

**BIOENGENHARIA UTILIZANDO BAMBUS EM FAIXAS PARA O CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS: UMA ANÁLISE QUALITATIVA****Admilson Clayton-Barbosa***Universidade Federal do ABC–UFABC–Brasil.**Rua Santa Adélia, 166. Bairro Bangu. Santo André - SP - Brasil**Correio eletrônico: admilson.barbosa@ufabc.edu.br***ABSTRACT**

This work shows the potential use of bamboo with an alternative to recover the moderate erosion. The technical was applied in southern scarpment of the Serra da Mantiqueira, city of Pindamonhangaba, and claimed as a result to reverse environmental damage caused by the rupture of a water adductor located at 1 700 m altitude, that resulted in the formation of a scar in the hillside forest, with soil and vegetation removal. To reverse the erosion processes created at the site, a new technique was developed using four barriers formed by seedlings of *Bambusa multiplex* (Lour.) in order to divert the waters and promote the regeneration of vegetation. The planting site was delimited by limiting lawn, with function to keep the bamboo seedlings in a confined space, limiting its growth, ensuring that rainwater did not carry the seedlings before the interlacing of rhizomes, their formation and fixation in the soil. The seedlings of *B. mutiplex* were planted next to each other, at distances of 10 cm, trying to fill the enclosed area. The interventions, barriers that will promote the stability of the erosive processes. The choice of bamboo as a type natural ecological barrier, favored the drainage of superficial waters and provided the stability of the erosions caused by envi-

ronmental accidents, and can be considered as an efficient method to contain the erosive processes.

**Key words:** bioengineering; bamboo; control of erosion, environment restoration

**RESUMO**

Este estudo apresenta o uso potencial do bambu como uma alternativa para recuperação de processos erosivos moderados. A técnica foi aplicada na escarpa Sul da Serra da Mantiqueira, cidade de Pindamonhangaba, com o objetivo de reverter os danos ambientais causados pelo rompimento de uma adutora de água localizada a 1 700 m de altitude. No local formou uma cicatriz na floresta de encosta, com supressão do solo e da vegetação. Para reverter os processos erosivos formados no local foi aplicada uma nova técnica utilizando quatro barreiras formadas com mudas de *Bambusa multiplex* (Lour.), com intuito de desviar as águas e favorecer a regeneração da vegetação. O local do plantio foi delimitado com limitador de gramado com 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. As mudas de *B. mutiplex* foram plantadas, uma ao lado da outra, em espaçamento de 10 cm, procurando preencher toda a área delimitada. As intervenções, barreiras promoveram a estabilização dos processos erosivos. A escolha do bambu 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.

### INTRODUÇÃO

No Brasil o uso de espécies vegetais vivas na bioengenharia é muito incipiente, quando se considera a diversidade de espécies vegetais nativas e as exóticas adaptadas ao clima e solo brasileiro. A diversidade e versatilidade ecológica das espécies botânicas do Brasil, apontam para uma demanda de estudos com a finalidade de conhecer e indicar o potencial de dessas espécies na bioengenharia, principalmente para o controle de processos erosivos, recuperação de taludes e em obras de engenharia civil e arquitetura.

A bioengenharia de solos faz uso de vegetação para recuperação de ambientes degradados, que consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos. Tais elementos podem ser a vegetação, conjugado a elementos inertes, como materiais sintéticos, rochas, concretos, ligas metálicas, entre outros (Sutuli, 2007). No controle de processos erosivos, a bioengenharia utiliza-se de diversas plantas, em especial, as gramíneas, pela característica de seu sistema radicular e presença de estolhos e rizomas, além do seu desempenho fotossintético ser mais eficiente em condições adversas.

No Brasil e mundo há exemplos do uso de espécies vegetais na bioengenharia, como na Áustria, Itália, Panamá, China, Nepal entre outros. Estudos mostram que a utilização dos colmos de bambu, com plantio consorciado com outras espécies pode ser uma alternativa mais barata de controle de deslizamentos e ecologicamente melhor (Barbosa, 2009), na região sul do Brasil, a bioengenharia foi aplicada para estabilização de taludes fluviais (Sutuli, 2007).

Devido à escassez de estudos sobre biologia e ecologia das espécies de bambus, eles são muito criticados quando usados para a recuperação de áreas degradadas, devido a sua fácil adaptação e competição com outras espécies.

Este trabalho tem objetivo demonstrar qualitativamente o potencial emprego de *Bambusa mutiplex* (Lour) na bioengenharia de solos para o controle de processos erosivos. Para avaliar esse potencial foi aplicado um modelo experimental com quatro barreiras de bambu aplicado em uma área degradada para frear processos erosivos decorrente de um acidente ambiental e proporcionar a regeneração da vegetação natural induzida pelo rompimento de uma adutora de água que serve a Usina Hidrelétrica de Izabel, localizada no município paulista de Pindamonhangaba, Brasil.

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### Bioengenharia e o Uso de Espécies Vegetais

A vegetação tem função primordial para a conservação dos solos e na restauração ambiental (Gonçalves *et al.*, 2003; Reis, 2003). De acordo com Ross (1994; 1996)

e Gonçalves *et al.* (2003), quanto mais preservada a cobertura da vegetação, maior o grau de proteção do solo. Desta forma, em uma floresta, as árvores amortecem a água das chuvas antes delas tocarem o solo, as gotas escorrem pelos troncos e chegam ao solo de forma mais serena, facilitando a infiltração de água no solo.

Os resíduos naturais produzidos pela floresta, depositados no solo na forma de serapilheira, além de participarem na ciclagem de nutrientes, também amortecem o impacto das gotas de chuva e reduz a velocidade de escoamento das águas, fator importante para não desencadear processos erosivos (Gonçalves *et al.*, 2003).

A utilização de espécies vegetais, vivas e mortas, na recuperação ambiental como forma de agregado ou matéria-prima é uma realidade cada vez mais presente. A bioengenharia de solos é um exemplo de uso de vegetação para recuperação de ambientes degradados. Ela consiste no uso de elementos biologicamente ativos em obras de estabilização do solo e sedimentos. Tais elementos podem ser a vegetação, conjugado a elementos inertes, como materiais sintéticos, rochas, concretos, ligas metálicas, entre outros (Durlo & Sutili, 2005; Antonis e Molinari, 2007; Sutili, 2004; 2007).

