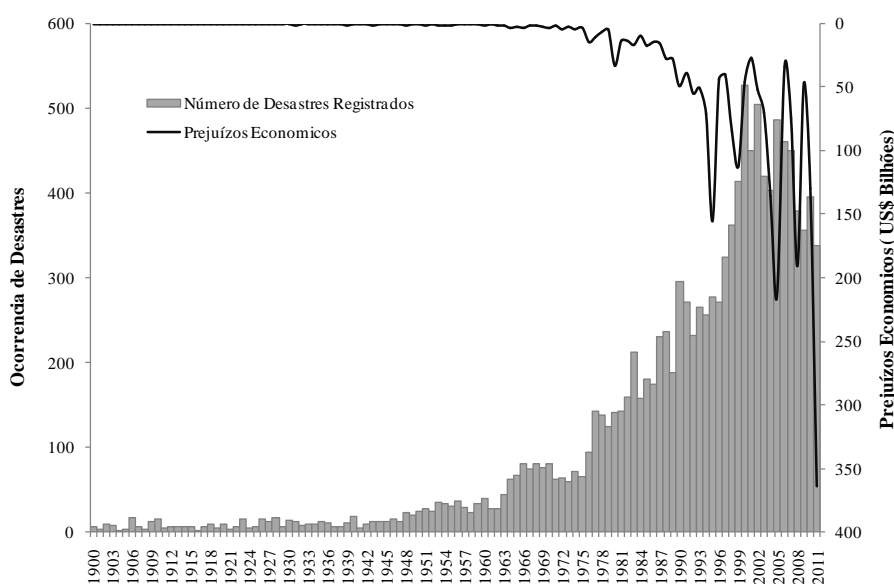


Figura 1 – Número de desastres naturais e seus prejuízos registrados entre 1900 e 2011.

Em virtude deste aumento, a Organização das Nações Unidas – ONU criou a *UN Disaster Relief Organization* – UNDRRO. Este fato desencadeou a maior iniciativa científica internacional até então desenvolvida para criar estratégias mitigadoras para todo o globo. A *US National Academy of Sciences* – NAS apresentou a iniciativa à ONU em dezembro de 1987. A ONU então criou junto com a UNDRRO, a Secretaria para a *International Decade for Natural Disaster Reduction* – IDNDR em abril de 1989, em Genebra, Suíça (ROSENFELD, 1994). As atividades da IDNDR geraram grande sucesso durante o seu período de execução (1990 - 1999) e alguns resultados foram relatados por Alcántara-Ayala (2002). Após o término da década de redução de desastres, a ONU manteve a partir do ano 1999 a *International Strategy for Disaster Reduction* – UNISDR que existe ainda hoje.

Frequentemente observa-se a presença da floresta nos locais onde os desastres naturais ocorrem. Justamente por isso, existe uma perspectiva, expectativa, esperança, desejo, mito, ou qualquer sentimento humano no qual a floresta pode reduzir os desastres naturais. Entretanto, este assunto deve ser cientificamente analisado, avaliado, e discutido. No Brasil, existem poucos trabalhos que tratam esta questão, como os de Coelho Netto (2005) e Michel *et al.* (2012). Contudo, o reconhecimento dos papéis que a floresta exerce possibilitará um uso e manejo adequado da mesma no contexto do gerenciamento de desastres naturais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os papéis da floresta na redução de desastres naturais, com ênfase em desastres hidrológicos. Após a discussão sobre a relação entre desastres e floresta, a implementação de rede de bacias-escola é proposta como uma alternativa para redução de desastres.

1. CONCEITOS BÁSICOS

1.1. Desastres naturais

Desastre natural é definido como um sério distúrbio desencadeado por um perigo natural que causa perdas materiais, humanas, econômicas e ambientais excedentes à capacidade da comunidade afetada de enfrentar o perigo (UNDP,

2004). Em Goerl *et al.* (2012) e Goerl e Kobiyama (2012), encontra-se a descrição mais detalhada sobre os desastres naturais, sua classificação e conceitos associados tais como vulnerabilidade, perigo, e risco.

Em 2008, o EM-DAT reclassificou os tipos de desastres em dois grandes grupos: naturais e tecnológicos (SCHEUREN *et al.*, 2008). Os naturais foram divididos em seis sub-grupos: 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 *Munich Reinsurance Company* – MunichRe, os quais decidiram adotar uma classificação em comum para os seus respectivos bancos de dados (BELOW *et al.*, 2009).

A principal mudança foi a separação dos movimentos de massa em dois tipos: secos e úmidos. O primeiro está associado apenas aos eventos geofísicos (terremotos) e o segundo aos condicionantes hidrológicos e meteorológicos. Independente da origem, tais movimentos de massa são chamados de escorregamentos. A UNISDR também adotou a nova classificação, visto que o EM-DAT é o principal banco de dados utilizado pela ONU, como observado em UNDP (2004). Além disso, houve mais uma atualização da classificação pelo CRED, na qual não se encontra mais os desastres extraterrenos (GUHA-SAPIR *et al.*, 2012). Kobiyama *et al.* (2010a) mostraram que dentre todos os tipos de desastres naturais, os desastres hidrológicos (inundações + escorregamentos) são os que acarretam maiores problemas tanto no Brasil quanto no mundo.

Nota-se que inundações, escorregamentos, estiagens entre outros são fenômenos naturais que ocorrem devido às características de determinadas regiões do planeta (vegetação, clima, topografia, solo, etc). Estes fenômenos podem ser considerados perigos naturais (*natural hazards*) quando ocorrem em locais onde o ser humano se encontra, possuindo a probabilidade de provocar danos materiais e humanos. Caso tais fenômenos causem danos, são tratados como desastres naturais.

A Figura 2 mostra a relação entre os fenômenos (perigos) naturais, os desastres naturais e a sociedade. Há três maneiras de reduzir os desastres: (I) diminuir a ocorrência dos fenômenos; (II) afastar a sociedade das áreas onde

ocorrem tais fenômenos; e (III) combinação dos casos I e II. Aqui, como exemplo, cita-se a dinâmica das inundações. Para diminuir ocorrência das inundações a sociedade pode construir uma barragem (caso I), um dique (caso II), reduzindo assim à frequência de eventos de pequena e média magnitude ou permitindo a ocupação de áreas propensas à inundações, respectivamente. Aparentemente, por meio de obras hidráulicas, a sociedade está conseguindo realizar o caso III da **figura 2**. Este método é denominado de medidas estruturais, as quais a engenharia prefere exercer.

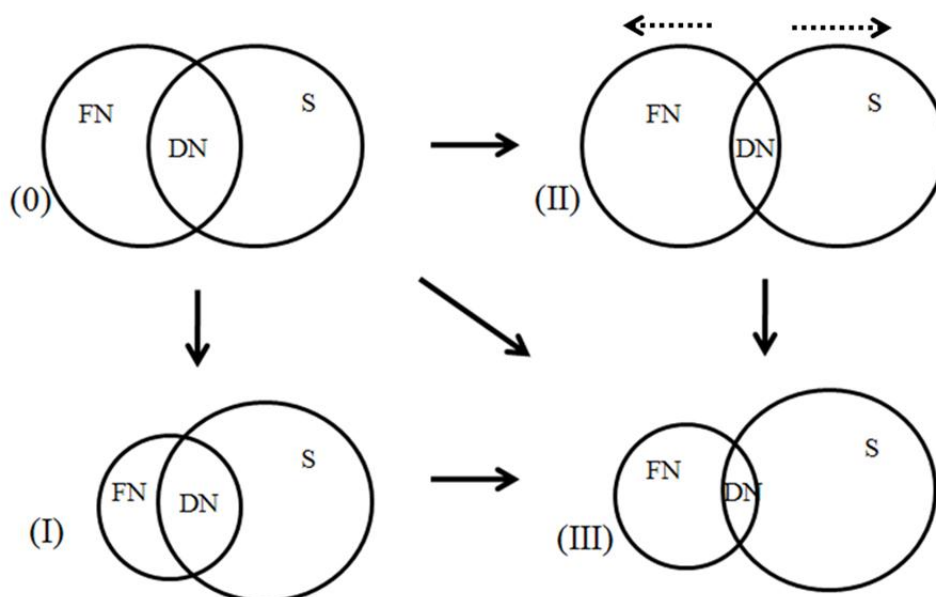


Figura 2 – Relação entre os fenômenos naturais (FN), os desastres naturais (DN) e a sociedade (S).

Nessa circunstância, existem outras medidas como o uso da floresta para redução de desastres. Fazendo o reflorestamento ou mantendo a floresta nas encostas, a sociedade tenta regular a vazão do rio (caso I). Preservando a zona riparia como área de preservação permanente (APP) ou reconstruindo a floresta riparia, tenta-se impedir a ocupação e urbanização da área de inundações, ou seja, área de perigo permanente (também APP, proposto por Kobiyama *et al.*, 2010c) (caso II). Assim, a sociedade pode utilizar a floresta para este tipo de medida. Esta ação pode ser chamada de engenharia ecológica ou eco-engenharia ou bio-engenharia, conforme Morgan e Rickson (2005).

1.2. Florestas

As florestas surgiram no planeta há cerca de 350 milhões de anos, e apresentaram seu maior volume entre 320 milhões e 299 milhões de anos atrás durante o Período Carbonífero. O que atualmente entende-se por floresta é o resultado (aparência atual) de sua própria evolução ao longo da história geológica da Terra.

