

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR  
DA SANGA LAGOÃO DO OURO NA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-MIRIM,  
SANTA MARIA - RS**

**TESE DE DOUTORADO**

**DENISE ESTER CECONI**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2010**

**DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR DA  
SANGA LAGOÃO DO OURO NA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-MIRIM, SANTA MARIA - RS**

**por**

**Denise Ester Ceconi**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. PhD. FLÁVIO LUIZ FOLETTTO ELTZ**

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A comissão examinadora, abaixo assinada,  
aprova a tese de doutorado

**DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR DA SANGA  
LAGOÃO DO OURO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO  
VACACAÍ-MIRIM, SANTA MARIA - RS**

elaborada por  
**Denise Ester Ceconi**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutora em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn. (UFSM)**

---

**Fabrcio Jaques Sutili, Dr. (UFSM)**

---

**Eleandro José Brun, Dr. (UTFPR)**

---

**Ricardo Santos Silva Amorim, Dr. (UFMT)**

Santa Maria, 12 de novembro de 2010.

## AGRADECIMENTOS

Ninguém faz nada sozinho! Por isso mesmo tenho muito a agradecer.

Primeiramente a Deus, pela vida e pela saúde que me permitiram chegar a esta conquista.

A querida UFSM, minha segunda casa ou talvez nos últimos 11 anos, meu lar. Em 2000, ao ingressar nessa instituição, jamais poderia imaginar que permaneceria nela por tanto tempo. Graças a UFSM, obtive em 26 de fevereiro de 2005 o título de Engenheira Florestal, em 16 de fevereiro de 2007 o de Mestre em Ciência do Solo, em 22 de julho de 2010 o de Engenheira Agrônoma e hoje o de Doutora em Ciência do Solo. É, posso dizer que sou *made in UFSM*, mas o digo com muito orgulho! Em 2007, após ter sido selecionada para o doutorado na UFRGS, de ter realizado minha matrícula e inclusive ter frequentado por duas semanas as aulas no PPGCS daquela instituição, algo me chamou de volta a UFSM e cá hoje estou feliz e orgulhosa da minha formação.

Agradeço ao PPGCS (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) e ao Departamento de Solos pela oportunidade e pela excelente estrutura física, corpo docente e funcionários. Graças a este PPG pude pesquisar e trabalhar no que eu sempre quize: recuperar áreas degradadas, dentro da linha de pesquisa: “controle da erosão do solo e recuperação de áreas degradadas”.

A CAPES pela bolsa de estudo fundamental para que eu pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos. Fui/sou uma privilegiada da Educação Brasileira que felizmente está ascendendo quanti e qualitativamente!

A meu orientador, prof. Flávio Luiz Foletto Eltz, pela disponibilidade, empenho, dedicação e amizade. Obrigada por tudo professor!

Ao meu comitê de orientação, professores Thomé Lovato e Mauro Valdir Schumacher, pelas valiosas contribuições, principalmente na prova de qualificação da Tese.

A banca examinadora, além dos já citados, aos professores Fabrício Sutili, Eleandro José Brun e Ricardo Santos Silva Amorim, pelas contribuições a este trabalho, além disso, ao Fabrício pela ajuda na tentativa de ida para a Universität für Bodenkultur, Viena – Áustria, ao Eleandro e a Flávia por dar início ao projeto do qual resultou minha tese e ao prof. Ricardo pela orientação durante o Sanduiche na UFMT.

A todos os colegas e amigos do PPGCS, em especial a Ely, ao Pizzani e ao João.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo, em especial ao Pizzani e sua equipe e ao Jardes, pelo auxílio nas análises do solo. Também ao Laboratório de Gênese do Solo, por disponibilizar sua estrutura e pelo auxílio na determinação da textura do solo, em especial ao Jessé e Gabriel. A equipe do Laboratório de Ecologia Florestal, pelo fundamental auxílio!

Aos amigos, todos tão especiais e fundamentais na minha vida, em especial o Pi, a Gisa, a Simo, a Bina e a Bê, sem vocês tudo teria sido mais difícil. Aos demais amigos e/ou colegas, dos quais cada nome me vem à cabeça e peço desculpas se neste momento esquecer de algum: Deivo e Fhê, Tales, Simone S., Jaciane, Eleandro e Flávia, Denise S., Gisieli e Mateus, Ângela e Jarian, Fabrina, Cleber S., Daniel W., Tiago F., Cristiane, João e Mona (e a Luana), Vanderléia e David (e ao Pedro Henrique), Aline T., Aline S., Elisandra, Betania e André, Mari e Tiago, Rodrigo P., Paulo, Rodrigo L., Rafael, Raquel e Adilson, Everton e Neila, Simone e Marcelo, Carline, Vicente, Pyta, Marta R., Jardes e Paola, Ângela e Márcio, a todos do laboratório de fitopatologia em especial a Marlove, Elena e Maria.