No controle de processos erosivos, a bioengenharia faz uso de diversas plantas, em especial, as gramíneas, pela característica de seu sistema radicular e presença de estolhos e rizomas, além do seu desempenho fotossintético ser mais eficiente em diversas condições (Reis, 2003; Pereira, 2006).

Um exemplo da utilização de gramíneas pela bioengenharia acontece no Nepal, onde o uso desta técnica é frequente (Acharya & Florinet, 2006). Lá, uma das espécies usadas para essa finalidade é o capim-elefante, plantado nas montanhas com altitude superiores a 800 m e precipitação superior a 3 000 mm/ano, visando a estabilização de locais onde há desprendimento de terra. Nos pontos onde há manejo adequado, ele favorece o processo de recuperação e estabilização dos processos erosivos (Sthapit & Tennyson, 2007).

O bambu é outra espécie que foi largamente experimentada em todo o mundo. Seu colmo foi utilizado de diversas formas, desde elementos de base estrutural no lugar de gabiões, como para drenagem, no controle de deslizamentos (Acharya & Florinet, 2006) e controle de erosão em praias (Drake *et al.*, 2002).

Na província chinesa de Sichuan, a espécie de bambu *Phyllostachys nidularia* Munro é muito empregada no controle de deslizamentos (Stokes *et al.*, 2007).

Nas montanhas do Nepal o bambu também é utilizado para o controle de deslizamento em condições de precipitação elevada e topografia acidentada (Higaki *et al.*, 2005; Acharya & Florinet, 2006).

Estudos mostram que a utilização dos colmos de bambu, com plantio consorciado com outras espécies pode ser uma alternativa mais barata de controle de deslizamentos e ecologicamente melhor (Acharya & Florinet, 2006; Sutili, 2007).

No Brasil temos exemplos bem sucedidos do uso da bioengenharia, como a aplicação de

tela vegetal e tela biotêxtil para o tratamento de taludes (Silva e Diniz, 2004). Na região sul do país, a bioengenharia é aplicada para estabilização de taludes fluviais (Durlo & Sutili, 2005; Sutili, 2004; 2007). Desta forma, os bambus se mostram um grupo botânico com potencial para aplicação em bioengenharia, uma ciência que com grande potencial ser aplicada no Brasil.

**Bambu:** Os rizomas como estruturas morfológicas importantes para recuperação de processos erosivos

Os bambus são angiospermas, monocotiledôneas, lenhosas, caracterizados pelo seu ciclo de vida, no qual há longos períodos exclusivamente vegetativos e eficiente sincronia na floração (Guilherme & Ressel, 2001; Ramanayake, 2006). Os bambus pertencem à família botânica Poaceae, do grupo das gramíneas, e subfamília Bambusoideae, dividida em duas grandes tribos: 1) Olyrodea, bambu herbáceos, 2) Bambusoideae, bambus lenhosos (Londoño, 2002; Santos-Gonçalves, 2006; Oliveira *et al.*, 2006).

A distribuição dos bambus ocorre naturalmente entre as latitudes 46° N e 47° S, desde os trópicos até as regiões temperadas (Nunes, 2005; Zang & Clark, 2000 apud Santos-Gonçalves, 2006), exceto na Europa. No mundo há mais de 1 100 espécies de bambu; nas Américas há cerca de 40 gêneros e 547 espécies (Freitas *et al.*, 2003). No Brasil há bambus exóticos e nativos, sendo que já foram identificados cerca de 34 gêneros, 232 espécies e, deste total, 204 são consideradas endêmicas (Pereira, 2001; Santos-Gonçalves, *et al.*, 2006).

Cada gênero das espécies de bambu possui peculiaridades quanto a sua biologia e ecologia. O gênero *Bambusa*, por exemplo, possui fácil adaptação a solos degradados e com baixa fertilidade, além do rápido crescimento e fácil adaptação (Graça, 1988; Pereira, 2001).

Estruturalmente os bambus são compostos de rizomas subterrâneos, colmos, galhos e folhas. Os rizomas são tipos de caules, geralmente subterrâneos, horizontais, ricos em reservas, se distinguem das raízes pela presença de nós, gemas e escamas (Ferri, *et al.*, 1981; Nunes, 2005). Essas estruturas são consideradas bem desenvolvidas por Oliveira *et al.* (2006) e Guilherme & Ressel (2001), ambos as consideram plantas complexas devido suas características peculiares, e se diferenciam de acordo com sua forma, sendo classificados em rizomas do tipo leptomorfo, paquimorfo ou anfimorfo (McClure, 1966; 1973; apud Londoño, 2002; Bambu Brasileiro, 2007).

Os rizomas são estruturas determinantes para o uso adequado do bambu em processos de restauração de solo, isso porque sua anatomia e função podem interagir de maneira diferenciada nos solos. Os bambus de rizomas leptomorfos (Fig. 1) estão distribuídos nas zonas temperadas do Planeta, e sua forma alastrante caracteriza o grupo (Londoño, 2002; Nunes, 2005).

As raízes adventícias podem estar ou não presentes (Londoño, 2002), seus colmos são mais espessos e, algumas vezes, dão origem a novos colmos (Pereira, 2001; Londoño, 2002), crescem entre 1.0 e 6.0 m por ano, formando uma rede que chega a atingir entre 50 a 100 000 m lineares por hectare.

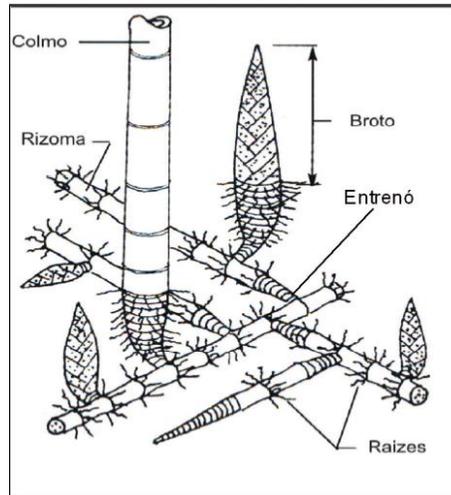


Fig. 1. Rizomas leptomorfos. Adaptado de Lopez, apud Nunes (2005).

Bambus com rizomas leptomorfos apresentam ramos e folhas nas partes altas do colmo, mesmo antes que este atinja sua altura final. O período de brotação dos colmos ocorre no início da estação chuvosa (Nunes, 2005; Bambu Brasileiro, 2007).