Embora existam diversas definições sobre floresta, uma definição *lato sensu* pode ser a proposta por FAO (2005), onde a floresta é uma área que cobre mais de 0,5 ha com árvores que por sua vez possuem altura maior que 5 m e cuja copa cobre mais de 10% da área, ou árvores que por si só satisfaçam essas condições. Entretanto, esta definição não inclui áreas que são predominantemente de uso agrícola e/ou urbano.

Em relação aos recursos, as florestas são classificadas em dois tipos: os materiais (ou biológicos) e os ambientais (**Tabela 1**). Os primeiros podem ser aproveitados adequadamente quando as florestas estão inseridas no ciclo de materiais e de energia de maneira harmônica. O segundo exerce sua função somente quando as florestas ocupam e permanecem nas diferentes regiões do planeta.

Tabela 1 – Florestas como recursos

Recursos materiais (biológicos)	Recursos ambientais
Produção primária Papel Celulose Fertilizantes Remédios Alimentos etc. Produção de solo (pedogênese)	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigação do clima • Mitigação do regime hídrico • Purificação do ar • Melhoria da qualidade da água • Conservação do solo • Proteção contra movimentos de ar (vento, barulho), água (chuva, neve, tsunami) e solo + rocha (escorregamento), calor (incêndio) • Recreação • Saúde • Estética • Educação/cultura • Bioindicador/história

Ambos os recursos são importantes para a sociedade. Devido à pressão do movimento ambiental tem se dado grande ênfase somente aos recursos ambientais. Entretanto, sem dúvida alguma, a sobrevivência da sociedade depende totalmente do aproveitamento dos recursos materiais que a floresta possui.

Enfocando somente a árvore e considerando que a mesma consiste no sistema copa-tronco-raiz, Chang (2002) apresentou os papéis das árvores em termo de funções biológicas e ambientais (Tabela 2).

Tabela 2 – Funções biológicas e ambientais dos componentes de árvores.

Componente	Funções biológicas	Funções ambientais
Copa	<ul style="list-style-type: none"> • Fotossíntese • Transpiração • Respiração • Reprodução • Armazenamento alimentar 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixação de carbono • Interceptação de chuva e radiação • Valor estético • Abrigos para pássaros e insetos • Barreira contra vento • Condensação de serração • Redução da velocidade da gota da chuva • Acumulação de neve
Tronco	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de água e nutrientes • Suporte à copa • Regeneração das plantas • Transpiração 	<ul style="list-style-type: none"> • Barreira ao vento, chuva • Bioindicador para paleoclima e paleomovimento de massa • Suporte mecânico e abastecimento de nutrientes para pregadores
Raiz	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção de água e nutrientes • Transporte de água e nutrientes • Ancoramento de plantas • Armazenamento de materiais • Uso para regeneração • Respiração • Fixação de N (espécies leguminosas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforçamento de solos • Aumento de permeabilidade • Melhoria da estrutura do solo • Adição de matéria orgânica após morte • Redução da velocidade do escoamento superficial • Manutenção da umidade do solo

(Modificado de CHANG, 2002)

Nota-se claramente que as árvores exercem importantes funções. Entretanto, a árvore por si só não é a floresta, mas apenas um dos componentes

da floresta. Pode-se dizer que a floresta é composta por árvores (copa (folha + galho), tronco, e raiz), arbustos, matos, solos florestais, fauna (macro, meso, e micro) e rochas. Neste aspecto, a floresta é também chamada de ecossistema florestal. Aqui, deve-se enfatizar que a floresta não é somente um conjunto de árvores. Cada componente de tal ecossistema exerce a sua função com maior ou menor magnitude.

Considerando essas diferentes funções em diferentes componentes do ecossistema florestal, Kobiyama (2000) resumidamente apresentou que as funções das florestas são: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade), (2) mitigação do hidrograma (redução da enchente e recarga ao rio), (3) controle de erosão, (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio, (5) redução da poluição atmosférica, (6) fornecimento de oxigênio (O₂) e fixação do gás carbono (CO₂), (7) prevenção do vento e barulho, (8) amenidade, recreação e educação, (9) produção de biomassa, remédios, alimentos, etc. (10) fornecimento de energia, (11) indicação (testemunha) da história, entre outras. A principal característica da floresta pode resultar da ocorrência simultânea de todas as suas funções, mesmo que em maior ou menor grau. Por exemplo, uma barragem pode funcionar para a mitigação do hidrograma muito melhor do que a floresta. Entretanto, a barragem não fixa gás carbono nem produz remédios. Já a floresta pode exercer ambas as funções. Além disso, como medidas estruturais, a floresta pode apresentar longevidade maior do que aquelas construídas pela sociedade, pois há espécies de árvores que vivem mais de 1000 anos. Assim, este tipo de árvore com vida longa faz também parte da história mundial.

Como as florestas possuem diversas funções ambientais, o governo taiwanês, por exemplo, classifica oficialmente as florestas de proteção em: conservação de mananciais, controle de erosão, estabilidade de areias, estética/paisagem, quebra vento, proteção contra maré, outros (CHENG *et al.*, 2002). Outro exemplo ocorre no Japão, onde o governo protege por meios legais 17 diferentes tipos de florestas de proteção (Tabela 3) (TADAKI, 1992).

Tabela 3 – Tipos de floresta de proteção no Japão e suas respectivas áreas

Tipo	Área (dados em 1992)	
	(x 1000 ha)	(%)
Conservação de mananciais	6052	68,3
Controle de erosão	1945	22,0
Estabilidade de encostas	46	0,5
Estabilidade de areias	16	0,2
Quebra vento	55	0,6
Proteção contra inundação	1	0,0
Proteção contra maré	13	0,2
Proteção contra estiagem	42	0,5
Proteção contra nevasca	-	-
Proteção contra neblina	51	0,6
Proteção contra avalanche	19	0,2
Proteção contra queda de blocos	2	0,0
Proteção contra incêndio	0	0,0
Manutenção do ecossistema fluvial para peixes	28	0,3
Marcação para navegação	1	0,0
Preservação do ambiente saudável	561	6,3
Estética/paisagem	27	0,3
Total	8860	100,0
Taxa sobre área total coberta por florestas no Japão		33,0
Taxa sobre área territorial total do Japão		22,0

(Modificado de TADAKI, 1992)

2. PAPEL DE FLORESTA NA OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS.

A **Tabela 4** demonstra os efeitos da floresta sobre diferentes tipos de desastres naturais. Foi adotada a mesma classificação de desastres proposta pelo EM-DAT. Os nomes do grupo, principal tipo, subtipo, e subdivisão na Tabela 4 são idênticos aos adotados pelo CRED, os quais se encontram em Below *et al.* (2009). Apesar de haverem 6 diferentes grupos de desastres conforme a classificação do CRED, a Tabela 4 aborda apenas 4 grupos, ignorando os extraterrenos e biológicos. Na última coluna da Tabela 4, no item efeitos de floresta, se encontram os sinais ++ (muito positivo), + (positivo), – (negativo) e – – (muito negativo). Quando não há efeito, estes sinais estão ausentes.

Nota-se que para uma determinada subdivisão de desastres naturais, a floresta possui efeitos muito positivos e também muito negativos. Estes efeitos opostos podem ser claramente explicados com ocorrência de fluxo de escombros

(*debris flow*) que faz parte dos desastres hidrológicos. Enquanto a floresta possui árvores grandes em pé, cada árvore funciona mecanicamente para reduzir a velocidade e energia cinética do fluxo. Entretanto, quando o fluxo de escombros vencer a resistência mecânica das árvores, derrubando-as e levando-as junto com seus próprios escombros, a presença de árvores como escombros (*woody debris*) aumenta o poder destrutivo do próprio fluxo e conseqüentemente aumenta o dano associado. Assim, a floresta pode exercer efeitos positivos e negativos para um mesmo fenômeno natural.

A floresta normalmente auxilia a mitigar o microclima, tendo efeito positivo contra a temperatura extrema (desastres climatológicos). Para melhorar seu desempenho, esperam-se árvores com maiores alturas e maiores áreas de copa, construindo o elevado Índice e Área Foliar (IAF). A floresta pode reduzir a velocidade do vento e aumentar a temperatura da massa fria e úmida, reduzindo a possibilidade de formação de neblinas.

Normalmente, é dito que a árvore é frágil contra o fogo. Entretanto, a árvore que possui muita umidade no seu corpo apresenta alta resistência contra o fogo. Em vários países, por exemplo, Japão, bosques vêm sendo utilizados contra incêndios (desastres climatológicos). Assim, dependendo do tipo e manejo florestal, a floresta possui o efeito positivo contra o incêndio.

Embora não conste na **Tabela 4** o efeito da floresta em relação aos desastres biológicos, o presente trabalho sugere uma hipótese. Quando ocorrem desastres biológicos (epidemia, infestação de insetos, e estouro de manada), às vezes é constatado que a redução de área florestal causou a imigração de insetos, pragas, etc., aos locais onde se encontram muitas atividades humanas. Então, neste sentido, pode-se dizer que a floresta possui efeito muito positivo para reduzir os desastres biológicos, ou um efeito positivo em potencial. Dessa maneira, os efeitos positivos e/ou negativos da floresta variam de acordo com o tipo de floresta bem como o tipo de fenômeno/desastre.