A minha família, pai (Ivo), mãe (Leoni) e manos (Deiverson e Denilson), vocês são meu tudo! Pela torcida constante, pelo amor e carinho.

Aos acadêmicos Deiverson Luiz Ceconi (Agronomia) e Tales Poletto (Engenharia Florestal), por todo auxílio prestado nos trabalhos de campo e pela fundamental ajuda na instalação do experimento de recuperação. Obrigada!

As acadêmicas do curso de Engenharia Florestal, Simone Martini Salvador e Jaciane Xavier Bressiani pela ajuda fundamental nas coletas, análises e processamento de dados. Obrigada minhas adoráveis bolsistas e sobre tudo amigas!

Ao prof. Ricardo S. S. Amorim e sua esposa Suzana, por toda dedicação despendida durante minha estada em Cuiabá – MT. A Liliane, Carol e Daniel, por disponibilizarem sua casa como se fosse minha durante o período que estive na UFMT, valeu amigos! A Isabela, por me apresentar a vegetação da transição Cerrado/Pantanal e seus frutos exóticos (ao menos para mim), e pela parceria nas determinações físico-hídricas do solo sob esta vegetação (abaixo do sol quente de Cuiabá, temperaturas acima de 40°C e URA abaixo de 20%).

Ao Igor, colega, amigo, companheiro. Hoje com muito mérito Prof. Dr. da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), mas para mim um anjo, que sempre esteve presente em minha vida para me ajudar em tudo. Obrigada!

A todas aquelas pessoas que, mesmo não mencionadas, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço!

*Ao Igor, por tudo, dedico!*

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DA MATA CILIAR DA SANGA LAGOÃO DO OURO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-MIRIM, SANTA MARIA - RS.**

AUTOR: DENISE ESTER CECONI

ORIENTADOR: Prof. PhD. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 12 de novembro de 2010.

O uso intensivo e desordenado do solo tem levado muitos ecossistemas à degradação, inclusive os ciliares que, apesar de serem considerados pela legislação como Áreas de Preservação Permanente, têm sofrido pressões antrópicas constantes e cada vez maiores, tendo como consequência a sua degradação. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos da pressão antrópica sobre a mata ciliar de um tributário urbano-rural na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS, visando diagnosticar seu grau de degradação e indicar uma posterior recuperação. O estudo foi realizado na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, tributário de 3ª ordem do rio Vacacaí-mirim. Sua nascente localiza-se em área urbana, percorrendo várias vilas, o Campus da UFSM, além de uma extensa área rural. Os solos predominantes classificam-se como: Argissolos Bruno-Acinzentados, Vermelho-Amarelos e Vermelhos, além de Planossolos Hápicos, sendo estes de baixa fertilidade natural e bastante suscetíveis a erosão hídrica. Foram realizados estudos de levantamento da degradação, em 12 parcelas de 300 m<sup>2</sup> cada, demarcadas ao longo da margem da Sanga Lagoão do Ouro, através da coleta das seguintes informações: levantamento florístico de espécies de ocorrência natural e seu potencial de regeneração, presença de espécies exóticas, avaliação do banco de sementes do solo em duas épocas de coleta, uso do solo, cobertura do solo em nível de superfície e de copada e levantamento da erosão (atual e potencial). Foram também avaliadas as principais propriedades químicas (análise completa de rotina) e físicas (densidade, porosidade, textura e estrutura) do solo, em cada uma das parcelas. As correlações das características ambientais e antrópicas com a erosão atual e potencial erosivo foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos. Após avaliação diagnóstica da degradação, procedeu-se com experimento de recuperação do ecossistema ciliar, através da revegetação com espécies nativas e regeneração natural, além do uso de bioengenharia de solos para controle da erosão na margem da sanga. O levantamento florístico mostrou haver degradação da mata ciliar, evidenciada pelo baixo número de espécies nativas, pela má distribuição das espécies nos diferentes estratos e pela grande presença de espécies exóticas. Possuem potencial de regeneração natural apenas as espécies que apresentaram maior frequência e que aparecem nos três estratos florísticos levantados. O banco de sementes do solo também mostrou haver degradação da mata ciliar, evidenciada pelo baixo número de espécies arbóreas nativas e pelo grande número de espécies exóticas e herbáceas invasoras. Possuem potencial de regeneração natural via banco de sementes do solo apenas as espécies arbóreas nativas observadas na avaliação e que apresentaram maior frequência. Há correlação dos fatores ambientais e antrópicos com a erosão do solo e com o potencial erosivo. São necessárias intervenções antrópicas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, no que concerne à introdução de espécies que não possuem potencial de regeneração natural e a obras de bioengenharia de solos nas margens com erosão mais acentuada. As espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar são adequadas para tal objetivo, apresentando porcentagem de mortalidade dentro de limites aceitáveis e bom crescimento inicial. A bioengenharia de solo é uma técnica barata e eficiente no controle da erosão das margens de cursos d'água. A metodologia experimental de recuperação adotada pode ser expandida na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, principalmente nos locais onde as margens da sanga se encontram em estágio avançado de degradação.

**Palavras-chave:** ecossistema ciliar, banco de sementes, erosão, revegetação, bioengenharia de solos.

## **ABSTRACT**

Doctorate Thesis

Pos-Graduation Program in Soil Soil Science  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **DIAGNOSTIC AND RECOVERY OF THE CILIARY FOREST OF THE LAGOÃO DO OURO STREAM ON THE VACACAÍ-MIRIM WATERSHED, SANTA MARIA – RS.**

AUTHOR: DENISE ESTER CECONI

ADVISOR: Prof. PhD. FLÁVIO LUIZ FOLETTO ELTZ

Place and Date: Santa Maria, November 12<sup>th</sup>, 2010.

The intensive and disordered use of the soil has been taking many ecosystems to the degradation, besides the ciliary ones that, in spite of they be considered by the legislation as Permanent Preservation Areas, they have been suffering constant antropic pressures and every time larger, and as consequence occur its degradation. In this wey, the present study has as objective evaluate the antropic pressure impacts on the ciliary forest of an urban-rural tributary on the watershed of the Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS, seeking to diagnose the degradation degree and to indicate a subsequent recovery. The study was accomplished on the ciliary forest of the Lagoão do Ouro stream, tributary of 3<sup>th</sup> order of the Vacacaí-mirim river. The fountain is located in urban area, traveling several towns, the Campus of UFSM, besides an extensive rural area. The predominant soils are classified as: “Argissolos Bruno-Acinzentados, Vermelho-Amarelos and Vermelhos”, besides “Planossolos Háplicos”, being these of low natural fertility and quite susceptible to water erosion. Studies of surveying of the degradation were accomplished, in 12 sampling plots of 300 m<sup>2</sup> each demarcated along of the margin of the Lagoão do Ouro stream, with the collection of the following information: species floristic surveying of natural occurrence and its regeneration potential, presence of exotic species, evaluation of the bank of soil seeds in two collection times, soil use, soil covering on surface level and by the canopy of the trees and surveying of the erosion (current and potential). The main soil chemical properties (analysis completes of routine) and physics (density, porosity, texture and structure) were appraised also, in each one of the sampling plots. The correlations of the environmental characteristics and antropics with the current erosion and potential erosive were unfolded in direct and indirect effects. After evaluation diagnostic of the degradation, the experiment of recovery of the ciliary ecosystem was preceded, through the revegetation with native species and natural regeneration, besides the soil bioengineering use for erosion control in the stream margin. The floristic surveying showed there to be degradation of the ciliary forest, evidenced by the low number of native species, for the bad distribution of the species in the different strata and for the great presence of exotic species. Just the species that presented larger frequency and that appear in the three floristic strata appraised possess potential of natural regeneration. The bank of soil seeds also showed there to be degradation of the ciliary forest, evidenced by the low number of native arboreal species and for the great number of exotic species and herbaceous invaders. Just the native arboreal species observed in the evaluation and that presented larger frequency possesses potential of regeneration natural through bank of soil seeds. There is correlation of the environmental and antropic factors with the erosion of the soil and with the erosive potential. Antropic interventions are necessary to recovery of the ciliary forest of the Lagoão do Ouro stream, in what concerns to the introduction of species that don't possess potential of natural regeneration and to soil bioengineering works in the margins with erosion more accentuated. The native species used in the recovery of the ciliary forest are appropriate for such an objective, presenting mortality percentage inside of acceptable limits and good initial growth. The soil bioengineering is a cheap and efficient technique in the control of the erosion of the margins of water courses. The experimental methodology of recovery, adopted, can be expanded in the Vacacaí-mirim watershed, mainly in the places where the stream margins are in advanced degradation level.

**Key-words:** ciliary ecosystem, seeds bank, erosion, revegetation, soil bioengineering.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da área de estudo e das 12 parcelas amostrais ao longo do percurso da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	42
<b>Figura 2</b> - Croqui do experimento de recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	50
<b>Figura 3</b> - Detalhes da construção da obra de bioengenharia de solos com esteira viva e uma parede Krainer Simples para a proteção da base.....	52
<b>Figura 4</b> - Número acumulado de espécies por área amostrada da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	54
<b>Figura 5</b> - Número de indivíduos amostrados na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS, com respectivas porcentagens nos diferentes estratos florísticos.....	55
<b>Figura 6</b> - Porcentagem de mortalidade das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	94
<b>Figura 7</b> - Altura das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	96
<b>Figura 8</b> - Diâmetro do colo das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	96
<b>Figura 9</b> - Sintomática geral das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	97
<b>Figura 10</b> - Margem da Sanga Lagoão do Ouro erodida antes da implantação da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.....	99
<b>Figura 11</b> - Margem da Sanga Lagoão do Ouro uma semana após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.....	99
<b>Figura 12</b> - Margem da Sanga Lagoão do Ouro dois meses após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.....	100

<b>Figura 13</b> - Margem da Sanga Lagoão do Ouro quatro meses após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.....	100
<b>Figura 14</b> - Número de brotos m <sup>-2</sup> de <i>Sebastiania schottiana</i> usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	101
<b>Figura 15</b> - Altura dos brotos de <i>Sebastiania schottiana</i> usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	102
<b>Figura 16</b> - Diâmetro do colo dos brotos de <i>Sebastiania schottiana</i> usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	102
<b>Figura 17</b> - Brotos senescentes em 08/05/2010 (A) e brotos recuperados em 26/09/2010 (B) de <i>Sebastiania schottiana</i> usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	103

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécies florestais encontradas no levantamento florístico (estratos arbóreo, regeneração natural e plântulas) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.	56
<b>Tabela 2</b> - Espécies florestais encontradas no banco de sementes do solo (época de coleta outono/inverno) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	63
<b>Tabela 3</b> - Espécies florestais encontradas no banco de sementes do solo (época de coleta primavera/verão) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	64
<b>Tabela 4</b> - Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as variáveis ambientais e antrópicas amostradas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	70
<b>Tabela 5</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual do solo (EAtu) e fatores ambientais e antrópicos que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	72
<b>Tabela 6</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo do solo (PEro) e fatores ambientais e antrópicos que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	72
<b>Tabela 7</b> - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), conflito de uso do solo (CUso), porcentagem da área com voçorocas (Voço) e porcentagem da área com erosão em sulcos (Sulc) sobre a erosão atual do solo (EAtu) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.	74

<b>Tabela 8</b> - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), número de indivíduos arbóreos exóticos (IndE), número de indivíduos arbóreos nativos (IndN), conflito de uso do solo (CUso), erosão atual do solo (EAtu) sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	75
<b>Tabela 9</b> - Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as características físicas do solo avaliadas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	77
<b>Tabela 10</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual (EAtu) e propriedades físicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	79
<b>Tabela 11</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo (PEro) e propriedades físicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	80
<b>Tabela 12</b> - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da densidade em $\text{g cm}^{-3}$ (Dens), macroporosidade (MaPo) e microporosidade (MiPo) em porcentagem, areia fina composta pela fração entre 0,2 e 0,02 mm (AFin), silte composta pela fração entre 0,02 e 0,002 mm (Silt) e argila composta pela fração menor que 0,002 mm (Argi) em porcentagem, diâmetro médio geométrico dos agregados em mm (DMG) sobre a erosão atual do solo (EAtu) e sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	83
<b>Tabela 13</b> - Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as características químicas do solo avaliadas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.....	84
<b>Tabela 14</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual (EAtu) e propriedades químicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	88
<b>Tabela 15</b> - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo (PEro) e propriedades químicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	89

<b>Tabela 16</b> - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos do cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , matéria orgânica em porcentagem (MO), enxofre (S), fósforo (P) e potássio (K) em $\text{mg dm}^{-3}$ sobre a erosão atual do solo (EAtu) e sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	81
<b>Tabela 17</b> - Espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	93

## LISTA DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b> - Breve histórico dos estudos realizados no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS.....	119
<b>Apêndice 2</b> - Demarcação das parcelas 10 x 30 m (300 m <sup>2</sup> ) nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	120
<b>Apêndice 3</b> - Coleta do material para avaliação do banco de sementes do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS, com moldura de 0,25 x 0,25 m (0,0625 m <sup>2</sup> ) e deposição do material em caixas de madeira de 0,5 x 0,5 m (0,25 m <sup>2</sup> ) para avaliação da germinação.....	120
<b>Apêndice 4</b> - Banco de sementes do solo das duas épocas de coleta cobertos com sombrite e caixas de madeira com plantas germinadas antes de serem avaliadas.....	121
<b>Apêndice 5</b> - Esquema de avaliação da erosão atual, com representação de uma voçoroca próxima ao curso d'água e do potencial erosivo, pela cobertura do solo (através da avaliação da porcentagem da parcela coberta por espécies arbóreas e não arbóreas), nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	121
<b>Apêndice 6</b> - Mapa de uso e cobertura da terra no entorno da Sanga lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	122
<b>Apêndice 7</b> - Localização das minitrincheiras e das profundidades de coleta do solo para análises químicas e físicas, nas margens da Sanga lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	123
<b>Apêndice 8</b> - Planilha de campo usada nas avaliações das espécies nativas empregadas na revegetação da mata ciliar nas margens da Sanga lagoão do Ouro, Santa Maria – RS..	123
<b>Apêndice 9</b> - Obtenção da altura das mudas com régua de 50 cm ( <b>A</b> ) e do diâmetro do colo com paquímetro ( <b>B</b> ), nas parcelas com revegetação na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	124

<b>Apêndice 10</b> - Muda de Ipê-roxo que recebeu nota 2 na sintomática geral ( <b>A</b> ) e muda de Ipê-roxo que recebeu nota 1 na sintomática geral ( <b>B</b> ), nas parcelas com revegetação na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	124
<b>Apêndice 11</b> - Detalhes da construção da esteira viva com uma parede-Krainer (29 e 30 de agosto de 2009) na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	125
<b>Apêndice 12</b> - Espécies herbáceas invasoras e/ou espontâneas encontradas na avaliação do banco de sementes da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	126
<b>Apêndice 13</b> - Geada observada em 16/07/2010 que acabou afetando negativamente a sintomática geral de algumas espécies usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	129
<b>Apêndice 14</b> - Altura média observado nas mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	130
<b>Apêndice 15</b> - Diâmetro do colo médio observado nas mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	131
<b>Apêndice 16</b> - Temperatura média observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	131
<b>Apêndice 17</b> - Umidade Relativa do Ar (URA) média observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	132
<b>Apêndice 18</b> - Precipitação observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.....	132

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Mata ciliar e suas funções.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Erosão do solo e degradação.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Impactos da urbanização na degradação das matas ciliares.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Regeneração natural e banco de sementes do solo.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5 Aspectos ecológicos da recuperação de áreas degradadas.....</b>	<b>32</b>
<b>2.6 Bioengenharia de solos.....</b>	<b>38</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Descrição da área de estudo.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Metodologia empregada.....</b>	<b>42</b>
3.2.1 Demarcação das parcelas amostrais e levantamento florístico.....	43
3.2.2 Coleta e avaliação do banco de sementes do solo.....	44
3.2.3 Levantamento da erosão atual e potencial erosivo do solo.....	45
3.2.4 Levantamento dos fatores ambientais e antrópicos.....	45
3.2.5 Coleta e análises de solo.....	47
3.2.6 Análises dos dados.....	47
3.2.6.1 <i>Análise dos dados obtidos no levantamento florístico e no banco de sementes do solo.....</i>	<i>47</i>
3.2.6.2 <i>Análise estatística para os fatores ambientais, antrópicos e características do solo sobre a erosão atual e potencial.....</i>	<i>48</i>
3.2.7 Recuperação da mata ciliar e estabilização das margens.....	49

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Levantamento florístico da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Avaliação do banco de sementes do solo da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro.....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Relação de causa e efeito dos fatores ambientais e antrópicos sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo.....</b>	<b>70</b>
4.3.1 Relação de causa e efeito das características físicas do solo sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo.....	77
4.3.2 Relação de causa e efeito das características químicas do solo sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo.....	84
<b>4.4 Recuperação da mata ciliar da Sanga lagoão do Ouro.....</b>	<b>92</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>106</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas ciliares fazem parte da paisagem adjacente a um curso d'água, exercendo influência direta no mesmo, incluindo taludes, áreas aluviais e seus ecossistemas, formando junto e ao redor do curso d'água uma faixa de mata de tamanho variável (KARSSIES e PROSSER, 1999). Uma das principais funções ecológicas das matas ciliares é proteger o solo das margens dos rios, impedindo o aporte de sedimentos ao leito, conservando assim, a quantidade e a qualidade da água. Isto faz com que estes locais sejam protegidos por lei, constituindo-se em áreas de preservação permanente da flora e fauna (RACHWAL e CAMATI, 2001).

O Código Florestal Brasileiro, Lei Nº 4.771/65, inclui às áreas de preservação permanente, as faixas marginais dos corpos d'água cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações.

Para a preservação dos recursos hídricos e do solo é importante a proteção das áreas de preservação permanente situadas ao longo das margens dos rios, no entorno de nascentes, lagos, lagoas ou reservatórios de águas naturais ou artificiais ou a recuperação quando estas se encontram degradadas. Esta vegetação presente ao longo dos corpos hídricos traz ao ecossistema a função protetora sobre os recursos naturais bióticos e abióticos, sendo importante na regularização e manutenção da vazão dos cursos hídricos, funciona como filtro para adubos e agrotóxicos advindos de áreas agrícolas próximas, diminui as perdas de solo por erosão para o ecossistema aquático e ainda preserva a fauna e a flora.

A degradação das formações ciliares não pode ser discutida sem considerar a sua inserção no contexto do uso e da ocupação do solo, sendo fruto da expansão desordenada das fronteiras agrícolas. Esta expansão tem se caracterizado pela inexistência ou ineficiência de um planejamento ambiental prévio, que possibilita delimitar as áreas que poderiam ser efetivamente ocupadas pelas atividades agropecuárias e as áreas que deveriam ser preservadas em função de suas características ambientais ou mesmo legais.

A forma mais frequente de degradação de ecossistemas naturais pelo ser humano tem sido a destruição das florestas para a extração de madeira e a abertura de espaços para as suas atividades agrícolas, expansão da silvicultura intensiva, pecuária, produção de matéria-prima

para agroenergia, expansão de áreas industriais e de desenvolvimento urbano (SHIMIZU, 2007).

A recuperação de áreas degradadas é, portanto, uma consequência do uso incorreto da paisagem e fundamentalmente dos solos, sendo apenas uma tentativa limitada de remediar um dano que na maioria das vezes poderia ter sido evitado. O próprio desenvolvimento de estratégias mais coerentes e eficientes para a recuperação de áreas degradadas não deve respaldar a manutenção ou expansão deste processo contínuo de degradação.

Apesar da reconhecida importância ecológica, ainda mais evidente nesta virada de século e de milênio, em que a água vem sendo considerada o recurso natural mais importante para a humanidade, as matas ciliares continuam sendo eliminadas, cedendo lugar para a especulação imobiliária, para a agricultura e a pecuária e, na maioria dos casos, sendo transformadas apenas em áreas degradadas, sem qualquer tipo de produção (MARTINS, 2001). Portanto, é necessário que as autoridades responsáveis pela conservação ambiental adotem uma postura rígida no sentido de preservarem as florestas ciliares que ainda restam, e que os produtores rurais e a população em geral sejam sensibilizados sobre a importância da conservação desta vegetação.

## **1.1 Objetivos**

Geral:

- Avaliar os impactos da pressão antrópica sobre a mata ciliar de um tributário urbano-rural na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS, visando diagnosticar seu grau de degradação e indicar uma posterior recuperação.

Específicos:

- Avaliar a composição florística da mata ciliar remanescente da Sanga Lagoão do Ouro, procurando obter informações a cerca de sua degradação, analisando a distribuição das espécies nos diferentes estratos florísticos, a regeneração natural e a presença de espécies exóticas;

- Quantificar o banco de sementes do solo da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, procurando obter informações referentes às espécies florestais nativas que possuem potencial de regeneração natural, e a importância ecológica no processo de recuperação e estabelecimento inicial da vegetação de cada uma das espécies encontradas;

- Realizar um levantamento atual e potencial da erosão do solo ocorrente ao longo do curso da Sanga Lagoão do Ouro, a fim de estabelecer o grau de degradação pelo impacto antrópico;

- Analisar as principais características químicas e físicas do solo ao longo do curso da Sanga Lagoão do Ouro, a fim de estabelecer a influência da ação antrópica sobre este recurso natural, bem como relacionar as características encontradas com a degradação da mata ciliar;

- Avaliar a influência dos fatores ambientais e antrópicos sobre a erosão do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro;

- Avaliar experimentalmente a recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, usando técnicas de revegetação através do replantio com seleção de espécies nativas e da regeneração natural, bem como da estabilização das margens com técnicas de bioengenharia de solos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Mata ciliar e suas funções**

Segundo Oliveira Filho (1994), as matas ciliares são formações vegetais do tipo florestal que se encontram associadas aos corpos d'água, ao longo dos quais podem estender-se por dezenas de metros a partir das margens e apresentar marcantes variações na composição florística e na estrutura comunitária, dependendo das interações que se estabelecem entre o ecossistema aquático e sua vizinhança. Este mesmo autor ressalta sua extrema importância para a manutenção da qualidade das águas dos rios, controle do regime hídrico, redução da erosão nas margens dos rios, manutenção da ictiofauna e melhoria dos aspectos paisagísticos.

Vegetação ciliar, ripária ou ripícola é aquela que margeia os corpos d'água, como rios, riachos e lagoas, tendo comumente porte arbóreo ou arbustivo em ambientes não perturbados. De acordo com Carpanezzi (2000), a vegetação ciliar influencia de vários modos os corpos d'água, e sua remoção causa prejuízos para o homem e para a natureza. Por isso, a legislação brasileira considera a faixa ripária como área de preservação permanente, exigindo a manutenção ou reconstrução da vegetação original, conforme a largura do curso d'água. Para rios de até 10 m de largura a faixa nas margens deve ser de 30 m, nas nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura.

O Código Florestal Brasileiro estabelece limites rígidos de largura para as faixas de vegetação marginal de cursos d'água, baseados na largura dos corpos d'água, mas não apresenta critérios científicos para determinação de largura das áreas ciliares. Bren (1993) reportou a não existência de um método definitivo para estabelecimento da largura mínima da faixa ciliar na zona ripária, que possibilite uma proteção satisfatória do curso d'água.

Para Carpanezzi (2000), o papel hidrológico da mata ciliar resulta de uma rede de interações. Uma conclusão abrangente é que a vegetação em geral, acentuadamente as florestas, não mantém a água armazenada por longo tempo no solo, nem aumenta o volume total produzido pela microbacia em um ano. A justificativa fundamental para a manutenção das florestas é que elas permitem infiltrações elevadas e armazenamento temporário da água no solo e no subsolo. Com isto, controla a erosão, conservando os solos, e regula a vazão dos

rios, reduzindo as intensidades dos extremos de estiagem ou de enchentes. O papel regulador da floresta não pode ser obtido apenas pela presença de matas ciliares, pois usos da terra em outras partes da microbacia afetam de modo diferente o ciclo d'água local, podendo causar perdas de água e de solo acentuadas.

A mata ciliar pode melhorar a qualidade da água, por reter grande parte de nitrogênio e fósforo vindos das áreas vizinhas cultivadas. A eliminação da mata ciliar favorece a eutrofização ou adubação excessiva do corpo d'água com esses nutrientes. As raízes da vegetação ciliar seguram o solo das margens, portanto sua remoção pode causar desbarrancamento, aumentando a turbidez e o assoreamento. A mata ciliar também retém sedimentos oriundos de áreas agrícolas anexas (CARPANEZZI, 2000). Neste sentido, o mesmo autor salienta que a sedimentação diminui a penetração da luz na água, afetando o crescimento e a reprodução de plantas aquáticas benéficas, e causando assoreamento. O assoreamento ainda aumenta o risco de enchentes, cujos danos são consideráveis. Em uma microbacia, o controle da perda de solo pela vegetação depende de práticas em toda a paisagem, e não só na faixa ciliar.

A mata ciliar, isolando estrategicamente o curso d'água dos terrenos mais elevados da microbacia, desempenha uma ação eficaz de filtragem superficial de sedimentos (SCHLOSSER e KARR, 1981). A zona ripária protegida pode também diminuir significativamente a concentração de herbicidas nos cursos d'água de microbacias tratadas com tais produtos. A maior parte dos nutrientes liberados dos ecossistemas terrestres chega aos cursos d'água através de seu transporte em solução no escoamento sub-superficial. Ao atravessar a zona ripária, tais nutrientes podem ser eficazmente retidos por absorção pelo sistema radicular da mata ciliar (MUSCUTT et al., 1993).

Cada mata ciliar isolada tem alcance limitado quanto à manutenção da biodiversidade. Muitas espécies de animais e de árvores exigem áreas grandes para perpetuar-se, isto ressalta a importância de que as matas ciliares sejam refeitas o quanto possível, e que sejam interligadas. Além de constituir um habitat para a fauna e a flora terrestres, a floresta ciliar bem conservada tem efeitos importantes sobre plantas e animais dos corpos d'água adjacentes (RACHWAL e CAMATI, 2001).

## 2.2 Erosão do solo e degradação

De acordo com o uso atribuído ao solo, a definição de áreas degradadas pode variar, como por exemplo, o Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração que define: “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado”(IBAMA, 1990). A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico (IBAMA, 1990).

Considera-se área degradada àquela que, após distúrbio, teve eliminados os seus meios de regeneração natural, apresentando baixa possibilidade de recuperação sem a intervenção humana. Em contraste, é considerada área perturbada a que sofreu distúrbio, mas manteve meios de regeneração biótica. Em ecossistemas degradados, a ação antrópica é necessária para sua recuperação (CARVALHO, 2000).

Segundo Oldeman (1994), 15% do solo mundial encontra-se, de uma maneira ou de outra, degradado. Estima-se que existem mais de 100 milhões de hectares de solo degradado no Brasil. Ações como mineração, estradas, represas e áreas industriais resultam em impacto imediato sobre o solo (EMBRAPA, 2008).

De acordo com a visão do projeto de avaliação mundial da degradação do solo (Global Assessment of Soil Degradation), pertencente ao Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas e que foi implementado e executado pelo Centro Internacional de Informação e Referência de Solos, os fatores de degradação do solo são os seguintes (OLDEMAN, 1994): desmatamento ou remoção da vegetação natural para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas e urbanização; superpastejo da vegetação; atividades agrícolas, incluindo ampla variedade de práticas agrícolas, como uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, uso de água de irrigação de baixa qualidade, uso inapropriado de máquinas agrícolas e ausência de práticas conservacionistas de solo; exploração intensa da vegetação para fins domésticos, para energia, cercas, etc., expondo o solo à ação dos agentes de erosão; e atividades industriais ou bioindustriais que causam a poluição do solo.

A erosão é a forma mais séria de degradação do solo, uma vez que ela poderá arruinar o mesmo de forma, até, irreversível. Tendo em vista a diferença na escala de tempo para a formação de um novo solo e a escala de tempo dos humanos para dele tirar sustento, o solo deve, para todo e qualquer propósito prático, ser considerado um recurso natural não

renovável. Assim, sua conservação é de fundamental importância, até mesmo uma questão de sobrevivência das espécies vivas na Terra. Para conservar o solo, deve-se, primariamente, controlar a erosão do mesmo, independentemente do uso que ele possa vir a ter. Permanecendo o solo no seu local original, é possível então pensar nos métodos recuperadores e melhoradores do mesmo. Caso contrário, tais métodos de recuperação e melhoria do solo não irão surtir os efeitos desejados (COGO et al., 2004).

O mau uso do solo gera a sua degradação, e esta, por sua vez, entre outros problemas, gera a erosão, a qual está empobrecendo os solos e provocando a perda da fertilidade física, química e biológica deste, assoreando barragens e cursos d' água, "roubando e exportando o nosso solo numa ação antipatriótica incomparável" (NOLLA, 1982).

Nas vertentes de bacias hidrográficas, a erosão causada pela água das chuvas é identificada como a principal causa do empobrecimento do solo agrícola. A intensidade de ação do processo erosivo depende, além do clima, da comunidade vegetal presente, da resistência do solo e de outras condições ligadas ao manejo do solo e água (BAHