

**CONTROLE DE PROCESSO EROSIVO PROVOCADO POR ROMPIMENTO DE  
ADUTORA NA SERRA DA MANTIQUEIRA, SP, BRASIL**

**CONTROL OF EROSION PROCESSES RESULTING FROM DISRUPTION OF ADDUCTOR  
IN THE SERRA DA MANTIQUEIRA, SP, BRAZIL**

Admilson Clayton Barbosa<sup>1</sup> Helio Nobile Diniz<sup>2</sup>

**RESUMO**

Na escarpa sul da Serra da Mantiqueira, divisor geográfico nordeste entre o estado de São Paulo e Minas Gerais, ocorreu um acidente ambiental causado pelo rompimento de uma adutora cuja finalidade é a de conduzir a água de um reservatório localizado a 1.820 m de altitude até a casa de máquinas onde há geração de energia elétrica, e que está localizada a 750 m. Esse acidente resultou na formação de uma cicatriz na floresta da encosta, com supressão do solo e da vegetação. Para reverter os processos erosivos formados no local, foi desenvolvida uma metodologia utilizando quatro barreiras (numeradas de I a IV) formadas por mudas de *Bambusa mutiplex* (Lour.), bambu cuja finalidade foi a de desviar as águas de escoamento superficial, proporcionando, dessa forma, a regeneração da vegetação nativa. Colmos de bambu consorciados com o plantio de *Bambusa multiplex* foram utilizados para contenção dos detritos em duas ravinas formadas pela erosão. O desenvolvimento da vegetação foi monitorado por 18 meses e avaliado por meio da aplicação de uma Matriz de Leopold, composta por cinco aspectos, que são: erosão, regeneração da vegetação, sucesso do plantio de bambu, conservação das estruturas montadas e funcionalidade. O uso da matriz teve a finalidade de demonstrar a eficiência das intervenções com a utilização de bambu. O resultado da matriz permitiu classificar quantitativa e qualitativamente as intervenções realizadas, obtendo-se cinco níveis, sendo as barreiras I, II e IV consideradas de muito “alta eficiência”, e a barreira III, de “alta eficiência”. A contenção das ravinas foi considerada de “média” a muito “alta eficiência”.

**Palavras chave:** recuperação de encosta; ravina; bambu; *Bambusa multiplex* (Lour.).

**ABSTRACT**

In the southern escarpment of the Serra da Mantiqueira, northeast geographic divider between the State of São Paulo and Minas Gerais, there was an environmental accident caused by the disruption of an adductor whose purpose is to lead the water from a reservoir located at an altitude of 1820 m to the machine house where there is an electric generator located at 750 m. This accident resulted in the formation of a scar on the hillside forest, with removal of soil and vegetation. To reverse the erosion processes, a methodology was developed consisting of the use of four barriers (numbered I to IV) formed by seedlings of *Bambusa mutiplex* (Lour.), whose purpose was to divert the water runoff in order to provide the regeneration of native vegetation. Stalks of bamboo intercropped with *Bambusa multiplex* were used to contain debris in two gullies formed by erosion. The development of vegetation was monitored for 18 months and evaluated by the application of a Leopold Matrix composed of 5 points, which are: erosion, regeneration of vegetation, success of bamboo planting, installed conservation structures and functionality. The purpose of the matrix was to demonstrate the effectiveness of interventions using bamboo. The result of the classification matrix enabled the quantitative and qualitative classification of the interventions, resulting in five levels, where the barriers I, II and IV were considered to be of very high efficiency, and barrier III was considered to be of high efficiency. The contention of the gully was considered to be of medium to very high efficiency.

**Keywords:** recovery of hill; ravine; bamboo; *Bambusa multiplex* (Lour.).

1. Biólogo, Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade de Taubaté, Av. Prof. Dr. Luiz Cembranelli, 5000, Bairro Itaim, CEP 12020-200, Taubaté (SP). admilson.barbosa@emae.com.br

2. Geólogo, Dr., Professor de Hidrogeologia na Universidade de Taubaté, Av. Prof. Dr. Luiz Cembranelli, 5000, Bairro Itaim, CEP 12020-200, Taubaté (SP). heliodiniz1@yahoo.com.br

Recebido em 18/03/2009 e aceito em 16/06/2010

## INTRODUÇÃO

Os processos erosivos, sulcos, ravinas, boçorocas, escorregamentos e deslizamentos de encostas, são frequentes nas regiões tropicais. Vários fatores podem influenciar na ocorrência desses processos, tais como a declividade, o relevo, o tipo de solo, a cobertura vegetal, o uso e a ocupação de morros e encostas (IWASA e FRENDRICH, 1998; TOMINAGA, 2000; CRISTO, 2002; AFONSO e MÁXIMO, 2006).

Nas áreas de encostas e vertentes, de altitudes mais elevadas, como a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, esses efeitos ultrapassam a questão ambiental e afetam diretamente a população, causando perda das moradias, bens materiais e trazendo risco de morte.

Algumas técnicas alternativas para recuperação ambiental são consideradas de baixo custo, quando comparadas às técnicas convencionais de engenharia civil.

Nesse contexto, as técnicas de bioengenharia são excelentes aliadas na recuperação de processos erosivos, porque utilizam materiais inertes, como madeira, metal, rocha, manta geotêxtil, fibras vegetais e sintéticas, consorciados com plantas vivas. Essas técnicas proporcionam ótimos resultados paisagísticos e ambientais, muitas vezes, viáveis economicamente, em razão de seu custo relativamente baixo quando comparadas a outras técnicas (SUTILI, 2004; ANTONIS e MOLINARI, 2007).

Os municípios de Campos do Jordão e parte de Pindamonhangaba, na região da Serra da Mantiqueira, no estado de São Paulo, apresentam características que demonstram suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos e deslizamentos com áreas vulneráveis a riscos ambientais (HIRUMA, 1999). No município de Campos do Jordão, a expansão do crescimento urbano, avançando sobre as áreas de encostas de alta declividade, geralmente ocupadas por população de baixa renda, com casas mal estruturadas, promoveu significativa perda da cobertura vegetal original, causando graves problemas relacionados à preservação ambiental (DELGADO, 2007).