Tabela 4 – Efeitos da floresta em diferentes desastres naturais

Grupo	Principal tipo	Subtipo	Subdivisão	Efeitos da floresta		
Geofísico	Terremoto	Tremor de terra		–		
		Tsunami		++, --		
	Vulcanismo	Movimento de Massa (seco)	Erupção vulcânica			
			Queda de Bloco		++, --	
			Avalanche	Avalanche de neve		++, --
				Avalanche de escombros		+, --
			Escorregamento	Escorregamento de lama		++, --
				<i>Lahar</i>		+, --
			Fluxo de escombros		++, --	
			Subsidência	Subsidência repentina		–
Subsidência prolongada		–				
Meteorológico	Tempestade	Tempestade Tropical		+, –		
		Ciclone Extra Tropical		+, –		
		Tempestade Local/Convectiva	Raio e trovoada		–	
			Tempestade de neve/Nevasca			
			Tempestade de areia/Poeira			
			Tempestade severa		+, –	
			Tornado		--	
			Tempestade orográfica (ventos fortes)		+, –	
Hidrológico	Inundação	Inundação gradual (fluvial)		++, --		
		Inundação brusca		++, --		
		Inundação costeira (Ressaca)		+, –		
	Movimento de massa (úmido)	Queda de bloco		++, --		
		Escorregamento	Fluxo de escombros		++, --	
		Avalanche	Avalanche de neve		+, --	
			Avalanche de escombros		+, --	
		Subsidência	Subsidência repentina		–	
Subsidência duradoura			–			
Climatológico	Temperatura extrema	Onda de calor		+		
		Onda de frio	Geadas		+	
		Condições extremas de inverno	Pressão de neve		+	
			Congelamento		+	
			Chuva congelada			
	Avalanche de escombros			+, --		
	Seca/Estiagem			–		
	Incêndio	Incêndio florestal		--		
Incêndio terrestre (grama, vegetação rasteira, arbusto, etc...)			--			

Obs.: ++ (muito positivo), + (positivo), – (negativo), -- (muito negativo)

3. MITOS E FATOS

A floresta ou o ecossistema florestal é tão complexa que muitos assuntos relacionados às suas funções ainda são desconhecidos. Isto obriga as ciências florestais a avançar ainda mais para atender as demandas que a sociedade tem. Sidle *et al.* (2006) discutiram vários fatos, mitos e incertezas em termo de relação entre manejo florestal, erosão superficial e escorregamento na região sudeste da Ásia. O presente trabalho trata de quatro tópicos associados à relação entre desastres hidrológicos e floresta, avaliando mitos e/ou fatos.

3.1. Floresta aumenta água no rio?

O ciclo hidrológico consiste em diversos processos hidrológicos. Uma parte da chuva que cai sobre a floresta sofre a interceptação pela copa das árvores. A chuva interceptada evapora e volta diretamente à atmosfera sem molhar a superfície da terra. O restante da chuva chega à superfície. Em uma floresta bem preservada, existem horizontes H e O muito espessos e encontra-se uma boa estrutura do solo com alto teor de agregado, o que permite a água da chuva não interceptada infiltrar pela superfície da terra, evitando o escoamento superficial hortoniano. Nesta condição, a floresta bem preservada diminuí o escoamento superficial, reduzindo o pico do hidrograma e recarregando lentamente a água subterrânea por meio da água retida nos poros dos solos florestais. Assim, é difícil ocorrer o secamento de um córrego dentro da bacia com floresta. Essa regularização da vazão que a floresta naturalmente exerce é chamada como função de mitigação do hidrograma.

Enquanto as árvores exercem a fotossíntese, elas necessitam realizar também a transpiração, ou seja, as árvores absorvem a água do solo pelas raízes. Segundo Moore *et al.* (2011), a fotossíntese possui uma relação linear e positiva com a transpiração. Pode-se dizer que quanto maior produção de biomassa, maior a transpiração das árvores. Além disso, devido à interceptação, a chuva que chega à superfície da terra é menor do que a chuva que cai acima da copa. Nessa situação, é bastante normal que a vazão total em uma bacia com floresta ser menor do que aquela da bacia sem floresta (ou com solo exposto).

Embora seja popularmente dito e acreditado que a floresta produz ou aumente a água no rio, o fato é que a floresta reduz a água no rio. Isto, contudo não é novidade. Na década de 1960 existiam aproximadamente 40 bacias experimentais que utilizavam o método comparativo. Analisando os resultados obtidos nestas bacias, Hibbert (1967) concluiu que (1) o desmatamento aumenta a vazão anual; (2) o reflorestamento na área com vegetação pobre reduz a vazão anual; e (3) o aumento da vazão anual devido à alteração da vegetação varia muito e, por isso, não é possível estimá-lo quantitativamente. Analisando 94 exemplos no mundo, Bosch e Hewlett (1982) relataram que (1) o aumento da vazão anual devido ao desmatamento é confirmado; (2) o aumento da vazão anual é proporcional à taxa da área desmatada em relação à área total; e (3) o aumento da vazão anual devido ao desmatamento torna-se maior em regiões com maior precipitação. A **Figura 3** apresenta o famoso gráfico elaborado por Bosch e Hewlett (1982).

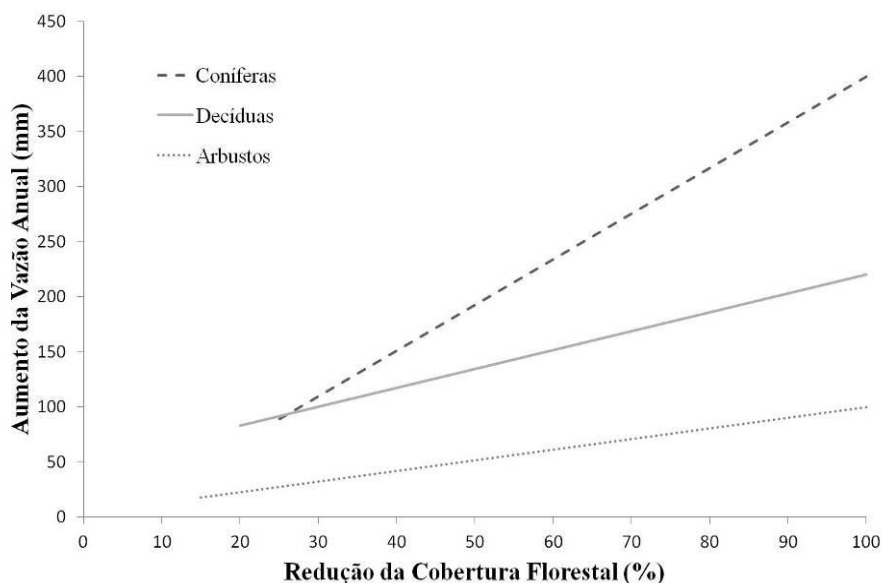


Figura 3 – Aumento da vazão com redução da cobertura florestal (Modificado de BOSCH e HEWLETT, 1982).

As bacias experimentais analisadas por Bosch e Hewlett (1982) eram de pequeno tamanho e de região temperada. Utilizando bacias experimentais maiores, Trimble e Weirich (1987) e Troendle *et al.* (2001) confirmaram os resultados obtidos por Bosch e Hewlett (1982). Em bacias tropicais, Bruijnzeel (1996) confirmou que o aumento da vazão anual, logo após o corte, é

proporcional à quantidade de biomassa removida. Além disso, Sahin e Hall (1996) aumentaram o número das bacias experimentais analisadas para 145 e obtiveram os mesmos resultados de Bosch e Hewlett (1982).

Calder (2007) discutiu a relação entre a ciência e política florestal, mencionando para isto aspectos gerais associados ao efeito da floresta sobre os recursos hídricos. Esses aspectos são: (1) a floresta consome mais água do que outros cultivos agrícolas, e especialmente as espécies com rápido crescimento utilizadas para o reflorestamento reduzem ainda mais a vazão no rio; (2) a floresta exerce a função de reduzir inundação em bacias pequenas, o desempenho dessa função é pequeno nas bacias maiores; (3) a maioria dos resultados científicos demonstra que a floresta diminui a vazão no período de estiagem; (4) na floresta nativa a taxa de erosão é menor, entretanto, na área de reflorestamento com mau manejo essa taxa não é pequena; e (5) normalmente a qualidade de água que sai da bacia florestada é melhor do que aquela com outros usos de terra.

Assim, a função da floresta não é aumentar a vazão no rio, mas sim mitigar o hidrograma e facilitar a sociedade a utilizar a sua água.

3.2. Floresta segura o solo? – Relação magnitude x requência na evolução de paisagem

A fórmula de Gutenberg–Richter que relaciona a magnitude de terremotos e sua frequência acumulada é expressa como:

$$\log N(m) = a - BM \quad (1)$$

onde $N(m)$ é o número acumulado dos eventos de terremoto com a magnitude igual ou maior que M ; e a e b são os coeficientes de ajuste.