Exemplos de bambus com rizoma leptomorfo são as espécies do gênero *Phyllostachys*, conhecidos popularmente como vara-de-pesca ou bambu-chinês, que formam no solo uma rede tão densa e forte que nem a água da chuva consegue penetrar. Essa característica foi considerada por Londoño (2002) como ideal para conservação de solos declivosos e íngremes.

As espécies de bambu com rizomas paquimorfos (Fig. 2) formam touceiras e são chamados também de entouceirantes ou torcentes (Nunes, 2005).

Segundo Pereira (2001), os colmos dos bambus entouceirantes, denominados de sistema simpodial, desenvolvem muito próximo uns dos outros, formando as touceiras, popularmente chamadas de moitas. O rizoma paquimorfo é encontrado nas espécies do gênero *Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*, comuns nas zonas tropicais, formam no solo uma rede menos densa do que as espécies com rizomas leptomorfos. Permitem maior percolação de água no solo, e ajudar a controlar erosão, fixando-se no solo em ravinas, margens de rios e beira de estradas (Londoño, 2002).

As espécies com rizomas anfimorfos combinam os dois tipos de rizomas anteriores, paquimorfos e leptomorfos, em uma mesma planta, no mesmo sistema. Uma espécie que apresenta este tipo de rizoma é a *Chusquea fendleri* Munro (Bambu Brasileiro, 2007).

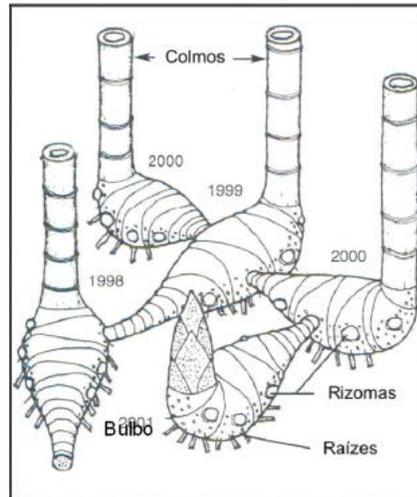


Fig. 2. Rizoma paquimorfo. Adaptado de Lopez, apud Nunes (2005).

Os bambus do gênero *Chusquea* são comuns de regiões montanhosas, podendo ser visto na Colômbia (Londoño, 2002), entre outras regiões na América Latina. No Brasil também é comumente encontrado nas regiões de serras e montanhas, como a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, em área de Floresta Ombrófila Densa e nos Escrubes.

Segundo Londoño (2002), devido à morfologia dos rizomas, os bambus são recursos ideais para conservação do solo, estabilização de encostas, proteção do solo contra ventos fortes e estabilização de escorregamentos, atuando bem nos primeiros 50-100 cm do solo.

#### Área de estudo

O local onde foi implantada as quatro barragens de bambu localiza-se no município

de Pindamonhangaba, estado de São Paulo, Brasil (Fig. 3), constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Pertence à encosta sul da Serra da Mantiqueira, localizada no município de Pindamonhangaba, SP, nas coordenadas 22° 44' 29. 49" S e 45° 26' 50. 37" E. A vegetação predominante é de Floresta Ombrófila Densa de Encosta, em estágio secundário avançado de regeneração, entre as altitudes de 1600-1700 m e está na face sul da Serra da Mantiqueira, voltada para o Vale do Paraíba.

A supressão da vegetação do local se deu pelo rompimento de uma adutora de água, a carga hidráulica exerceu uma força tão intensa, que arrastou todo o solo e a vegetação, incluindo árvores com DAP (diâmetro altura do peito) de 160 cm, estendendo-se por mais de 150 m a jusante da encosta causando um profundo impacto no meio ambiente.

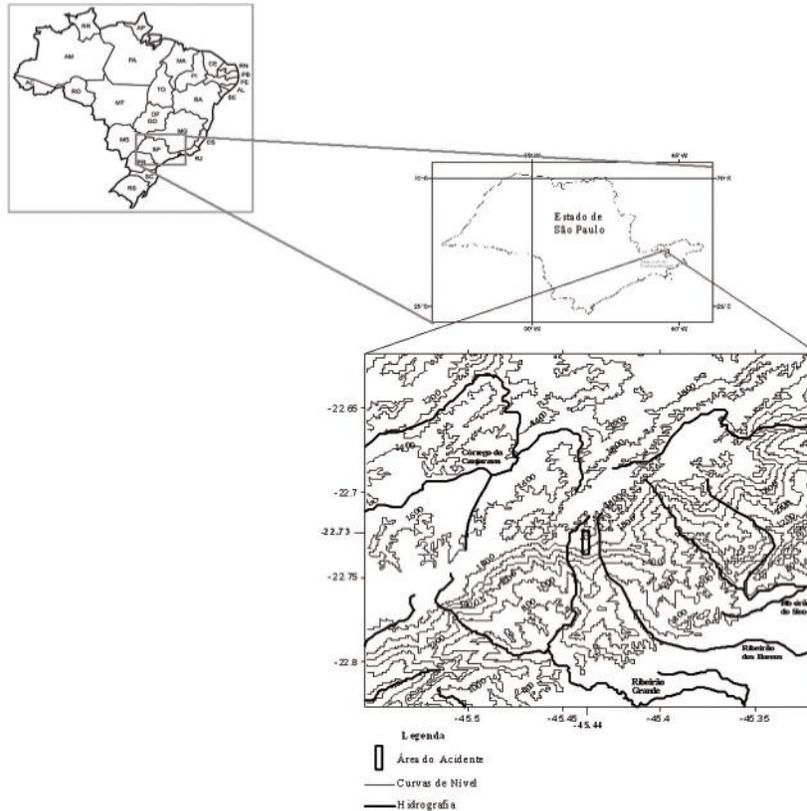


Fig. 3. Localização da área de estudo, Serra da Mantiqueira, São Paulo, Brasil.

A fisionomia do terreno, após o acidente, ficou semelhante às áreas que sofreram deslizamentos com chuvas. O solo predominante no local afetado pertence à classe dos Cambissolos, Cambissolo Húmico Distrófico latossólico, isto é, são solos constituídos por material que apresenta horizonte A ou hístico, com espessura < 40 cm, seguido de horizonte B incipiente, são solos bastante pobres em nutrientes e ácidos, com elevados teores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ). É comum horizonte Cr

(saprolítico). Apresentam significativos teores de minerais primários facilmente intemperizáveis, os quais podem constituir apreciável reserva de nutrientes para plantas (Oliveira *et al.*, 1999).

A carga hidráulica e o fluxo das águas formaram, no local, processos erosivos de diferentes ordens, com presença de sulcos e ravinas. As ravinas mais profundas foram denominadas ravina maior e ravina menor. Ambas apresentam taludes lateral, sendo

que a maior tem aproximadamente 3.0 m de altura e, a menor, 1.5 m de altura. Várias evidências de formação de novos processos erosivos ficaram aparentes, como filetes e sulcos de erosão.

## MATERIAL e MÉTODOS

Segundo relatório da Empresa Metropolitana de Águas e Energia-EMAE (2007), para efeito estratégico na execução dos trabalhos da Etapa II, a área foi dividida em três trechos, denominados A, B e C (Fig. 4), sendo eles:

Trecho A - localizado na altitude de 1.758 m, onde foi executada a Etapa I (obras emergências de reafeiçoamento das bordas da ravina para estabilizar o talude, etapa concluída em março de 2005), parte da 2ª etapa dos trabalhos, concluída em meados de 2006, quando ocorreu a remodelação da crista do talude e instalação e reforço da nova tubulação rompida.

■ Trecho B - é o local onde foram implantadas as barreiras de bambu, e corresponde à Etapa II dos trabalhos, realizados no período de dezembro de 2006 a março de 2007; compreende o setor entre as altitudes de 1.620 e 1.705 m,

■ Trecho C - também atendido pela Etapa II. Neste trecho foi realizado o plantio de 100 espécimes nativas da região (não descrito neste trabalho).

Etapa II, trecho B – Recuperação da Área da Cicatriz com instalação de barreiras de mudas de bambu.

Nesta etapa de trabalho foram instaladas as quatro barreiras de bambu, como forma

de contenção dos processos erosivos pelo princípio de desvio da carga hidráulica da área degradada e retenção de propágulos. A seguir serão apresentados a descrição do método e os materiais utilizados que compõem esta técnica aplicada. 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, segunda a 1.651 m, terceira a 1.640 m e a quarta instalada a 1.626 m (Barbosa 2009).

Cada barreira recebeu o plantio de 130 mudas de *Bambusa multiplex*, em uma delimitada com uma estrutura de PVC reciclado com altura de 21 cm, comercialmente conhecida como limitador de grama e jardim. Cada barreira estava confinada em uma área de aproximadamente 50 cm de largura e 7.0 a 8.5 m de comprimento.

### Materiais empregados

Os materiais utilizados para realização dos serviços foram:

- 520 mudas de *B. multiplex*;
- 60 metros de limitador de grama/jardim em PVC reciclado, com altura de 21 cm;
- 20 metros de arame de aço galvanizado de 2.70 mm;
- 48 grampos de aço de 5.00 mm, para fixação dos limitadores de bambu e do bambu estrutural;

### A escolha do bambu

O bambu é uma planta que apresenta características ideais para recuperação de ambientes degradados, pelo seu rápido crescimento, rusticidade e fácil adaptação

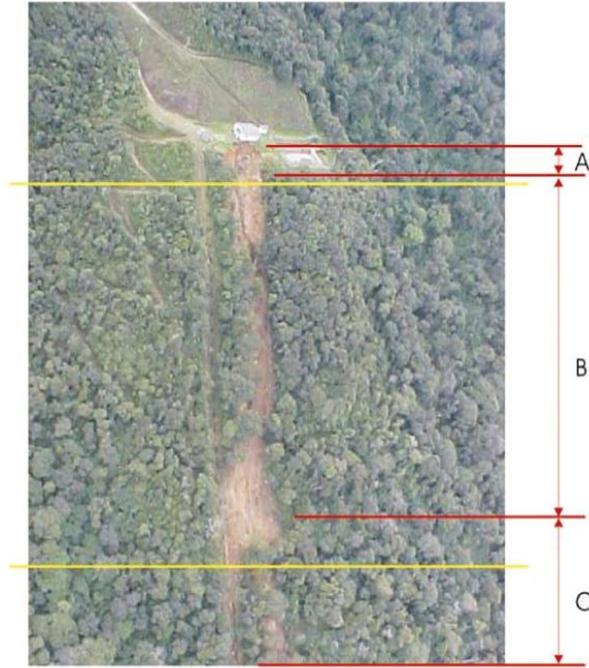


Fig. 4. Delimitação dos trechos A, B e C. Fonte: EMAE (2007).

Tabela 1. Modelo da planilha de campo contendo as variáveis avaliadas.

| ASPECTOS MONITORADOS                               |                      | NOTA                             |  |
|--|----------------------|----------------------------------|--|
| Fatores ambientais                                 | Água                 | Erosão                           |  |
|  | Vegetação            | Regeneração natural da vegetação |  |
| Sucesso do plantio de mudas de <i>B. multiplex</i> |                      |                                  |  |
| Fatores estruturais                                | Estado das barreiras | Conservação das estruturas       |  |
|  |                      | Funcionalidade                   |  |

a solos degradados (Londoño, 2002) e, por esta razão, foi o grupo botânico selecionado para o trabalho de recuperação ambiental. A avaliação da eficiência das barreiras como um incremento para restauração da vegetação foi feita com base na aplicação de planilhas de campo (tabela 1), desenvolvidas para coleta de dados. Os aspectos foram divididos em dois grupos: fatores ambientais e estruturais, com subdivisões que possuem relações diretas com a intervenção feita para contribuir com o a restauração do local. Esses aspectos foram pontuados com uma nota, que variou 1 para os menos eficientes e, 10 para os mais eficientes. O trabalho foi avaliado mensalmente no período de 18 meses.

Quanto aos aspectos da sua morfologia do bambu destacam-se o tipo de rizoma, paquimorfo, portanto, entouceirante, o que evitaria a colonização da planta sobre as áreas de floresta, e o seu porte, que não alcançaria altura superior a das árvores nativas encontradas em áreas do entorno do acidente (Stapleton, 1994; Cusack, 1999; Meredith, 2001; Bamboo Garden, 2008). Com relação aos seus aspectos ecológicos, a forma entouceirante e a multiplicação principalmente por divisão dos rizomas, e o tempo de floração, que é superior a 20 anos (Meredith, 2001; Bamboo Graden, 2008), são pontos positivos para sua utilização.

Outras características gerais do bambu que estimularam sua escolha para utilização no trabalho foram:

- Espécie de fácil adaptação em solos degradados com baixa fertilidade natural (Londoño, 2002);

- Permite a recuperação do solo e propicia a contenção de processos erosivos (Drake *et al.*, 2002; Londoño, 2002; Gonçalves *et al.*, 2003);

- Aumenta a umidade relativa do ar na região, dando suporte ao crescimento de espécies arbóreas nativas (Bamboo Garden, 2008);

- Contribui ainda para a preservação dos recursos hídricos, tanto na prevenção de assoreamento dos cursos de água quanto dos aquíferos, por permitir um elevado coeficiente de infiltração das águas das chuvas (Bambu Brasileiro, 2007);

- Os bambus são espécies muito eficientes para ações de recomposição florestal, permitindo o seu cultivo de forma consorciada a estas ações, uma vez que o manejo e colheita seletiva das hastes permitem a manutenção e desenvolvimento das touceiras (Meredith, 2001; Lõndono, 2002; Filgueiras & Santos-Gonçalves, 2006);

- As touceiras podem servir de barreira para desviar a água para leitos de drenagem.

A avaliação do trabalho foi escolhida em função de sua praticidade e agilidade, portanto optou-se por uma seleção de cinco parâmetros avaliados por 18 meses. Todas as informações eram registradas em caderno de campo e fichas de acompanhamento, para que ela pudesse demonstrar dados qualitativos e qualitativos da eficiência das contenções de ravinas e das barreiras de bambu. Os parâmetros ambientais selecionados foram:

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;

Regeneração natural 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;

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;

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 com critério (seguindo normas estipuladas) até que a vegetação consiga se estabelecer, ou seja, as mudas de bambu fixadas, pegas e seus rizomas entrelaçando uns nos outros, a regeneração das espécies acontecendo e seu sucesso em resistir às intempéries do ambiente. O valor atribuído a esse parâmetro foi considerado a partir do seu aspecto desde a instalação, isto é, quanto mais conservado for seu estado, maior é sua graduação;

Funcionalidade: este aspecto foi avaliado de acordo com o desempenho das intervenções em proporcionar a recuperação ambiental do local, como desvio das águas pluviais, contenção de material, regeneração natural, entre outros. Quanto mais funcional é a

intervenção, conforme era esperado, maior é o valor que ela receberá.

Uma escala qualitativa, com atribuição de cores, foi elaborada de maneira a proporcionar maior visibilidade aos valores quantitativos obtidos com aplicação da ficha de avaliação (tabela 2).

Os impactos avaliados para cada barreira são descritos abaixo. A valoração de cada um desses impactos foi feita em função dos critérios pré-estabelecidos para cada impacto dentro de um aspecto, descrito na tabela 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A escolha do bambu como forma de barreira natural, capaz de desviar as águas superficiais e diminuir sua força e velocidade, funcionou como um fator mecânico e vegetativo, disciplinando o escoamento das águas por meio da redução da energia cinética do deflúvio e proporcionando a estabilização dos processos erosivos. Essa técnica foi utilizada por Vianna (2008) e também se mostrou eficiente. O desvio das águas é um fator importante para contenção de processos erosivos (Cristo, 2002; Gonçalves *et al.*, 2003; Almeida Filho *et al.*, 2004). De acordo com Cristo (2002), essa técnica pode ser aplicada com sucesso tanto em regiões de planície como as de vertentes.

A morfologia do bambu, principalmente sua estrutura de rizomas, favoreceu sua fixação no solo, na área em estudo, que é degradado e com baixa fertilidade natural, como foi observado nas contenções das duas ravinas e nos locais onde foram implantadas as quatro barreiras de bambu. Diversos autores salientam a eficiência do bambu na contenção de processos erosivos (Drake *et al.*,

**Tabela 2.** Graduação da magnitude para eficiência das intervenções.

| Escala      | Graduação   |       |          |          |            |
|-------------|-------------|-------|----------|----------|------------|
|             | Númerica    | 0 a 2 | >2 até 4 | >4 até 6 | >6 até 8   |
| Qualitativa | Muito baixa | Baixa | Média    | Alta     | Muito alta |

2002; Londoño, 2002; Higaki *et al.*, 2005; Nunes, 2005; Acharya & Florinet, 2006; Sutili, 2007; Stokes *et al.*, 2007; Sthapit & Tennyson, 2007).

Os rizomas paquimorfos, como é o rizoma da espécie *Bambusa multiplex* (Lour.), possuem menor eficiência na contenção de processos erosivos do que as espécies de rizoma leptomorfo (Drake *et al.*, 2002; Londoño, 2002; Stokes *et al.*, 2007). Todavia, essa espécie foi escolhida justamente porque o rizoma paquimorfo é entouceirante, característica relevante para o presente trabalho (Pereira, 2001; Londoño, 2002; Nunes, 2005). Durante os meses de acompanhamento, após a instalação das intervenções, observou-se que em nenhuma das áreas ocorreu colonização fora da área de plantio, que foi separada pelo limitador de PVC, assim como nas contenções de ravinas.

Outro fator considerado na escolha da espécie *Bambusa multiplex* (Lour.) foi o fato de o experimento ter sido realizado dentro de uma APA Federal, com restrições quanto à introdução de uma espécie com risco de contaminação biológica e exótica, ainda mais com característica alastrante, como aquelas espécies de bambu com rizomas leptomorfos (Pereira, 2001; Drake *et al.*, 2002; Londoño, 2002; Nunes, 2005;

Stokes *et al.*, 2007), razão pela qual sua utilização foi descartada na elaboração do projeto, considerada muito agressiva para aquele ambiente.

O fator mais preocupante em relação à utilização do bambu é sua forma de propagação reprodutiva, pois são espécies de floração cíclica, gregária e simultânea (Filgueiras, 1988; Pereira, 2001; Guilherme e Ressel, 2001; Meredith, 2001; Londoño, 2002; Nunes, 2005; Ramanayake, 2006; Ortiz e Picornell, 2008). Essa característica pode ser problemática, causando impacto negativo ao meio ambiente, considerando a matriz da vegetação do local, Floresta Ombrófila Densa de Encosta, um ambiente com estágio avançado de regeneração e a fácil adaptação das gramíneas (Pereira, 2006; Sthapit & Tennyson, 2007).

Ainda faltam estudos para se determinar à verdadeira influência dos bambus de pequeno e médio porte na estrutura das florestas tropicais (Guilherme, 2000). Porém, algumas alternativas podem minimizar esse impacto, como a própria estrutura da espécie *B. multiplex*. Por ser uma espécie de porte baixo a médio (12 m), com o passar dos anos, a própria vegetação nativa que regenerar e crescer no local limitará o desenvolvimento dessa espécie de bambu por competição por luz.

A execução dessa fase do projeto está a cargo da empresa gestora do local e motivadora do estudo (EMAE, 2007), que deve providenciar o manejo necessário para o controle do bambu.

O embasamento da bioengenharia para concepção do método de contenção de processos erosivos, aqui apresentados, pode ser considerado peça importante no âmbito geral da implantação, execução e funcionalidade do projeto, a exemplo de outros experimentos realizados fora do Brasil, onde as técnicas são aplicadas há mais tempo (Durlo & Sutili, 2005; Sutili, 2007).

A integração de elementos vivos, elementos inertes e sintéticos, pode diminuir custos e fomentar os processos ecológicos dentro de um projeto de recuperação de áreas degradadas (Durlo & Sutili, 2005; Antonis e Molinari, 2007; Sutili, 2007; Barbosa, 2009). O experimento conseguiu conciliar esses conceitos, mostrando-se economicamente viável, e, também, menos impactante quando comparado a outras técnicas de construção civil.

A natureza dos processos erosivos pode ser a mais variada, dentre elas, se destaca a perda da cobertura vegetal (Almeida Filho *et al.*, 2004), que aumenta a fragilidade ambiental do terreno à medida que as áreas de florestas vão perdendo sua cobertura original (Ross, 1994; 1996; Tominaga, 2000). No caso da cicatriz onde foi realizado o estudo, a fragilidade ambiental foi aumentada consideravelmente se comparada à classificação de fragilidade proposta por Ross (1994; 1996). O relevo dessa vertente foi classificado como muito acentuado (IPT, 1995; 2004) e a falta da

cobertura da vegetação, arrastada pela água após o acidente, condições que poderiam desencadear vários processos erosivos (Ross, 1994; 1996; Tominaga, 2000; Fernandes *et al.*, 2001; Coelho Netto, 2006). Entretanto, tais processos não foram observados no local durante os 18 meses de monitoramento do experimento.

As intervenções na cicatriz resultante do acidente na encosta em estudo, caracterizadas pela instalação de quatro barreiras de bambu, monitoradas por 18 meses, promoveram a estabilização de processos erosivos ao longo da cicatriz. Em termos gerais, a avaliação empírica dos parâmetros ambientais na cicatriz indica que as ações de intervenção foram altamente eficientes, de acordo com a aplicação de notas durante as avaliações de campo.

A contenção de materiais orgânicos e solo foram satisfatórios nas barreiras. As quatro barreiras instaladas tiveram desempenho similar nas ações de intervenção, com valores equivalendo à alta e/ou muito alta eficiência. Nas barreiras, 87% das mudas de *B. multiplex* plantadas tiveram pegamento e desenvolvimento satisfatórios. Exceto a Barreira III, com apenas 57% das mudas pegadas, o que pode ser confirmado pelas notas atribuídas durante as avaliações mensais (tabela 3).

O sistema de escoamento da água de chuva também funcionou satisfatoriamente, assim como a contenção de materiais.

Em alguns pontos das barreiras, o material retido apresentava espessura de 48 cm. Nas barreiras I, II e IV foi possível medir a profundidade e o comprimento do sedimento nelas contido. Cabe salientar que os valores

**Tabela 3.** Resultado médio das avaliações de campo para as barreiras de bambu, período de 18 meses.

| Aspectos            |           | Notas Atribuídas às Intervenções                   |             |              |             |             |      |
|---------------------|-----------|--|-------------|--------------|-------------|-------------|------|
|                     |           | Barreira I   | Barreira II | Barreira III | Barreira IV | Média Geral |      |
| Fatores ambientais  | Água      | Erosão   | 8           | 8            | 7           | 7           | 7.5  |
|                     | Vegetação | Regeneração natural da vegetação                   | 9           | 9            | 6           | 8           | 8    |
|                     |           | Sucesso do plantio de mudas de <i>B. multiplex</i> | 9           | 9            | 8           | 8           | 8.5  |
| Fatores estruturais | Estado    | Conservação das estruturas                         | 9           | 9            | 8           | 9           | 8.75 |
|                     |           | Funcionalidade                                     | 8           | 8            | 8           | 8           | 8    |

**Tabela 4.** Contenção de material nas barreiras de bambu. Medição em 21 de dezembro de 2008.

| Parâmetros avaliados  | Intervenções |             |              |             |
|---|--------------|-------------|--------------|-------------|
|   | Barreira I   | Barreira II | Barreira III | Barreira IV |
| Altura do sedimento retido (cm)                             | 24           | 18          | Sem medição  | 48          |
| Distância do sedimento, com início no limitador de PVC (cm) | 73           | 34          | Sem medição  | 120         |

apresentados são bem específicos, uma vez que dependem de algumas variáveis como inclinação do terreno, tipo de solo, cobertura vegetal, densidade e velocidade da água. Essas variáveis determinam como e quais materiais deslizam até as barreiras. Na barreira IV, a altura do sedimento retido foi de 120 cm; nas barreiras I e II, 24 e 18 cm, respectivamente (tabela 4).

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

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

A incidência de *Crocasmia crocosmiflora* (W.A. Nicholson) N.E.Br., conhecida popularmente como palma ou tritônia, foi observada por toda a extensão da cicatriz.

Segundo Lorenzi e Souza (1999), a tritônia é uma espécie herbácea, bulbífera e desenvolve bem quando cultivada em pleno sol ou a meia-sombra. No Brasil é considerada subspontânea 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 desta espécie ao longo da câmara de compensação e ao longo da tubulação que eleva a água da câmara de compensação até a casa das máquinas. O plantio foi efetuado

como medida preventiva, procurando evitar processos erosivos.

A seguir serão apresentadas nas figuras 5A, B e C, 6A, B e C, 7A, B e C e 8A, B e C, imagens das quatro barreiras instaladas na área degradada, onde pode ser visualizado o processo de recuperação e o início da sucessão ecológica com espécies nativas da região.