Em 2004, ocorreu o rompimento de uma adutora cuja função é a de levar água de um reservatório situado no contraforte do Planalto de Campos do Jordão, a 1.820 m de altitude, até uma

Pequena Central Hidrelétrica – PCH, situada na base da encosta sul da Serra da Mantiqueira, a 840 m de altitude. O acidente originou uma cicatriz na vegetação, causada pelo arraste do solo e de árvores, provocando uma degradação em uma área aproximada de 900 m<sup>2</sup>, com formação de sulcos, ravinas e boçorocas.

Com vistas à recuperação da área que sofreu degradação, foi desenvolvida e aplicada uma nova técnica de trabalho, que se fundamenta em conceitos de bioengenharia, utilizando quatro barreiras formadas por mudas de *Bambusa mutiplex*, delimitadas por uma cinta de PVC (utilizada em gramados e jardins, como limitador), com o intuito de desviar as águas e favorecer a regeneração da vegetação. Para contenção de duas ravinas, denominadas de menor e maior, colmos de bambu (*Bambusa sp*) foram plantados em consórcio com *Bambusa mutiplex* entre os colmos e os taludes.

A formação das barreiras objetivam desviar as águas pluviais, criar condições favoráveis para o restabelecimento da cobertura vegetal, aproveitando o banco genético ali existente e que ficará retido nas barreiras, promover a retenção de material solto e erodido, evitar o agravamento do processo de erosão pela ação das águas e formar uma estrutura natural de escoamento e drenagem. As contenções têm o objetivo de propiciar a estabilização da ravina, dissipação das águas de pluviais, regeneração da vegetação, retenção de solo, propágulos e material orgânico.

Assim, este trabalho teve por objetivo geral descrever a técnica aplicada para retenção dos processos erosivos da cicatriz, formada pelo escorregamento acidental, na escarpa sul da Serra da Mantiqueira.

## MATERIAL E MÉTODO

A área estudada está localizada na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Grande, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 02, constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Pertence à encosta sul da Serra da Mantiqueira, localizada no município de Pindamonhangaba, SP, entre as coordenadas 22° 44' 29. 49" S e 45° 26' 50. 37" E (Figura 1). No local, o relevo apresenta declividade superior a 35° (IPT, 1995). A vegetação predominante é de Floresta Ombrófila Densa de Encosta, em estágio secundário avançado de regeneração.

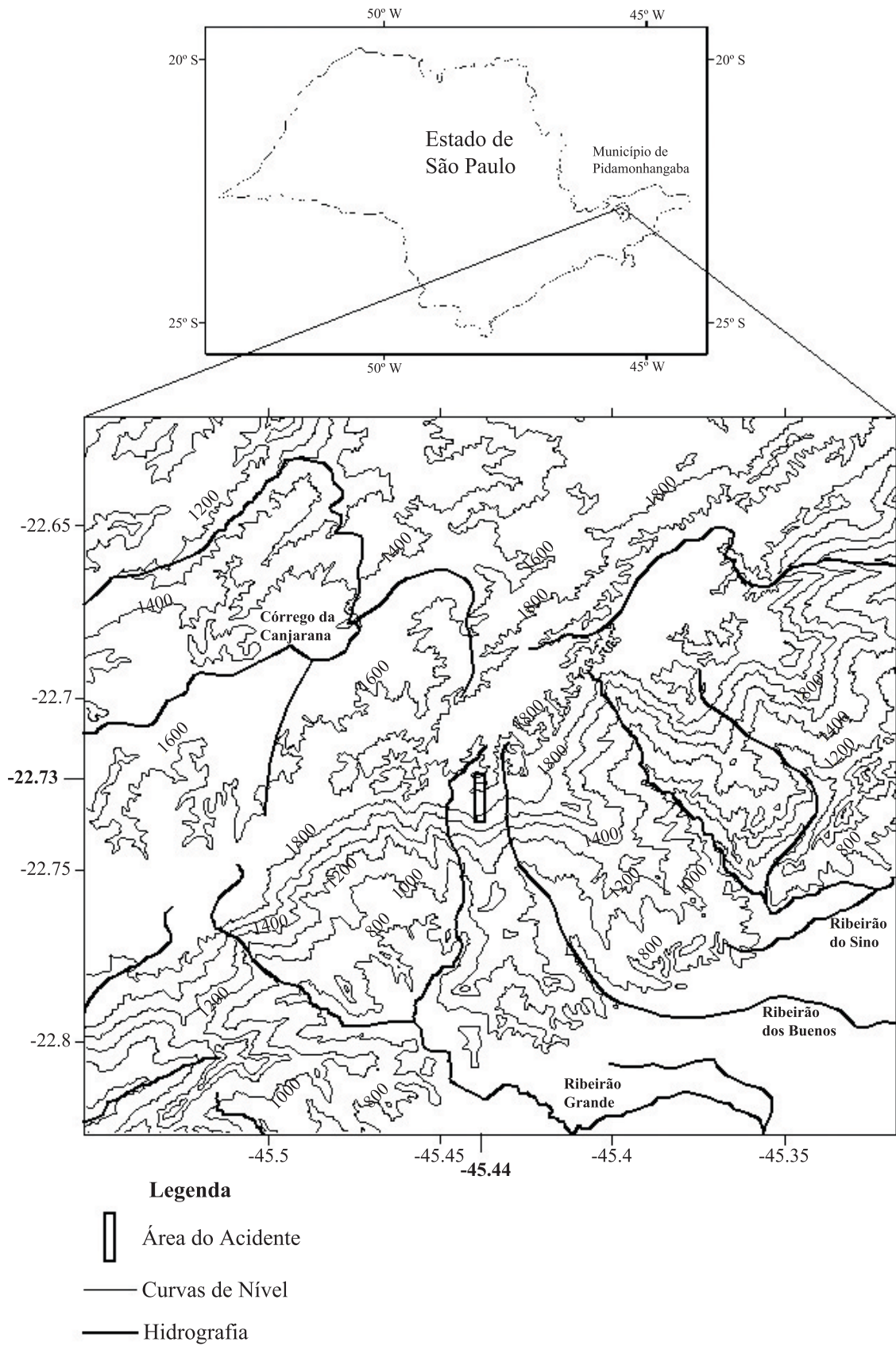


FIGURA 1: Mapa de localização da área do rompimento da adutora, município de Pindamonhangaba, SP.  
FIGURE 1: Location map of the area of rupture of the adductor, Pindamonhangaba, SP.