Turcotte (1997) demonstrou que essa fórmula é equivalente à relação fractal entre o número de terremotos e o tamanho da ruptura, ou seja, *Power Law*. Analogamente aplicando a relação obtida na área da sismologia para o estudo de escorregamentos, diversos pesquisadores como Hungr *et al.* (1999), Guzzetti *et al.* (2002), Malamud *et al.* (2004), Picarelli *et al.* (2005), e Petley (2012) demonstraram que a relação magnitude e requência (M-F) dos escorregamentos é semelhante àquela dos terremotos. Resumindo esses resultados, pode-se dizer que a relação M-F em termo de escorregamentos é constante (Figura 4). Em

outras palavras, escorregamentos de maior magnitude ocorrem raramente enquanto que escorregamentos com menor magnitude ocorrem frequentemente. Este conceito é de extrema relevância no estudo da evolução de paisagem.

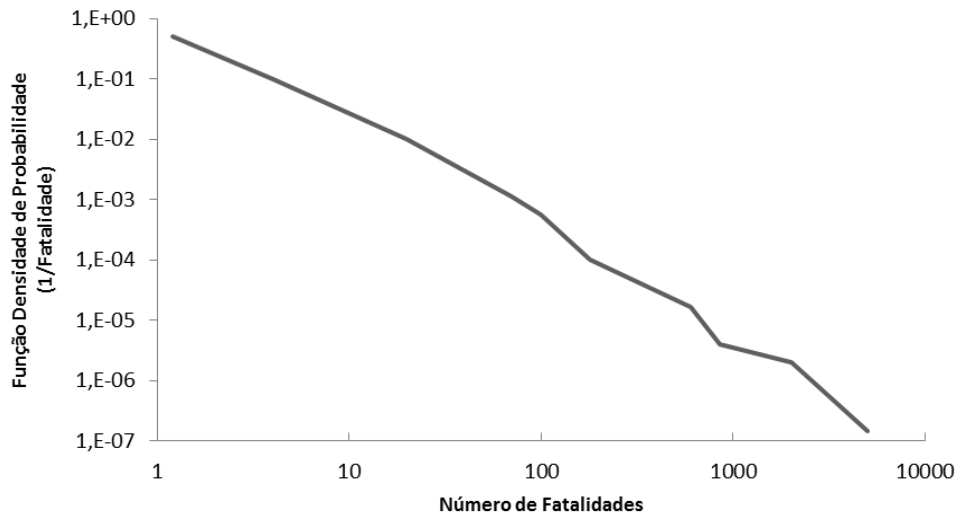


Figura 4 – Relação entre magnitude e requência em relação aos escorregamentos no mundo no período de 2004 a 2010 (Modificado de PETLEY, 2012)

A floresta certamente evita a erosão superficial, permitindo a água infiltrar mais profundamente e conseqüentemente favorecendo a pedogênese. Assim, enquanto a pedogênese continua ativa, o solo cresce, aumentando sua espessura. Contudo não existe o crescimento ilimitado da sua espessura, ou seja, o solo deve perder parte ou totalidade de seu volume em um determinado momento. Nesse momento os escorregamentos ocorrem. Em outras palavras, a pedogênese é acelerada pela função da floresta. Entretanto, quando o solo torna-se pesado ou espesso suficiente para se movimentar, ocorre o escorregamento e a pedogênese volta ao seu estágio inicial (**Figura 5**).

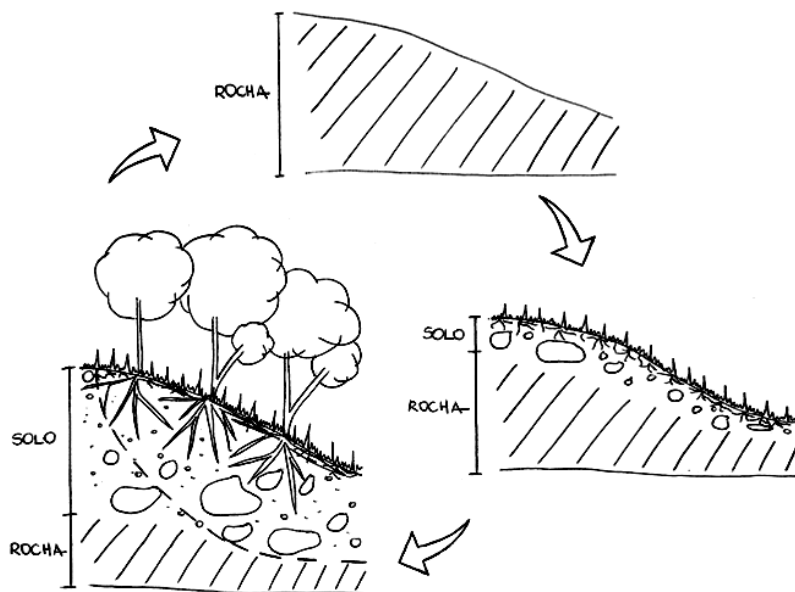


Figura 5 – Pedogênese e floresta.

Neste exemplo fica claro que a floresta não consegue evitar o movimento de massa. O que ocorre é a diminuição de um processo hidrológico (escoamento superficial) em detrimento da intensificação de outro processo (escoamento subterrâneo), modificando assim um processo geomorfológico (erosão superficial) de menor magnitude e maior frequência para outro processo (escorregamento) de maior magnitude e menor frequência (**Figura 6**).

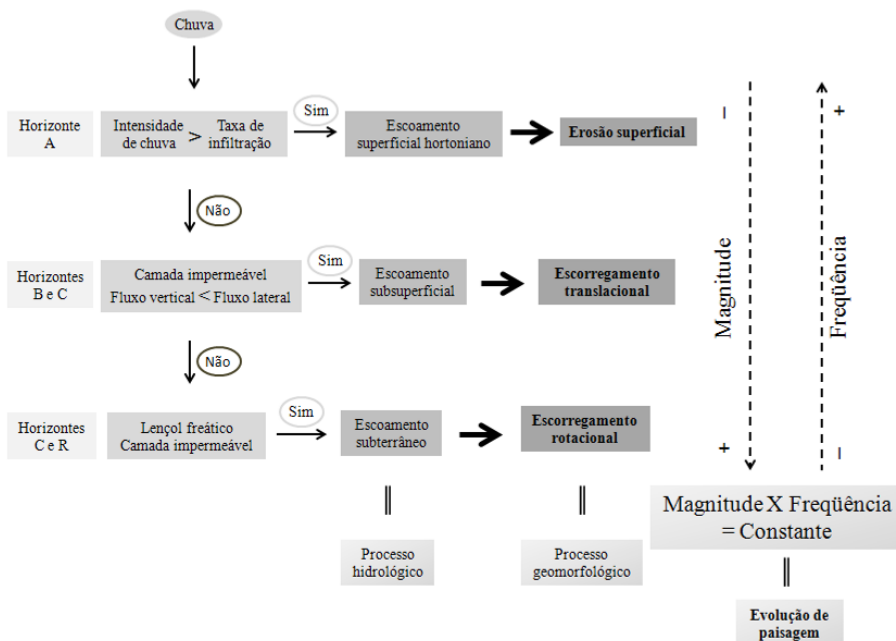


Figura 6 – Processos hidrogeomorfológicos na evolução de paisagem

Tanto os escorregamentos quanto a erosão superficial resultam na produção de sedimentos. Do ponto de vista de movimento de material (massa ou partícula), estes processos podem ser considerados semelhantes. Entretanto, devido aos diferentes mecanismos de ocorrência destes fenômenos, convencionalmente os mesmos vêm sendo tratados separadamente. Analisando a produção de sedimento, a relação M-F pode ser demonstrada por uma linha contínua (**Figura 7a**) ou duas linhas separadas (**Figura 7b**) quando tratam-se ambos os fenômenos. Caso ocorram duas linhas separadas como demonstrado no gráfico, ambos os fenômenos devem ser tratados separadamente. Entretanto, caso ocorra apenas uma linha reta contínua capaz de expressar o comportamento dos dois processos, pode-se dizer que eles são fenômenos semelhantes em relação a produção sedimentos. Há espaço para investigar essa questão.

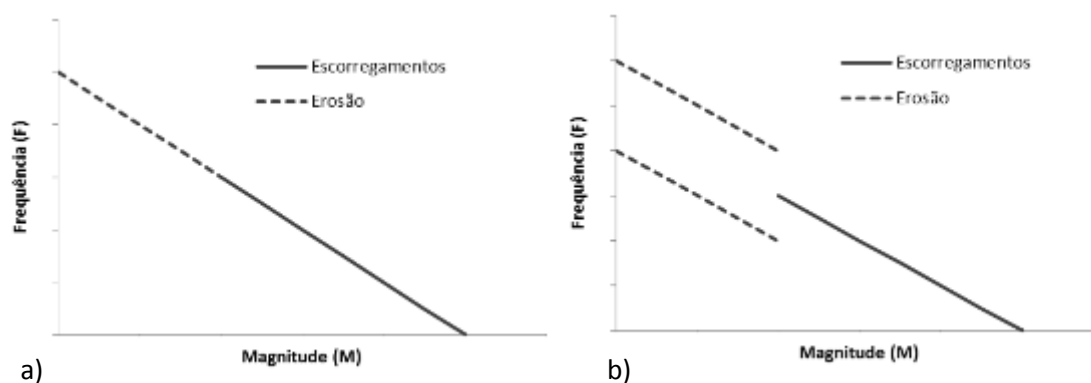


Figura 7 – Relação M-F com escorregamentos e erosão: (a) erosão e escorregamento são semelhantes; (b) erosão e escorregamento são diferentes.