## CONCLUSÃO

1. Dentro da análise proposta, as intervenções feitas com barreiras de bambu de rizomas tipo paquimorfos, se mostraram eficientes para promover a estabilização dos efeitos de degradação do solo, causados pelo processo erosivo que se formou após o acidente ambiental, o que favoreceu a regeneração das espécies vegetais nativas da região estudada.
2. O escoamento das águas superficiais foi disciplinado de modo que a escolha do bambu, *Bambusa multiplex* (Lour.), e seu uso em processos erosivos se mostrou uma método viável de barreira natural, mantendo-se confinado junto à área da barreira, sem que ocorresse invasão de bambu ao longo da cicatriz.
3. As barreiras se mostram eficientes também para a retenção de propágulos, proporcionando o desenvolvimento de mudas das espécies nativas entre e dentro das estruturas de contenção dos processos erosivos.
4. Considerando o desempenho observado pelo bambu durante o período de 18 meses, como elemento vivo contribuindo para estabilização de processos erosivos e

recuperação de uma área degradada, pode-se inferir que ele se mostra aplicável como uma alternativa à ser utilizada na bioengenharia.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE, por ter acreditado nesta pesquisa e por todo apoio financeiro, técnico e logístico para realização deste trabalho. A Universidade de Taubaté, Departamento de Ciências Agrárias onde pude defender esse trabalho no curso de mestrado. A Revista Polibotânica pela bolsa para publicação do trabalho.

#### LITERATURA CITADA

- Acharya, M.S. y Florineth, F., 2006. “Vegetated bamboo crib wall – A suitable alternative to stabilize road side in Nepal”. *Geoph. Res. Abst., Gemany*, **8**: 08239 pp.
- Almeida Filho, G.S., Santoro, J. y Gomes, L.A., 2004. “Estudo da dinâmica evolutiva da Boçoroca São Dimas no Município de São Pedro, SP”. In: *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, Florianópolis*: GEDN/UFSC. 1. 73-86 pp.
- Almeida, J.G., 2004. “Projetando com bambus: consideração ao paradigmático e ao típico”. *Rev. Br. Florestal, Brasília*, **23**(80): 37-45 pp.
- \_\_\_\_\_, 2004. “Caracterização geométrica de bambus para construção e manufatura de objetos: análise comparativa da *Guadua weberbaueri* e do *Phyllostachys bambusoides*”. *Ver. Br. Florestal, Brasília*, **23**(80): 51-65 pp.
- Antonis, L. y Molinari, V.M., 2007. *Ingegneria naturalistica: nozioni e tecniche di Base. Manuale*. Torino, Itália: Editora CSEA-Società Consortile per Azioni. 108 pp.
- Bamboo Garden, 2008. “Plante for future” Portal Bamboo Garden, <http://www.bamboogarden.com/Bambusa%20multiplex%20Alphonse%20Karr.html>
- Bambu Brasileiro, 2007. “InfoBambu: plantio e morfologia”. Portal Bambu Brasileiros, <http://www.bambubrasileiro.com/info/plantio/>
- Barbosa, A.C., 2009. “Contenção de processos erosivos resultantes de acidente ambiental na Serra da Mantiqueira, SP”. Dissertação de mestrado. Taubaté, Universidade de Taubaté. 112 pp.
- Coelho Netto, A.L. *et al.*, 2006. “Reabilitação funcional de clareiras geradas por deslizamentos em encostas íngremes sob a Floresta Atlântica: uma abordagem geohidroecológica”. In: *Congresso Nacional de Botânica, 57, Gramado*. Sociedade Botânica do Brasil. 57: 409-413 pp.
- Cristo, S.S.V., 2002. “Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis – SC”. Dissertação de mestrado. Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina. 165 pp.

- Cusack, V., 1999. *Bamboo world-The growing and use of clumping bamboos*. Austrália: Kangaroo Press. 46 pp.
- Delgado, I.C.M.S., 2007. "Zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os casos de escorregamento em Campos do Jordão: estudo de caso do verão de 2000". Dissertação de mestrado. Taubaté. Universidade de Taubaté, 44 pp.
- Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais – DEPRN. 2008. "Laudo de vistoria – ETTA n.018/08". Averiguada – EMAE, Usina Izabel. Referência procedimento probatório n. 39/04 de 01 de abr. 8 pp.
- Drake, J., Jayanetti y D.L., Follet, P.R., 2002. "Control of beach erosion using bamboo". In: *International Bamboo Congress, International Bamboo Workshop*. 6., São José, Costa Rica. São José, Costa Rica.
- Durlo, M.A. y Sutili, F.J., 2005. *Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água*. Porto Alegre: EST Edições. 189 pp.
- Empresa Metropolitana de Águas e Energia-EMA E. 2007. "Recuperação ambiental da Usina de Izabel: Referência: Processo DEPRN n°. 88.149/04 – TCRA n. 082/05". São Paulo: Departamento de Gestão Ambiente, Relatório. 32 pp.
- Fernandes, N.F., Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T., Vieira, B.C., Montgomery, D.R., Greemberg, H., 2001. "Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação metodológica e aplicação de modelo de previsão de áreas". *Rev. Bras. de Geomorf. São Paulo*, 1(2): 51 pp.
- Ferri, M.G., Menezes, N.L. y Monteiro, W.R., 1981. *Glossário ilustrado de botânica*. São Paulo: Nobel/Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo. 160 pp.
- Filgueiras, T.S.A., 1988. "A floração de bambus e seu impacto ecológico". *Bol. Bot. Herb. Friburg. Eugêniãna*, Nova Friburgo. 15: 8 pp.
- Filgueiras, T.S. y Santos-Gonçalves, A. P., 2006. "Bambus nativos do Brasil: oportunidades e desafios para seu conhecimento". In: *Seminário Brasileiro do Bambu*, 2006, Brasília, DF. Brasília, DF: UNB. 33-42. pp.
- Freitas, F. De O., Zarur, S.B.C., Silva, D.B. Da y Fonseca, J.N.L., 2003. "O bambu do Uruá. Comunicado Técnico", EM-BRAPA. Brasília, DF. 97: 9 pp.
- Gonçalves, J.L. M., Nogueira Junior, L. R. y Ducatti, F., 2003. "Efeito da mata nativa ou reflorestamento sobre o solo". In: Kageyama, Paulo *et al.* (Orgs.). *Restauração ecológica de sistemas naturais*. Botucatu: FEPAF. 340 pp.
- Guilherme, F.A.G., 2000. "Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas". *Rev. Cerne, Lavras*, 1(6): 60-66.
- Guilherme, F. A. y Ressel, K., 2001. "Biologia floral de reprodução de *Meostachys*

- roedeliana*". *Rev. Bras. de Botânica. São Paulo*, (2) **24**: 2005-2011 pp.
- Higaki, D., Karki, K.K. y Gautam, C.S., 2005. "Soil erosion control measure on degraded sloing lands in Midlands of Nepal". *Aquatic Ecosystem Health & Management*. Ontario, Canadá. (3) **8**: 243-249 pp.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 1995. "Inspeções visuais no maciço de terra da Barragem Izabel, 2a Fase". São Paulo: IPT, (Relatório Técnico, 33 475/95).
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 2004. "Análise dos possíveis mecanismos de ruptura do talude situado próximo ao tanque de compensação da UHE de Izabel". São Paulo: IPT (Relatório Preliminar). 15 pp.
- Londoño, X.P., 2002. "Curso de cátedra maestría en construcción: Módulo Guadua". Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colômbia. 60 pp.
- Lorenzi, H. y Moreira Souza, H.M., 1999. *Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum. 1918 pp.
- Meredith, T.J., 2001. *Bamboo for gardens*. Portland, Cambridge: Timber Press. 247-251 pp.
- Nunes, A.R.S., 2005. "Construindo com a natureza, bambu: uma alternativa para o eco desenvolvimento". Dissertação de mestrado. São Cristóvão, Universidade Federal do Sergipe. 122 pp.
- Oliveira, J.B., Camargo, M.N., Rossi, M. y Calderano Filho, B., 1999. "Mapa pedológico do Estado de São Paulo". *Bol. Científico, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)*. Campinas, **45**: 20 pp.
- Oliveira, R.P., Longhi-Wagner, H.M. y Jardim, J.G., 2006. "Diversidade e conservação dos bambus herbáceos (Poaceae: Bambusoideae: Olyrae) da Mata Atlântica, Brasil". In: *Seminário Brasileiro Do Bambu*. Brasília, DF. Brasília: UNB. 62-64 pp.
- Ortiz, D.G. y Picornell, J.A.R., 1988. "Claves para las bambusáceas cultivadas como ornamentales y comercializadas en la Comunidad Valenciana". *Rev. Baout. Publ. Fund. Oroibérica*. Valencia, España. **3**(4): 39-46 pp.
- Pereira, A.R., 2006. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. Belo Horizonte: FAPI. 151 pp.
- Pereira, M.A., 2001. *Bambu: espécies, características e aplicação*. Bauru: UNESP. 58 pp.
- Ramanayake, S.M.S.D., 2008. "Flowering in bamboo: an enigma" *Ceylon Science Jour. / Biol Science, Sri Lanka*. (2)**35**: 95-105 pp.
- Reis, A. y Kageyama, P.Y., 2003. "Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas". In: Kageyama, Paulo *et al.* (Orgs.)

- Restauração ecológica de sistemas naturais*. Botucatu: FEPAF. 340 pp.
- Ross, J.L.S., 1994. “Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados”. *Rev. Depto. de Geog. USP*, São Paulo. **8**: 63-75 pp.
- Ross, J.L.S., 1996. “Geomorfologia aplicada aos EIAs/RIMAs”. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. de (Orgs). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 291-336 pp.
- Santos-Gonçalves, A.P., Okano, R.M.C. y Vieira, M.F., 2006. “Bambu (Bambusoideae: Poaceae) do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais: florística e morfologia”. In: *Sem. Brasileiro do Bambu*. Brasília. UNB. 43-48 pp.
- Silva, A.G. y Diniz, H.N., 2004. “Deslizamentos e obras de contenção de encostas em Campos do Jordão-SP”. *Téchno-Tecn. da Constr. São Paulo*, **1**(83): 56-60 pp.
- Stapleton, C. M. A., 1994. “The bamboos of Nepal and Bhutan, Part 1: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Melocanna*, *Cephalostachyum*, *Teinostachyum*, and *Pseudostachyum* (Gramineae: Poaceae, Bambusoideae)”. *Edinburg Jour. of Bot.*, Cambridge, England, **51**: 1-32 pp.
- Sthapit, K.M. y Tennyson, L.C., 1991. “El control la erosion en Nepal mediante la bioingeniería”. Unasyuva, Roma Italy. Ordenación de cuencas hidrográficas. FAO. (164) 1-8 pp.
- Stokes, A., Lucas, A. y Jouneau, L., 2007. “Plant biomechanical strategies in response to frequent disturbance: uprooting of *Phyllostachys nidularia* (Poaceae) growing on landslide-prone slopes in Sichuan”, China. *Amer. Jour. of Bot.* St. Louis, USA. **7** (94): 1129-1136 pp.
- Suttili, F.J., 2004. “Manejo biotécnico do Arroio Guarda-mor: principais processos e práticas”. Dissertação de mestrado. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria. 114 pp.
- , 2007. “Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: espécies aptas e suas propriedades vegetativo- mecânica e emprego na prática”. Tese de doutorado. Viena, Áustria - Universidade Rural de Viena. 94 pp.
- Tominaga, L.K., 2000. “Análise morfodinâmica das vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP”. Dissertação de mestrado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 162 pp.
- Vianna, P.C.G. et al., 2008. *Estabilização de Voçorocas – Subproduto ambiental do diagnóstico dos recursos hídricos: o caso do assentamento Dona Antonia, Conde – PB*. Paraíba. Universidade Federal da Paraíba. 30 pp.

Recibido: 12 enero 2011. Aceptado: 21 octubre 2011.



**Fig. 5.** Acompanhamento de campo: Fig. 5A, foto realizada no mês de março de 2007; Fig. 5B, foto realizada em julho de 2007; Fig. 5C, foto realizada em dezembro de 2008.



**Fig. 6.** Acompanhamento de campo: Fig. 6A, imagem feita em dezembro de 2006; Fig. 6B, imagem de dezembro de 2007; Fig. 6C, imagem feita em março de 2008.



**Fig. 7.** Acompanhamento de campo: Fig. 7A, imagem feita em dezembro de 2006; Fig. 7B, imagem de dezembro de 2007; Fig. 7C, imagem feita em março de 2008.



**Fig. 8.** Acompanhamento de campo: Fig. 8A, imagem feita em dezembro de 2006; Fig. 8B, imagem de dezembro de 2007; Fig. 8C, imagem feita em março de 2008.