Os horizontes A e B do solo foram removidos pelo arraste da água, assim como blocos de rocha e a vegetação situada no alinhamento da encosta, junto à tubulação. O material foi transportado e dissipado na mata de jusante, até a dissipação do fluxo da água em um leito de drenagem natural.

O solo da encosta pertence à classe dos Cambissolos, subclasse Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico, isto é, constituído por solos que apresentam horizonte A ou hístico, com espessura menor que 0,4 m, seguido de horizonte B incipiente. São solos pobres em nutrientes e ácidos, com elevados teores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ).

A carga hidráulica e o fluxo das águas resultante do rompimento da adutora formaram, no local, processos erosivos de diferentes ordens, com presença de sulcos e ravinas. As ravinas mais profundas foram denominadas de ravina maior e de ravina menor. Ambas apresentam taludes lateral, sendo que a maior tem aproximadamente 3,0 m de profundidade e, a menor, 1,5 m. Vários processos erosivos ficaram aparentes, como filetes e sulcos.

### Descrição das etapas de recuperação da área

Após as inspeções realizadas no local do deslizamento, foram selecionados alguns pontos do terreno que apresentavam degraus naturais e pouco acentuados, capazes de sustentar barreiras e receber o plantio de bambu. Duas ravinas chamavam a atenção pelas características, pois apontavam risco de aumento no tamanho, o que agravaria o problema no local do acidente.

Para facilitar a aplicação da metodologia de recuperação da área, esta foi dividida em três partes chamadas de Trechos A, B e C (Figura 2). No Trecho A, localizado na altitude de 1.758 m, foram executadas obras emergenciais após o acidente (março de 2005); no Trecho B, foi implementada a recuperação ambiental (a partir de dezembro de 2006); compreende o setor entre as altitudes de 1.620 e 1.705 m, e lá foram instaladas quatro barreiras de bambu e realizada a contenção da ravina maior, com a utilização de bambu (como suporte), colmos e mudas de *Bambusa mutiplex* e; no Trecho C, está localizada a contenção da ravina menor, na altitude de 1.610 m, também utilizando bambu, colmos e mudas *Bambusa mutiplex*.

### Escolha do gênero *Bambusa*

As espécies de bambu representam um grupo

botânico que apresentam características biológicas e ecológicas ideais para recuperação de ambientes degradados, pelo seu rápido crescimento, rusticidade e fácil adaptação a solos degradados (LONDOÑO, 2002) e ainda contribuem para a preservação dos recursos hídricos, atuando na prevenção de assoreamento dos cursos d'água (DRAKE, 2002; LONDOÑO, 2002). As espécies utilizadas foram *Bambusa sp*, empregada na montagem da estrutura de contenção das duas ravinas, consorciada com plantio de mudas de *Bambusa mutiplex*.

A *Bambusa mutiplex* é uma espécie bem robusta que suporta baixas temperaturas (até -12 °C), mas não por períodos prolongados, e também é resistente a fungos (MEREDITH, 2001). Seus rizomas são do entouceirantes e o tamanho é considerado de baixo/médio porte, com altura variando entre 4,0-6,0 m, de acordo com a variedade. O diâmetro do colmo também varia de 0,6 a 4 cm, em razão da variedade (HOLTUM, 1956 apud STAPLETON, 1994; CUSACK, 1999; MEREDITH, 2001). *Bambusa mutiplex* pode crescer à meia sombra, como ocorre nas florestas, havendo relatos de que a espécie vive na parte da floresta pouco iluminada e se adapta bem a diferentes tipos de solo (CUSACK, 1999; STAPLETON, 1994).

A escolha de *Bambusa mutiplex* foi feita com base no conhecimento da morfologia, ecologia e disponibilidade de compra das mudas e foi utilizada (em mudas) para formar as quatro barreiras na área da cicatriz. Quanto aos aspectos

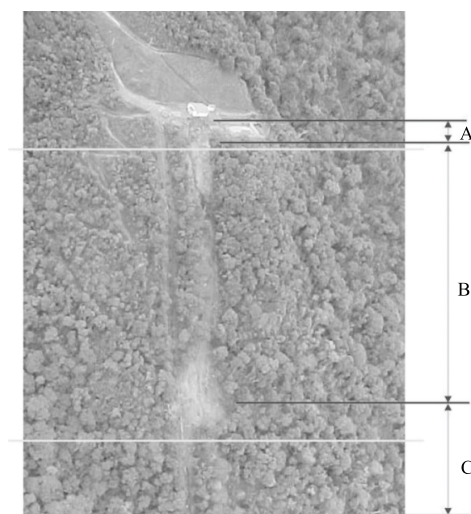


FIGURA 2: Delimitação dos trechos A, B e C. Fonte: EMAE, 2005.

FIGURE 2: Delimitation of sections A, B and C. Source: EMAE, 2005.

da sua morfologia, destacam-se o tipo de rizoma, paquimorfo, portanto, em forma de touceira, o que evita o espalhamento da planta sobre áreas de floresta, e o seu porte, que não alcança a altura superior à das árvores nativas encontradas nas áreas do entorno do acidente (STAPLETON, 1994; CUSACK, 1999; MEREDITH, 2001).