Empiricamente, por meio de observações de campo, percebeu-se que os escorregamentos no vale do Itajaí-SC no ano 2008 ocorreram mais em áreas de floresta nativa do que em áreas caracterizadas pelas atividades antrópicas (reflorestamento, pastagem e agricultura). A preservação do meio ambiente pode promover a pedogênese por meio das funções da floresta. Quando o solo fica pesado, com elevada espessura e umidade, se rompe, escorregando. Então, ironicamente, a ação dessa preservação sem levar em consideração a relação pedogênese/morfogênese pode amplificar a ocorrência de escorregamentos. Contudo, isto não é por si só uma ironia, mas uma relação associada aos

processos hidrogeomorfológicos (GOERL *et al.*, 2012) ou geobiohidrológicos (KOBAYAMA *et al.*, 1998) que, por sua vez, fazem parte da evolução da paisagem.

3.3. Floresta reduz o escorregamento?

A floresta, mais especificamente as compostas por grandes árvores, possui, além dos efeitos hidrológicos, efeitos mecânicos, os quais contribuem para conservação de solo e água, respectivamente (**Figura 8**). Os efeitos mecânicos exercidos pelas árvores podem ser classificados em dois tipos: (1) aumento de coesão devido ao raizamento; e (2) peso exercido pela própria árvore, especialmente seu tronco.

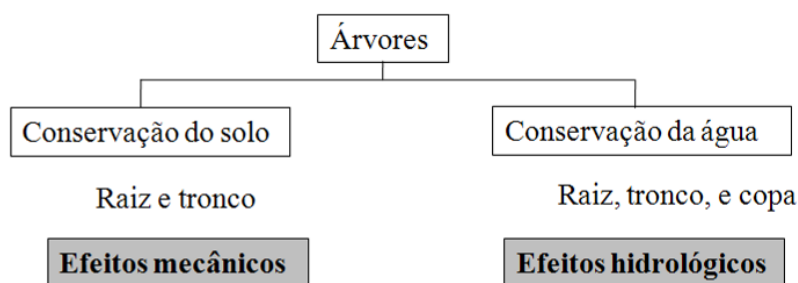


Figura 8 – Efeitos mecânicos e hidrológicos das árvores.

Existem vários métodos para verificar esses efeitos mecânicos. Por exemplo, Michel *et al.* (2012) modificaram o modelo SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*) proposto por Dietrich e Montgomery (1998), inserindo ao mesmo a equação de Borga *et al.* (2002) que consideraram os efeitos da vegetação no cálculo do fator de segurança (*FS*) para encostas infinitas. Esta equação é:

$$F_s = \frac{Cr + Cs + [\rho_s g(Z - h)\cos^2 \theta + (\rho_s - \rho_w)gh\cos^2 \theta + W \cos \theta] \tan \phi}{(Z\rho_s g \cos \theta + W) \sin \theta} \quad (2)$$

onde *Cr* e *Cs* são as coesões de raízes e de solo, respectivamente; ρ_s e ρ_w são as densidades de solo úmido e de água, respectivamente; *g* é a aceleração gravitacional; *Z* é a profundidade vertical do solo; *h* é a altura vertical do lençol freático na camada do solo; θ é o ângulo da encosta; *W* é a sobrecarga exercida pelo peso das árvores; e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

Assim, o SHALSTAB modificado foi aplicado para a bacia hidrográfica do Rio Cunha (16,2 km²) no município de Rio dos Cedros – SC. Considerando que *Cs* =

11,9 kPa, $\phi = 31,2^\circ$, e $\rho_s = 1815 \text{ kg/m}^3$, os autores realizaram a análise de sensibilidade do modelo relacionada aos dois parâmetros $Cr = 0$ a 20 kPa e $W = 0$ a 2 kPa. Além disso, foi analisado o comportamento do modelo frente a diferentes valores de Z (5, 10 e 20 m). O resultado demonstrou que o aumento da coesão das raízes eleva a estabilidade das encostas (Figura 9). Observa-se que quanto menor a profundidade do solo, maior o efeito da coesão das raízes no sentido de elevar o FS da encosta.

A redução da efetividade da coesão total (combinação entre coesão do solo e das raízes) com o incremento da profundidade do solo para modelos de encostas infinitas já foi descrita por Pack *et al.* (1998),\, Hammond *et al.* (1992) e Borga *et al.* (2002) além de relatarem o crescimento do FS com o aumento da coesão das raízes, igualmente mencionaram a influência exercida pelo aumento da profundidade do solo no sentido de atenuar este efeito. Contudo, o aumento da coesão das raízes sempre resulta em incremento na estabilidade das encostas.

Diferentemente da coesão, o modelo é pouco sensível à sobrecarga devido ao peso, o que foi também demonstrado por Hammond *et al.* (1992) e Borga *et al.* (2002). De qualquer forma, pode-se dizer que a estabilidade da encosta depende muito mais da raiz do que do tronco. Isto implica que uma encosta pode manter sua estabilidade logo depois ao desmatamento, onde o efeito mecânico do raizamento está ainda bem ativo.

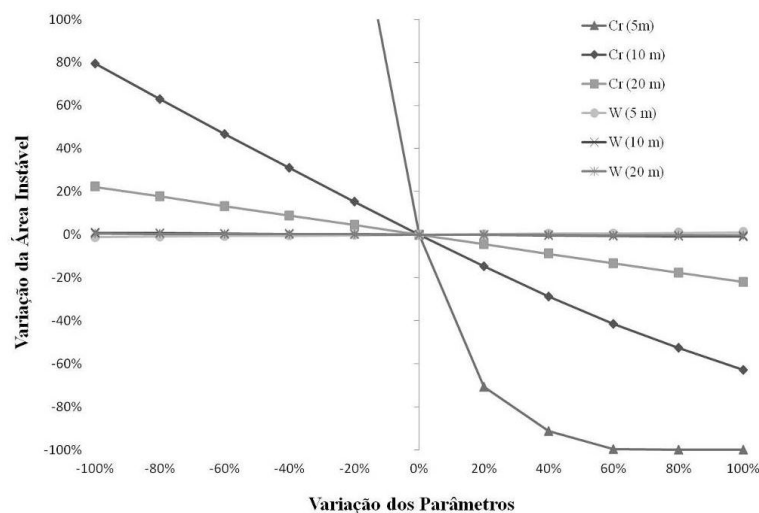


Figura 9 – Análise de sensibilidade do modelo (Modificado de MICHEL *et al.*, 2012)

Tsukamoto e Minematsu (1987) avaliaram os efeitos mecânicos do desmatamento e reflorestamento em termo de *FS* (**Figura 10**). Logo após o desmatamento, a raiz começa a perder lentamente a sua função na estabilidade. No caso do cedro japonês, a perda da funcionalidade leva aproximadamente 20 anos após o corte. Supondo que o plantio das mudas seja feito logo após o desmatamento, as novas raízes iniciam lentamente a sua função na estabilidade e adquirem o máximo desempenho aproximadamente 20 a 30 anos após o plantio. Então, com a combinação de desmatamento seguido do rápido plantio, os autores concluíram que 10 anos depois do desmatamento, a encosta chega à condição mais instável e no período 20 a 30 anos após plantio, a estabilidade da encosta é máxima. Após isto a estabilidade diminui lentamente.

A análise de sensibilidade do modelo de estabilidade aos diversos parâmetros, realizada por Hammond *et al.* (1992), Borga *et al.* (2002) e Michel *et al.* (2012) apresentou que o aumento da espessura do solo diminui a estabilidade da encosta e também que o aumento da espessura do solo diminui o efeito mecânico da coesão de raiz. Então, a produção do solo, ou seja, a pedogênese deve também ser pesquisada em termos de desastres naturais. A **figura 11** demonstra o aumento da espessura do solo em regiões temperadas após a ocorrência de escorregamento com base nos trabalhos de Shimokawa (1984), Trustrum e De Rose (1988) e Smale *et al.* (1997). Como a pedogênese é influenciada pelo clima, este tipo de crescimento da espessura na região tropical e subtropical tende a ser diferente da região temperada. Então, a relação entre a pedogênese e os escorregamentos deve ser investigada no Brasil que possui em sua vasta extensão territorial diferentes tipos de clima. A estimativa da velocidade de aumento da espessura do solo e também da profundidade média do plano de ruptura possibilitará a estimativa da frequência do escorregamento em cada região.

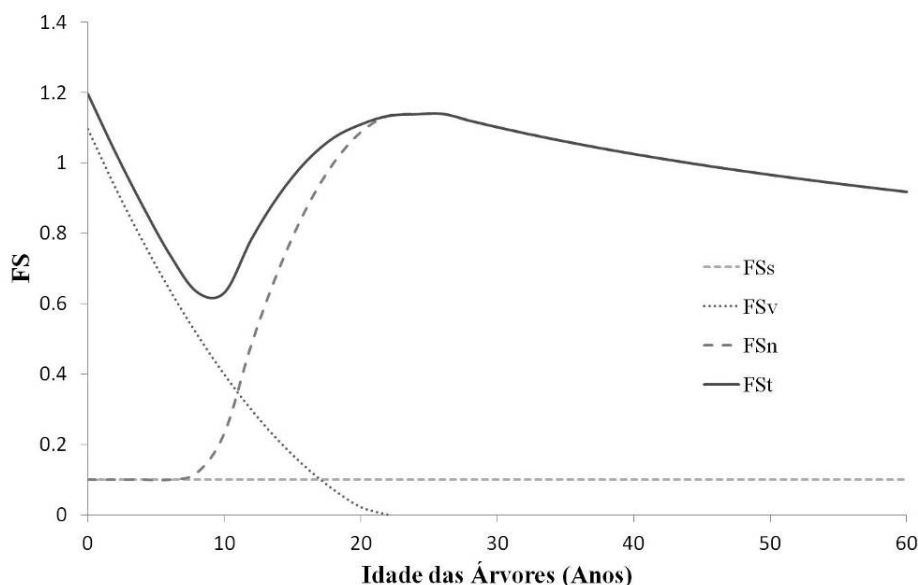


Figura 10 – Alteração de FS após o desmatamento e reflorestamento. (Modificado de TSUKAMOTO e MINEMATSU, 1987). O FS foi calculado em três condições: Solo sem raízes (FSs), solo com cobertura vegetal extraída e raízes em decomposição (FSv) e solo com inserção de nova cobertura vegetal (FSn). O FS total ($FSSt$) representa a soma entre FSv e FSn .

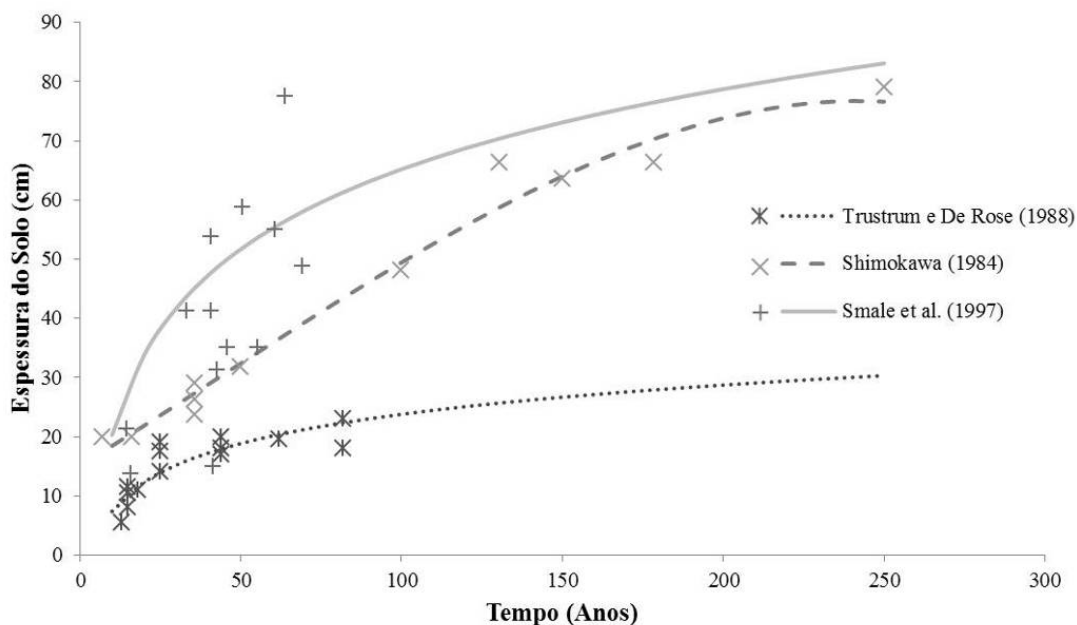


Figura 11 – Desenvolvimento do solo em termo de espessura ao longo do tempo.

Assim, unindo as informações das Figuras 9 a 11, pode-se dizer que a preservação da floresta nativa ao longo do tempo (mais do que alguns séculos) facilitará ocorrência de escorregamentos. Isto deve ser muito mais evidente nos locais mais inclinados.

4.4. APP é APP?

Recentemente têm sido discutidas popularmente as alterações do Código Florestal Brasileiro. Uma das maiores atenções para esta discussão é qual deveria ser o tamanho ou largura da faixa da Área de Preservação Permanente - APP ao longo dos rios. Nas observações feitas em campo após a ocorrência das tragédias no Vale do Itajaí – SC, em 2008 (GOERL *et al.*, 2009a, 2009b; KOBIYAMA *et al.*, 2010b), as APPs apresentam alto risco de serem atingidas por fluxos de escombros que contêm troncos, além de serem os primeiros locais a serem inundados em épocas de cheia (KOBIYAMA *et al.*, 2010a). Como no Estado de Santa Catarina as árvores possuem em média 20 a 30 m de altura, uma faixa do mesmo valor a partir da margem do rio deve ser considerada Área de Perigo Permanente, podendo também ser denominada de APP (Figura 12).

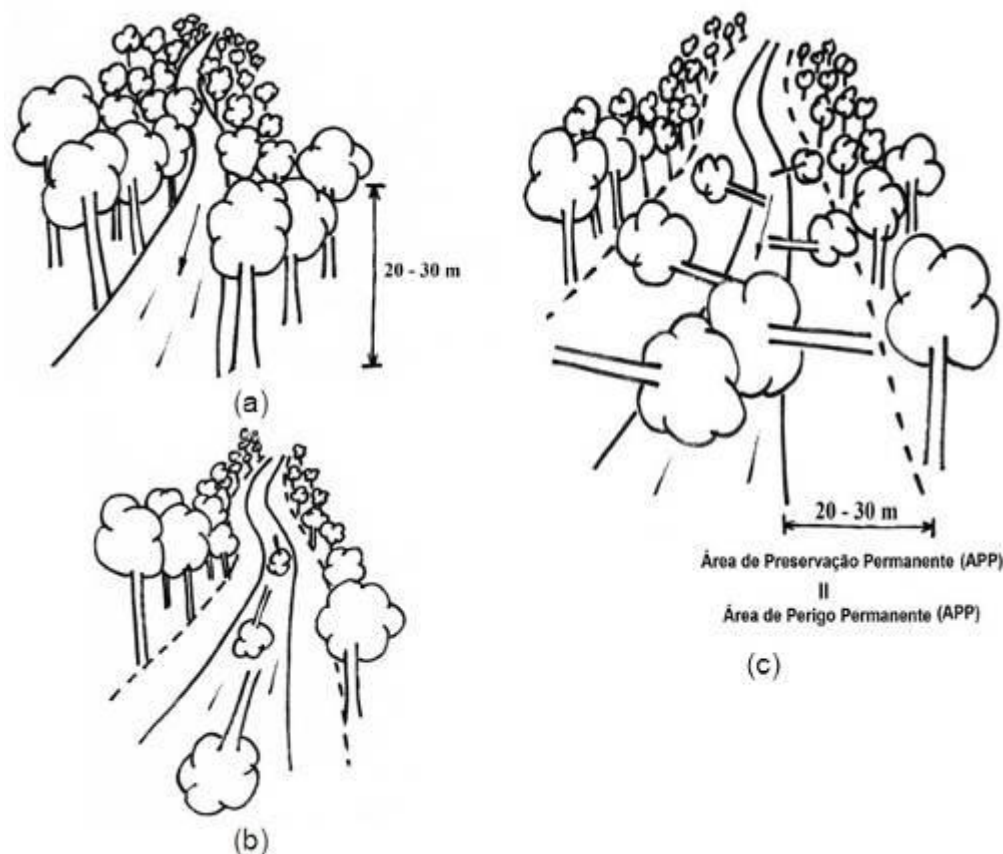


Figura 12 – Destruição da APP devido ao fluxo de escombros: (a) antes da ocorrência do fluxo de escombros, (b) transporte longitudinal dos troncos, e (c) transporte transversal dos troncos. (Fonte: KOBIYAMA *et al.*, 2010a)

Para promover a conscientização, por exemplo, no projeto de extensão universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, “Aprender hidrologia para prevenção de desastres naturais” (KOBIYAMA *et al.*, 2012), diz-se “APP

(Área de Preservação Permanente) é APP (Área de Perigo Permanente)” (KOBAYAMA *et al.*, 2010c).

A Figura 13 mostra que o fluxo de escombros retirou as florestais ripárias em uma faixa de aproximadamente 30 m. A situação atual requer com urgência zoneamentos de áreas de perigo para então reduzir os prejuízos devido aos desastres hidrológicos. O aumento da ocupação das APP certamente resultará no aumento abrupto da ocorrência dos desastres hidrológicos.



Figura 13 – Ausência da floresta ripária logo após da ocorrência do fluxo de escombros.

5. BACIA-ESCOLA

Para o gerenciamento adequado de bacias hidrográficas com o intuito de reduzir os desastres naturais, devem ser realizadas diversas medidas: medidas estruturais (reflorestamento, manutenção de estradas não pavimentadas, barragens, entre outras) e medidas não-estruturais (planejamento territorial com base no zoneamento de áreas de perigos e riscos; implementação de sistema de alerta com base na previsão do tempo; conscientização da população com dados locais). É importante salientar que a maioria dessas medidas necessita de um monitoramento hidrológico. Sem os dados hidrológicos monitorados, é muito difícil exercer o gerenciamento desejado.

No caso da região sul do Brasil, empresas de reflorestamento normalmente possuem muitas bacias de cabeceira em suas propriedades. É de extrema importância a participação destas empresas nos projetos de hidrologia, uma vez que estas podem disponibilizar os locais de interesse (bacia de cabeceira) para serem utilizados como áreas de estudo.

Para os estudos hidrológicos, procura-se o uso de bacias experimentais. O primeiro estudo com bacias experimentais no mundo, as quais foram pareadas (uma de floresta e a outra de pasto), foi realizado na região de Emmental, Suíça, em 1902 (WHITEHEAD e ROBINSON, 1993). O segundo foi em 1906 no Japão (NAKANO, 1976). Após isso, iniciaram-se no início do século XX estudos semelhantes nos EUA, Europa, África do Sul. Hoje, tanto no mundo quanto no Brasil, encontram-se diversas bacias experimentais.

No município de Rio Negrinho – SC, a cooperação entre a universidade e uma empresa de reflorestamento local transformou as bacias de cabeceiras em bacias experimentais. Além disso, a realização de educação ambiental com a participação das comunidades locais e da prefeitura possibilitou convertê-las em bacias-escola (Figura 14). Assim, através do projeto de hidrologia florestal realizado neste município, Kobiyama *et al.* (2007) definiram bacia-escola como uma bacia experimental que serve para pesquisas científicas e para atividades de educação ambiental.

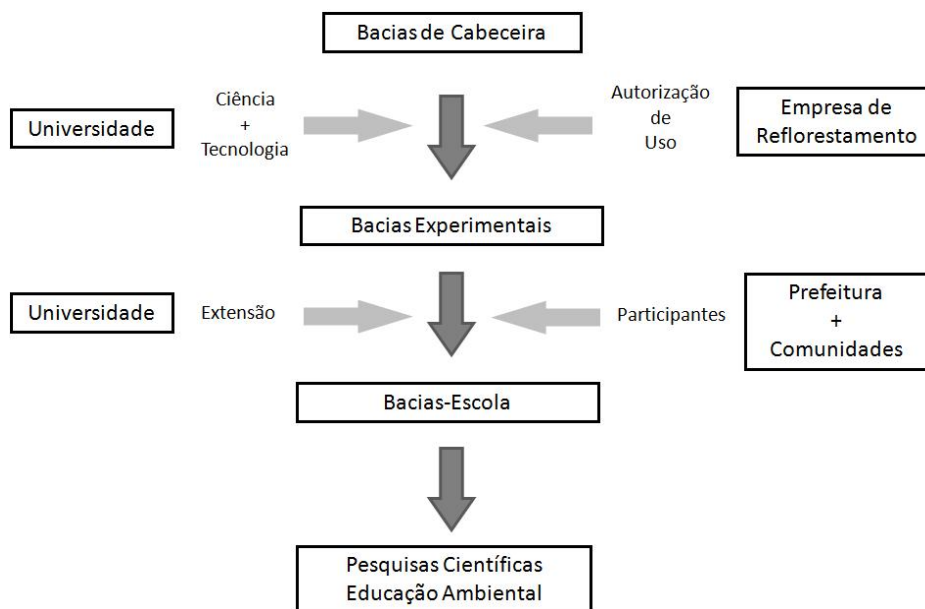


Figura 14 – Transformação das bacias de cabeceira em bacias-escola. (Fonte: KOBİYAMA *et al.*, 2008).

Com diversos interesses científicos de compreender efeitos hidrológicos do tamanho de bacia (PILGRIM *et al.*, 1982; LAUDON *et al.*, 2007), dos diferentes usos do solo, e da operação de barragem, na região do Alto Rio Negro na divisa entre os estados de Santa Catarina e Paraná, a rede de bacias-escola vem sendo implementada (KOBİYAMA *et al.*, 2008 e 2009). Haigh (2009) relatou essa atividade em uma conferencia internacional com grande interesse e como um exemplo a ser seguido, sugerindo a implementação da mesma na Europa.

O conceito de rede de bacias não é novo. Justificando estudos de bacias e o sistema de monitoramento a longo prazo para investigar os efeitos hidrológicos da

floresta, Whitehead e Robinson (1993) relataram alguns exemplos europeus de redes de bacias experimentais. Além disso, O'Connell *et al.* (2007) apresentaram um programa de pesquisa “Hidrologia de Bacia e Gerenciamento Sustentável” que contém a rede de bacias experimentais no Reino Unido e que adota um método experimental comum em multi-escala. Estas redes foram estabelecidas apenas para as pesquisas científicas. O objetivo dessas redes é, portanto, diferente do que aquele de Kobiyama *et al.* (2009), ou seja, a rede de bacias-escola deve contribuir não apenas para as pesquisas científicas, mas também para as atividades de educação ambiental.

A bacia-escola desperta na comunidade o interesse pela hidrologia, e conseqüentemente, amplia o conhecimento nessa área de estudo fazendo com que aumente a participação da população no gerenciamento dos recursos hídricos. A Figura 15 mostra a relação entre a bacia-escola e o gerenciamento participativo. Este tipo de cooperação entre universidades e empresas de reflorestamento, atuando em conjunto com as comunidades locais, é indispensável para assegurar um gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

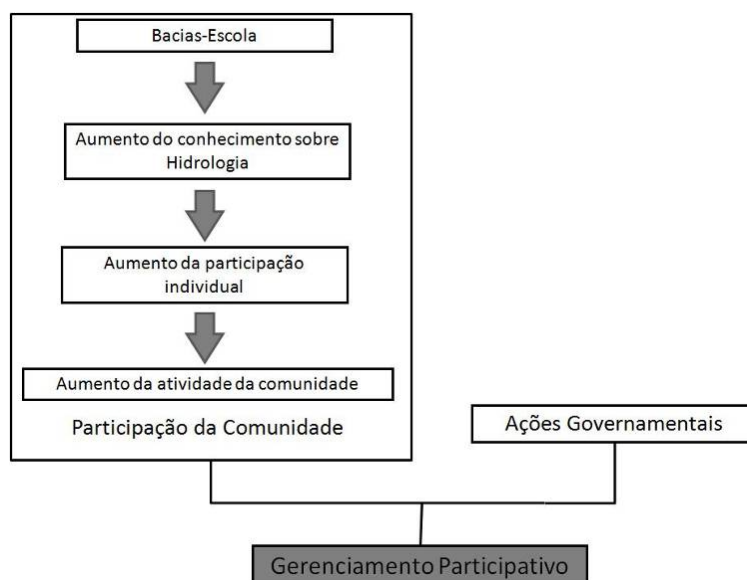


Figura 15 – Relação entre bacia-escola e o gerenciamento participativo. (Fonte: KOBİYAMA *et al.*, 2008)

É importante ressaltar que as bacias-escola são importantes não só para as comunidades locais, mas também para os hidrólogos. Elas são campos (objetos) fundamentais para a realização de pesquisas hidrológicas. Segundo Uhlenbrook (2006), nessas pesquisas, interesses puramente científicos coincidem com práticas do gerenciamento dos recursos hídricos que apoiam o desenvolvimento sustentável. Kobiyama *et al.* (2007) relataram que a conscientização da comunidade sobre a hidrologia pode ser intensificada com uso de bacias-escola.

Segundo Kobiyama *et al.* (2006), a prevenção de desastres naturais é dividida em dois aspectos: (1) compreensão dos mecanismos dos fenômenos naturais que geram os desastres; e (2) aumento do potencial de resistência da sociedade contra esses fenômenos. O primeiro item é a execução da ciência, e o segundo necessita do apoio da ciência. Assim, é bem claro que a implementação da rede de bacias-escola certamente contribui no gerenciamento de desastres naturais (KOBİYAMA *et al.*, 2009).

Para minimizar os prejuízos causados pelos desastres naturais, Lamontagne (2002) destacou a importância da popularização da ciência. Como os desastres naturais no Brasil ocorrem principalmente devido à ação da água, acredita-se que a hidrologia possui um importante papel na redução dos mesmos. Além de demonstrar os mecanismos desencadeadores destes desastres, a hidrologia traz também a percepção dos fenômenos hidrológicos vivenciados diariamente, e evidencia a importância da água e do convívio integrado com a natureza.

Nesse contexto, a implementação da rede de bacias-escola deve ser uma ação urgente no Brasil, a fim de reduzir os desastres naturais, especialmente os hidrológicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A floresta é uma das maiores, mais belas e mais importantes obras que a natureza produz. Então, ela é um dos bens mais preciosos da humanidade e herança que deve ser repassada para gerações futuras.

Os recursos florestais devem ser utilizados na civilização ou desenvolvimento social. Entretanto, tais recursos devem ser também mantidos ou conservados. Então, o desafio do setor florestal é minimizar o conflito entre desenvolvimento econômico (uso dos recursos materiais) e a preservação ambiental, procurando uma maneira adequada dos usos destes recursos através do manejo florestal sustentável.

O aproveitamento dos recursos ambientais da floresta, que ocorre entre 10 e 100 anos, e o aproveitamento dos recursos materiais da floresta, que ocorre de alguns anos até algumas décadas, devem ser executados de maneira harmônica. Se essa execução harmônica for planejada em termos de dimensão espaço-temporal, a convivência de ambos recursos é exequível. Através do manejo da floresta precisa-se conservar a água e o solo. Caso contrário, a existência da humanidade estará ameaçada. “Se não gerenciar a água, não conseguirá governar o país” é um dos antigos provérbios da China. Este provérbio vem se tornando cada vez mais verdadeiro no Brasil.

Para a floresta exercer suas funções com a maior eficiência, independente de como ela esteja tratada, é necessário uma boa compreensão dos mecanismos de suas funções. As ciências florestais e/ou geociências precisam avançar ainda

mais. A implementação da rede de bacias-escola certamente possui papel fundamental nesse avanço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v.47, p.107-124, 2002.

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

BORGA, M.; FONTANA, G.D.; GREGORETTI, C.; MARCHI, L. Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability. **Hydrological Processes**, v.16, p. 2833-2851, 2002.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.55, p.3-23, 1982.

BRUIJNZEEL, L.A. Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated RESEARCH. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. (eds.) Amazonian Deforestation and Climate. Chichester: John-Wiley & Sons, 1996. p.15-55.

CALDER, I.R. Forests and water—Ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v.251, p.110-120, 2007.

CHANG, M. **Forest hydrology: an introduction to water and forests**. Boca Raton: CRC Press, 2002 373p.

CHENG, J.D.; LIN, L.L.; LU, H.S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v.165, p.11-28, 2002.

COELHO NETTO, A.L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no Maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p.46-60, 2005.

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.

FAO **Global Forest Resources Assessment 2005 – Progress towards sustainable forest management**. Rome: FAO, 2005. 320p. (Forestry Paper 147)

GUHA-SAPIR, D.; VAS F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. **Annual Disaster Statistical Review 2011: The numbers and trends**. Brussels: CRED, 2012. 42p.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. **Ambiência**, 2012. (no prelo)

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M.; CORREA, G.P.; ROCHA, H.L.; GIGLIO, J.N. Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC. In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Campo Grande: 2009), Campo Grande, ABRH, **Anais**, 2009a. 19p. CD-rom.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M.; LOURENÇO, L.L.; GRANDO, A. Características gerais dos escorregamentos ocorridos em novembro de 2008 nos municípios de Brusque, Rio dos Cedros e Timbó – SC. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (Viçosa: 2009), Viçosa, UFV, **Anais**, 2009b. 16p. CD-rom.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, 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. **Boletim de Geografia (UEM)**, v.30, n.1, p.81-100, 2012.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: Princípios, Conceitos, Processos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, p.103-111, 2012.

GUZZETTI, F.; MALAMUD, B.D.; TURCOTTE, D.L.; REICHENBACH, P. Power-law correlations of landslide areas in central Italy. **Earth and Planetary Science Letters**, v.195, p.169–183, 2002.

HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (eds.) **Forest Hydrology**, New York: Pergamon, 1967. p.527-543.

HAIGH, M. Headwater control: An agenda for the future. In: International Conference "LAND CONSERVATION – LANDCON (Tara Mountain: 2009) Tara Mountain, **Proceedings**, 2009. 9p. CD-rom.

HAMMOND, C.; HALL, D.E.; MILLER, S.; SWETIK, P. **Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station; General Technical Report INT-285, Ogden, UT, 1992, 190p.

HUNGR, O.; EVANS, S.G.; HAZZARD, J. Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of south-western British Columbia. **Canadian Geotechnical Journal**, v.36, p.224–238, 1999.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, Ano 5, n. 32, p. 112-117, 2000.

KOBIYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E.M. Geo-Bio-Hidrologia. In: I Fórum Geo-Bio-Hidrologia: estudo em vertentes e microbacias hidrográficas (1998: Curitiba) Curitiba: FUPEF, **Anais**, 1998. p.1-25.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; CORSEUIL, C.W.; LINO, J.F.L.; LOPES, N.H.Y.; GRISON, F.; CHAFFE, P.L.B.; MALUTTA, S.; RIBAS, U.; LANGA, R.; BASSO, S. Forest hydrology project (UFSC–MOBASA) for water resources management in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil, in *Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management*. **IAHS Publication**, Wellington, v.315, p.250-257, 2007.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: 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, 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. (Org.) **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. (CD-rom).

KOBIYAMA, M.; FRANCO, A.C.L.; MICHEL, G.P.; GOERL, R.F. Aprender hidrologia para prevenção de desastres naturais: seis anos de experiências. In: 30º Seminário de Extensão Universitária da Região Sul – SEURS (Rio Grande: 2012), Rio Grande: FURG, **Anais**, 2012. 6p.

LAMONTAGNE, M. An overview of some significant eastern Canadian earthquakes and their impacts on the geological environment, buildings and the public. **Natural Hazards**, v.26, p.55–67, 2002.

LAUDON, H.; SJÖBLOM, V.; BUFFAM, I.; SEIBERT, J.; MÖRTH, M. The role of catchment scale and landscape characteristics for runoff generation of boreal streams. **Journal of Hydrology**, v.344, p.198-209, 2007.

LOPES, N.H.Y.; GODOY, F.B.; KOBAYAMA, M. Análise da produção de água e de sedimento em uma microbacia experimental com a aplicação do modelo SWAT. In: VI Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental (2008: Serra Negra) Mogi Guaçu: Faculdade Municipal Professor Franco Montoro, **Anais**, 2008. CD-rom 10p.

MALAMUD, B.D.; TURCOTTE, D.L.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P. Landslide inventories and their statistical properties. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.29, p.687–711, 2004.

MICHEL, G.P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R.F. Avaliação do papel da vegetação na estabilidade de encostas através do modelo SHALSTAB modificado. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia (Rio de Janeiro: 2012) UFRJ, Rio de Janeiro, **Anais**, 2012. 4p.

MOORE, G.W.; BOND, B.J.; JONES, J.A. A comparison of annual transpiration and productivity in monoculture and mixed-species Douglas-fir and red alder stands. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.2263–2270, 2011.

MORGAN, R.P.; RICKSON, R.J. (eds.) **Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach. 2ed.** E & FN SPON, London, 2005. 293p.

NAKANO, H. **Hidrologia florestal.** Kyoritsu Pub., Tokyo, 1976. 228p. (em japonês)

O'CONNELLI, P.E.; QUINN, P.F.; BATHURST, J.C.; PARKIN, G.; KILSBY, C.; BEVEN, K.J.; BURT, T.P.; KIRKBY, M.J.; PICKERING, A.; ROBINSON, M.; SOULSBY, C.; WERRITTY, A.; WILCOCK, D. Catchment hydrology and sustainable management (CHASM): an integrating methodological framework for prediction. **IAHS Publication**, v.309, p.53-62, 2007.

PETLEY, D. Global patterns of loss of life from landslides. **Geology**, v.40, p.927–930, 2012.

PICARELLI, L.; OBONI, F.; EVANS, S.G.; MOSTYN, G.; FELL, R. Hazard characterization and quantification. In: HUNGR, O.; FELL, R.; COUTURE, R.; EBERTHARDT, E. (Eds.), **Landslide Risk Management.** Taylor and Francis, London, 2005. p.27–61.

PILGRIM, D.H.; CORDERYA, I.; BARONB, B.C. Effects of catchment size on runoff relationships. **Journal of Hydrology**, v.58, p.205-221, 1982.

ROSENFELD, C. L. The geomorphological dimensions of natural disasters. **Geomorphology**, v.10, p.27-36, 1994.

SAHIN, V.; HALL, M.J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, v.178, p.293-309, 1996.

SCHEUREN, J-M.; WAROUX, O.P.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review: the Numbers and Trends 2007**. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2008. 47p.

SHIMOKAWA, E. Natural recovery process of vegetation on landslide scars and landslide periodicity in forested drainage basins. In: Symposium on Effect of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability (1984: Hawaii), **Proceedings**, 1984. p.63-72.

SIDLE, R.C.; ZIEGLER, A.D.; HEGISHI, J.N.; NIK, A.R.; SIEWC, R.; TURKELBOOM, F. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. **Forest Ecology and Management**, v.224, p.199-225, 2006.

SMALE, M.C.; McLEOD, M.; SMALE, P.N. Vegetation and soil recovery on shallow landslide scars in tertiary hill country, East Cape region, New Zealand. **New Zealand Journal of Ecology**, v.21, n.1, p.31-41, 1997.

TADAKI, Y. **Ambiente e homen: Porque precisamos a floresta?** Tokyo: Komineshoten, 1992. 119p. (em japonês).

TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H. Reforestation and the reduction of water yield on the Southern Piedmont since circa 1940. **Water Resources Research**, v.23, p.425-437, 1987.

TROENDLE, C.A.; WILCOX, M.S.; BEVENGER, G.S.; PORTH, L.S. The Coon Creek Water Yield Augmentation Project: implementation of timber harvesting technology to increase streamflow. **Forest Ecology and Management**, v.143, p.179-187, 2001.

TRUSTRUM, N.A.; DE ROSE, R.C. Soil depth-age relationship of landslides on deforested hillslopes, Taranaki, New Zealand. **Geomorphology**, v.1, p.143-160, 1988.

TSUKAMOTO, Y.; MINEMATSU, H. Evaluation of the effect of deforestation on slope stability and its application to watershed management. **IAHS Publication**, v.167, p.181-189, 1987.

TURCOTTE, D.L. **Fractals and Chaos in Geology and Geophysics**, 2nd ed. Cambridge University Press. 1997.

UHLÉNBRÖCK, S. Catchment hydrology – a science in which all processes are preferential. **Hydrological Processes**, v.20, p.3581-3585, 2006.

UNDP **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies-an international and historical perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, v.145, p.217-230, 1993.