### A instalação das barreiras

Foram instaladas quatro barreiras, descritas e nomeadas em ordem decrescente, do sentido montante para jusante, estando a primeira barreira localizada a 1.668 m de altitude, a segunda, a 1.651 m, a terceira, a 1.640 m, e a quarta, a 1.626 m.

Cada barreira recebeu 130 mudas de *Bambusa multiplex*, em uma área de aproximadamente 50 cm de largura e 7,0 a 8,5 m de comprimento. O local do plantio foi delimitado com limitador de gramado e jardim, de PVC reciclado, com altura de 21 cm. O limitador de gramado teve a função de manter as mudas de bambu em um espaço confinado, limitando seu crescimento, assegurando que as águas das chuvas não carregassem as mudas antes do entrelaçamento dos rizomas, da sua formação e fixação no solo.

O plantio das mudas de bambu foi feito para formar uma única touceira, de aproximadamente 50 cm de largura, posicionada diagonalmente ao centro do escorregamento. As mudas de *Bambusa multiplex* foram plantadas, uma ao lado da outra, em espaçamento de 10 cm, procurando preencher toda a área delimitada. Os limitadores foram parcialmente enterrados e presos por grampo de aço. Não foi utilizado nenhum tipo de fertilizante ou agrotóxico no plantio.

### Contenção das ravinas

Os trabalhos de contenção das ravinas possuem etapas semelhantes, como a preparação do terreno, transporte e perfuração dos colmos estruturais, transporte das mudas de *Bambusa multiplex*, amarração e inserção das mudas entre os colmos.

A ravina maior localiza-se na altitude de 1.631 m, entre a terceira e quarta barreira de bambu. A ravina menor encontra-se na interseção dos Trechos B e C, na altitude de 1.612 m.

Os colmos de bambu utilizados para formar a estrutura de contenção dos processos erosivos foram previamente perfurados antes de serem

transportados ao local de sua instalação. Cada colmo contém seis furos, passantes, que possuem diâmetro de 30 mm e espaçamento entre os furos de aproximadamente 30 cm, eles têm a finalidade de receber os colmos das mudas de *Bambusa multiplex*, passadas entre eles e os colmos estruturais, de modo que os colmos com as folhas das mudas fiquem expostos ao sol e os rizomas voltados para o talude de forma a receber e reter o solo e material orgânico.

As estruturas de contenção das duas ravinas possuem formato de cerca de bambu e, no local dos furos foram passados os colmos das mudas de *Bambusa multiplex*. A estrutura em forma de cerca fica aproximadamente paralela ao talude, com os colmos de bambu justapostos ao longo de um mesmo nível de modo a formar uma barreira contínua. Na Figura 3, observa-se o perfil esquemático do colmo estrutural no talude da ravina. Foram utilizadas 180 mudas para a contenção da ravina maior e cem mudas para a menor, e um total de 38 colmos estruturais (com diâmetro superior a 10 cm) para as duas ravinas. Nas duas contenções, os colmos foram dispostos paralelamente e as mudas dispostas de maneira aleatória, entre os colmos e os furos.

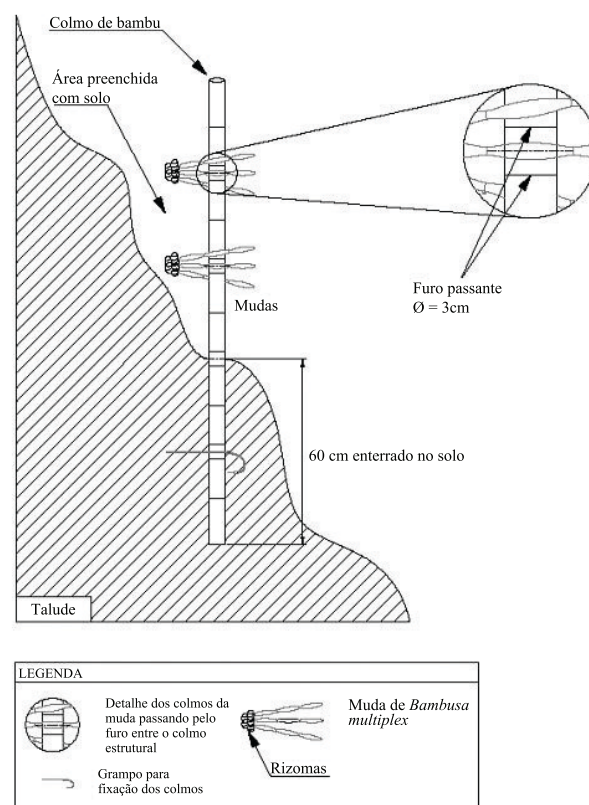


FIGURA 3: Ilustração da cerca de bambu encostada no talude e enterrada no solo.

FIGURE 3: Illustration of some bamboo against the slope and buried in soil.

Os colmos de 3,1 m foram enterrados no solo, até a profundidade de 60 cm, e unidos entre si por meio de arame de aço galvanizado, como quando utilizado na costura de gabiões. A altura final atingiu 2,5 m acima da superfície do solo, atrás da estrutura está a área degradada que foi preenchida por solo (Figura 4). A função dos colmos furados é a fixação das mudas, de modo que o crescimento dos rizomas forme entrelace de uma muda na outra e também na parede da ravina servindo de grampo natural para a estrutura. A utilização dos grampos de aço permitiu que os colmos de bambu e as mudas ficassem “atirantados”, isto é, presos ao terreno. O vão entre o talude e a barreira de colmos foi preenchido com solo, retirado das escavações feitas para fincá-los no chão, e também foi utilizado solo e serapilheira retirada durante o nivelamento do terreno. Parte desse solo continha material orgânico e propágulos, contribuindo para a regeneração natural das ravinas.

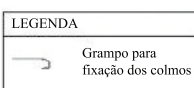
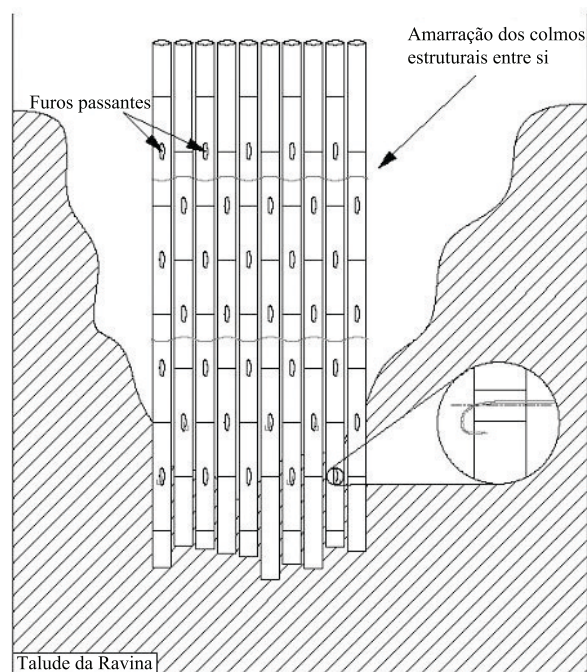


FIGURA 4: Ilustração dos colmos do bambu estrutural, fixado ao solo e preso pelos grampos de aço.

FIGURE 4: Illustration of structural stalks of bamboo, fixed to the ground and secured by steel clips.

### Avaliação do trabalho

A avaliação do trabalho foi feita com base nas observações de campo durante 18 meses, e aplicação da Matriz de Leopold, adaptada para mensurar a sua eficiência. Para tal, foram selecionados parâmetros ambientais observados após a implantação da técnica. Tais parâmetros, dependendo do seu aspecto, são qualitativos e, ou, quantitativos.

Foram observados os seguintes parâmetros ambientais:

1) *Erosão* – observou-se o controle dos processos erosivos após a instalação das intervenções. Quanto maior o valor atribuído, na escala numérica, mais eficiente é a intervenção no controle desses processos;

2) *Regeneração da vegetação* – foi avaliada a ocorrência de espécies vegetais após as intervenções como resposta do ambiente ao processo de regeneração. Sua valoração se deu em função dessa ocorrência;

3) *Sucesso do plantio de bambu* – esse aspecto foi avaliado considerando-se o índice de sobrevivência de mudas, sendo que, quanto maior o número de mudas vivas, maior é sua graduação numérica e, por consequência, aumento da sua graduação qualitativa;

4) *Conservação estrutural* – aspecto muito importante, porque está intrinsecamente ligado ao sucesso do trabalho. Todas as etapas do processo de recuperação da área devem ser executadas e acompanhadas seguindo normas previamente estipuladas, até que a vegetação consiga se estabelecer, ou seja, as mudas de bambu fixadas, pegadas e seus rizomas entrelaçando uns aos outros, a regeneração das espécies ocorrendo e seu sucesso em resistir às intempéries do ambiente. O valor atribuído a esse parâmetro foi considerado com base em seu aspecto desde a instalação, isto é, quanto mais conservado for seu estado, maior é sua graduação;

5) *Funcionalidade* – esse aspecto foi avaliado de acordo com o desempenho das intervenções em proporcionar a recuperação ambiental do local, como desvio das águas pluviais, retenção de material, regeneração natural, entre outros. Quanto mais funcional é a intervenção, conforme era esperado, maior é o valor que ela receberá.

Para acompanhamento em campo, utilizou-se uma caderneta que contemplava os aspectos



ambientais e as principais interferências que estes poderiam sofrer. Nela, todas as observações foram anotadas. Com o término do acompanhamento, foi elaborada uma ficha de avaliação, para cada aspecto, de forma a pontuar a eficiência de cada intervenção do bambu feita na área da cicatriz (quatro barreiras e duas contenções de ravina).






Na Matriz de Leopold, a graduação da magnitude das intervenções sobre os aspectos ambientais avaliados pode ser valorada de forma positiva ou negativa, de acordo com a eficiência de cada uma delas, isto é, no lado esquerdo da célula. Sua pontuação, em escala numérica, varia de 0 a 10, que corresponde a uma escala qualitativa, que varia de muito baixa a muito alta. Nessa escala, cada gradação possui uma tonalidade diferente para facilitar a leitura da Matriz (Tabela 1). Essa escala qualitativa, com atribuição de tonalidades de cinza, foi elaborada de maneira a proporcionar maior visibilidade aos valores quantitativos obtidos com aplicação da ficha de avaliação dentro da

matriz. No que tange à avaliação do experimento, as células representadas pelas possíveis ações foram valoradas, de maneira a quantificar a eficiência das intervenções instaladas na área da cicatriz.

A importância de cada intervenção efetuada na área degradada (barreiras de bambu e estruturas de contenção) corresponde aos valores numéricos posicionados do lado direito da célula, que corresponde à importância que o avaliador dará para o possível impacto, por exemplo, considera-se o número 1 como sendo uma importância muito baixa e o número dez como um grau muito alto de importância. Em termos práticos, funcionaria da seguinte maneira: o avaliador atribui nota 10 para importância do controle de erosão, a partir da instalação da barreira, em um determinado ponto de um terreno de relevo acidentado. Nesse caso, ele considera que a ação, colocação da barreira física, tenha uma importância muito alta, de tal modo que proporcione o controle erosivo no terreno em questão.

TABELA 1: Matriz de Leopold com indicação dos valores médios atribuídos a cada aspecto monitorado.  
TABLE 1: Leopold Matrix with the average values assigned to each monitored aspect.

Aspectos monitorados			Matriz de Leopold						Média para o aspecto
			Ações: intervenções na cicatriz						
			Barreira I	Barreira II	Barreira III	Barreira IV	Ravina Maior	Ravina Menor	
Fatores Ambientais	Água	Erosão	9 10	9 10	9 10	9 10	5 10	8 10	8,2 10
		Regeneração da vegetação	8 10	8 10	7 10	7 10	5 10	9 10	7,2 10
	Vegetação	Sucesso do plantio de mudas de <i>Bambusa multiplex</i>	9 10	9 10	6 10	8 10	3 10	9 10	7,2 10
Fatores Estruturais	Estado	Conservação das estruturas	9 10	9 10	8 10	9 10	5 10	8 10	8 10
		Funcionalidade	8 10	8 10	8 10	8 10	5 10	9 10	7,5 10

-  0 a 2 = Muito baixa eficiência da ação de intervenção (barreira/ravina) para o controle do aspecto monitorado
-  > 2 a 4 = Baixa eficiência da ação de intervenção (barreira/ravina) para o controle do aspecto monitorado
-  >4 a 6 = média eficiência da ação de intervenção (barreira/ravina) para o controle do aspecto monitorado
-  >6 a 8 = Alta eficiência da ação de intervenção (barreira/ravina) para o controle do aspecto monitorado
-  >8 a 10 = Muito Alta eficiência da ação de intervenção (barreira/ravina) para o controle do aspecto monitorado

O quadrante da importância de cada intervenção, canto inferior direito da célula, estabelece o valor máximo desejado de eficiência que a ação (instalação na barreira) pode ter sobre o meio ambiente, isto é, o seu impacto na área da cicatriz. O valor é previamente estabelecido com base na escala de valoração da Matriz de Leopold.

A valoração de cada um desses impactos foi feita em função dos critérios pré-estabelecidos para cada impacto dentro de um aspecto. Desta forma, considera-se que o aspecto pode ter a nota máxima – 10 positivo, em uma escala de 1 a 10, sendo que cada impacto identificado no aspecto avaliado receberá uma nota que, por sua vez, será subtraída do valor total do aspecto, antes de ser aplicado o valor na Matriz de Leopold. Nos casos de valores negativos, adotou-se como critério, considerá-los como tendo valor zero, tal qualitativamente destacado em vermelho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha do bambu como forma de barreira natural, capaz de desviar as águas superficiais e diminuir sua velocidade, funcionou como um fator mecânico, disciplinando o impacto do escoamento das águas superficiais e proporcionando a estabilização dos terrenos por contenção dos processos erosivos (conforme resultados da Tabela 1). Esse tipo de barreira foi utilizada por VIANNA (2008) e também se mostrou eficiente. Alguns autores salientam a importância do desvio das águas na contenção de processos erosivos (CRISTO, 2002; ALMEIDA FILHO et al., 2004). De acordo com CRISTO (2002), técnicas empregando o desvio e a diminuição da energia das águas superficiais podem ser aplicadas, com sucesso, tanto em regiões de planícies como nas vertentes.

Considerando a alta precipitação da Serra da Mantiqueira, variável entre 1.300 e 1.900 mm/ano, com média de 1.500 mm/ano (MERLIN, 2005), as mudas de bambu resistiram bem, podendo ser indicada como uma espécie vegetal importante na retenção de processos erosivos em ambiente com precipitação elevada (HIGAKI et al., 2005; ACHARYA e FLORINET, 2006).

A morfologia do bambu, em especial sua estrutura de rizomas, favoreceu sua fixação no solo, que possui baixa fertilidade natural, como foi observado nas contenções das duas ravinas e nos locais onde foram implantadas as quatro barreiras de bambu. A eficiência do bambu na retenção de

processos erosivos tem sido relatada por vários autores (DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; HIGAKI et al., 2005; ACHARYA e FLORINET, 2006; SUTILI, 2004; STOKES et al., 2007; STHAPIT e TENNYSON, 2007).

Os rizomas paquimorfos, como são os da espécie *Bambusa multiplex*, possuem menor eficiência na retenção de processos erosivos do que os das espécies com rizomas leptomorfos (DRAKE, 2002; LONDOÑO, 2002; STOKES et al., 2007). Todavia, essa espécie foi escolhida justamente porque o rizoma paquimorfo é entouceirante, característica relevante para reter o vegetal apenas no local da recuperação ambiental (PEREIRA, 2001; LONDOÑO, 2002). Durante os meses de acompanhamento, após a efetuada as intervenções, não foi observada colonização fora das áreas de plantio, que foram distinguidas pelos limitadores de PVC. Também, nas ravinas a espécie ficou contida.

Outro fator considerado na escolha da espécie *Bambusa multiplex* foi o fato de o experimento ter sido realizado dentro de uma APA Federal, com restrições quanto à introdução de uma espécie exótica com risco de contaminação biológica e, ainda mais com característica alastrante, como as que possuem rizomas leptomorfos (PEREIRA, 2001; DRAKE et al., 2002; LONDOÑO, 2002; STOKES et al., 2007), sendo assim, plantas com esse tipo de rizoma foram descartadas no projeto, pois são consideradas muito agressivas para o meio ambiente. Outra preocupação que refere à utilização do bambu está na sua forma de propagação reprodutiva, pois muitas espécies têm floração cíclica, gregária e simultânea (FILGUEIRAS, 1988; PEREIRA, 2001; GUILHERME e RESSEL, 2001; MEREDITH, 2001; LONDOÑO, 2002; RAMANAYAKE, 2006; ORTIZ e PICORNELL, 2008). Essa característica pode ser problemática, causando impacto negativo ao meio ambiente, se considerada o tipo de vegetação, Floresta, isso pela fácil adaptação das gramíneas (PEREIRA, 2006; STHAPIT e TENNYSON, 2007). Ainda faltam estudos para se determinar a verdadeira influência dos bambus de pequeno e médio porte na estrutura das florestas tropicais (GUILHERME, 2000). Porém, algumas opções podem minimizar esse impacto, como a própria estrutura da espécie *Bambusa multiplex*. Por ser uma espécie de porte baixo a médio (12 m), com o passar dos anos, a vegetação nativa que regenerar no local pode vir a limitar o crescimento da espécie exótica empregada, em consequência da competição por luz.



A integração de elementos vivos, inertes e sintéticos, pode diminuir custos e fomentar os processos ecológicos dentro de um projeto de recuperação de áreas degradadas (ANTONIS e MOLINARI, 2007). O experimento realizado conseguiu conciliar esses conceitos mostrando-se economicamente viável e também pouco impactante.

No caso da cicatriz onde foi realizado o trabalho a fragilidade ambiental foi aumentada consideravelmente se comparada à classificação proposta por ROSS (1994). O relevo dessa vertente foi classificado como muito acentuado (IPT, 1995) e sem a cobertura da vegetação, arrastada pelo impacto da água em razão do acidente, possibilitaria condições que desencadeariam vários processos erosivos (ROSS, 1994; TOMINAGA, 2000; FERNANDES et al., 2001; SPÖRL, 2001). Todavia, tal processo não foi observado no local, durante os 18 meses de monitoramento.

### Interpretação da Matriz de Leopold

A escolha da Matriz de Leopold, embora com grande subjetividade é de fácil adaptação para avaliação dos impactos no meio ambiente, rápida obtenção e visualização do resultado (TOMMASI, 1993; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005), o que viabilizou sua aplicação no presente trabalho.

Os números que compõem a célula da magnitude dos impactos, após a implantação das ações de intervenção (seis, no caso do experimento aqui apresentado), embora sejam considerados muito subjetivos e até empíricos, porque dependem da sensibilidade e percepção do avaliador quanto ao real impacto que essa ação exerce sobre o meio ambiente (TOMMASI, 1993; DINIZ, 2004; COSTA et al., 2005). Mas, com vistas a diminuir a subjetividade atribuída à Matriz de Leopold, foram desenvolvidas tabelas de campo do tipo *check list* para avaliar a eficiência de cada aspecto que compõe a Matriz.

Em termos gerais, a avaliação dos parâmetros ambientais, na cicatriz ambiental formada, indica que as ações de intervenção foram altamente eficientes, com valores entre 7,2 a 8,2 obtidos na Matriz de Leopold da Tabela 1.

A retenção de materiais orgânicos e solo foram considerados satisfatórios, atendendo o que foi previsto. Apenas na contenção da ravina maior houve necessidade de incremento nos materiais para suporte e fixação da estrutura, sete meses após

sua instalação. Nessa época, mourões de eucalipto foram ajustados à base da estrutura de colmo de bambu para sua sustentação.

As quatro barreiras instaladas tiveram desempenho similar nas ações de intervenção, com valores equivalendo à alta e, ou, muito alta eficiência (Tabela 1). Nas barreiras, 87% das mudas de *Bambusa. multiplex* plantadas sobreviveram e tiveram bom desenvolvimento.

O sistema de escoamento da água das chuvas também funcionou satisfatoriamente, conforme planejado, assim como a retenção de materiais erodidos provenientes de montante. Em alguns pontos das barreiras, o material retido apresentava espessura de 0,48 m. Na barreira IV, a altura do sedimento retido foi de 1,20 m e, nas barreiras I e II, 0,24 e 0,18 m respectivamente.

Com relação às duas ravinas, em termos médios, sua classificação com relação à eficiência das ações seria de média a alta (Tabela 1). As ações de intervenção foram mais eficientes na ravina menor, para os cinco parâmetros avaliados. No entanto, na ravina maior, os resultados não corresponderam às expectativas, com valores indicando baixa e, ou, média eficiência das ações, representadas na Matriz de Leopold pelos valores 3 a 5. Nessa ravina, cerca de 70% (91 mudas) de *Bambusa. multiplex*, não sobreviveram após o plantio. Possivelmente, a mudança no eixo de insolação sobre as mudas, reduzindo a incidência de luz solar e, com isso, limitando o processo fotossintético, inibiu o desenvolvimento das plantas.

Outro ponto que deve ser considerado é o ângulo da parede da ravina, superior a 60°, e o fato da altura do talude ser superior à altura da estrutura. No local, as águas das enxurradas ainda tinham muita energia por causa da inclinação do terreno, o que pode ter danificado as mudas, provocando perda das folhas, quebra dos brotos e deslocamento dos rizomas.

Ao longo de toda a cicatriz, ocorreu regeneração da vegetação, até mesmo dentro das estruturas de contenção. A proximidade da mata nativa certamente favoreceu a colonização dos espécimes no local, daí a regeneração da vegetação ter ocorrido dentro do esperado.

Na área entre a barreira IV e a contenção da ravina menor, observou-se expressiva população de *Croton urucurama* (sangra-d'água). Alguns exemplares estavam com aproximadamente 3,0 m de altura e 16 cm de DAP (Diâmetro na Altura do Peito).

A incidência de *Crocsmia crocosmiflora*, conhecida popularmente como palma ou tritônia, foi observada por toda a extensão da cicatriz ambiental. Segundo Lorenzi e Souza (1999), é uma espécie herbácea, bulbífera e desenvolve bem quando cultivada a pleno sol ou a meia-sombra. No Brasil é considerada subespontânea comumente encontrada nas regiões de altitude. Seu aparecimento próximo à Usina de Izabel ocorreu na década de 1970, quando funcionários da empresa Light iniciaram o plantio dessa espécie ao longo da câmara de compensação e ao longo da tubulação que leva a água da câmara de compensação até a casa das máquinas.

## CONCLUSÃO

As intervenções, barreiras e contenções de ravinas, efetuadas na área da cicatriz ambiental causada pelo rompimento da adutora, na Usina de Izabel, promoveram a estabilização dos processos erosivos provocados. O resultado obtido foi aprovado por um perito independente a serviço do DEPRN – Departamento de Proteção de Recursos Naturais da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A escolha do bambu, *Bambusa multiplex*, como forma de barreira ecológica natural, favoreceu o escoamento adequado das águas superficiais e proporcionou a estabilização das erosões provocadas pelo acidente ambiental e, pode ser considerado um método eficiente para contenção de processos erosivos.

A aplicação da Matriz de Leopold atendeu à necessidade da avaliação dos parâmetros ambientais resultante do processo erosivo causado por rompimento de adutora na encosta da Serra da Mantiqueira, indicando que as ações de intervenção foram altamente eficientes.

## AGRADECIMENTO

À Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A – EMAE, por ter concedido e financiado a execução do projeto, bem como por todo suporte logístico e técnico para sua implantação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, M. S.; FLORINETH, F. Vegetated bamboo crib wall – a suitable alternative to stabilize road side in Nepal. **Geophysical Research Abstracts**, Katlenburg-Lindau, v. 8, 08239, 2006.

AFONSO, S.; MÁXIMO, A. C. Considerações sobre a Leitura dos Riscos de Escorregamentos em Blumenau: o Morro Dona Edite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2006, Florianópolis. **Seção Pôster**...Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 17.

ALMEIDA FILHO, G. S. et al. Estudo da Dinâmica Evolutiva da Boçoroca São Dimas no Município de São Pedro, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais**...GEDN/UFSC, Florianópolis, 2004. p.73-86 1 CD-ROM.

ANTONIS, L. DE.; MOLINARI, V. M. **Ingegneria naturalista**: nozioni e tecniche di base. Regione Piemonte, Torino: Manuale, 2007. 108 p.

COSTA, M. V. et al. Uso das técnicas de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 28., 2005 Rio de Janeiro. **Anais**... UERJ, 2005. p. 11-15.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC.** 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CUSACK, V. **Bamboo world - the growing and use of clumping bamboos.** East Roseville: Ed. Kangaroo Press, 1999. 46 p.

DELGADO, I. C. M. S. **Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os casos de Escorregamento em Campos do Jordão: Estudo de Caso do Verão de 2000.** 2007. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)–Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

DINIZ, A. M. **Uma avaliação do impacto ambiental oriundo dos deslocamentos promovidos por programas de desfavelamento em Áreas de Preservação.** 2004. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

DRAKE, J. et al. Control of beach erosion using bamboo. In: INTERNATIONAL BAMBOO CONGRESS, 5.; INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, 6., San Jose, 2002. **Proceedings**..., San Jose, 2002.

EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia. Primeiro relatório de andamento das obras emergenciais – Usina Izabel. São Paulo: Departamento de Engenharia -EMAE, 2005. 7 p.

- (Relatório Técnico, s/n.).
- FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação metodológicas e aplicação de modelo de previsão de áreas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.
- FILGUEIRAS, T. S. A Floração dos bambus e seu impacto ecológico. **Boletim Botânico Eugêniana**, Petrópolis, n. 15, p. 1-8, 1988.
- GUILHERME, F. A. G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 60-66, 2000.
- GUILHERME, F. A. G.; RESSEL, K. Biologia floral de reprodução de *Meostachys roedeliana*. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 2005-2011, 2001.
- HIGAKI, D. et al. Soil Erosion control measure on segraded sloping lands in Midlands of Nepal. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, Ontario, v. 8, n. 3, p. 243-249, 2005.
- HIRUMA, S. T. **Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar)-Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Inspeções visuais no maciço de terra da Barragem Izabel, 2ª Fase**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1995. (Relatório Técnico, n. 33.475).
- IWASA, O. Y.; FRENDRICH, R. Controle de Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, S. M. A.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, Cap.16, p.271-281.
- LONDOÑO, X. P. **Curso de cátedra maestría en construcción: módulo Guadua**. Santafê de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 60 p.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 2. ed. Nova Odessa: Ed.Plantarum, 1999.1918 p.
- MEREDITH, T. J. **Bamboo for Gardens**. Portland: Timber Press, 2001. 406 p.
- MERLIN, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- ORTIZ, D. G.; PICORNELL, J. A. R. Claves para las bambusáceas cultivadas como ornamentales y comercializadas en la comunidad Valenciana. **Revista Baouteloua**, Valencia, v.3, p.39-46, mayo. 2008.
- PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: Ed.FAPI, 2006. 151 p.
- PEREIRA, M. A. **Bambu: espécies, características e aplicação**. Bauru: Ed. UNESP, 2001. 58 p.
- RAMANAYAKE, S. M. S. D. Flowering in Bamboo: An Enigma!. **Ceylon Science Journal (Biological Science)**, Sri Lanka, v. 35, n. 2, p. 95-105, 2006.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.
- SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- STAPLETON, C. M. A. The bamboos of Nepal and Bhutan, part 1: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Melocanna*, *Cephalostachyum*, *Teinostachyum*, and *Pseudostachyum* (Gramineae: Poaceae, Bambusoideae). **Edinburgh Journal of Botany**, Cambridge, v. 51, n. 1, p. 1-32, 1994.
- STHAPIT, K. M.; TENNYSON, L.C. El control la erosion en Nepal mediante la bioingenieria. **Unasylva**, n. 164-Ordenación de cuencas hidrográficas, FAO, p.1-8. Disponível em: <(http://www.fao.org/docrep/ul1510/ul1510s04.htm)> Acesso em: 30 de julho de 2007.
- STOKES, A. et al. Plant biomechanical strategies in response to frequent disturbance: uprooting of *Phyllostachys nidularia* (Poaceae) growing on landslide-prone slopes in Sichuan, China. **American Journal of Botany**, St.Louis, v. 94, n. 7, p. 1129-1136, 2007.
- SUTILI, F. J. **Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: principais processos e práticas**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- TOMINAGA, L. K. **Análise morfodinâmica das vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião - SP**. 2000. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental**. São Paulo: CETESB/Terragraph Artes e Informática,



1993. 354 p.

VIANNA, P. C. G. et al. **A. Estabilização de voçorocas:** subproduto ambiental do diagnóstico dos recursos hídricos, o caso do assentamento Dona Antonia, Conde–PB. Publicações do DEPAT – Grupo de Estudos e Pesquisa em Água e Território,

Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <(http://www.geociencias.ufpb.br/lepan/gepat/Publicacoes/PROPOSICOES%20DE%20USO%20DONA%20ANTONIA.pdf)> Acesso em: 10 abril de 2008.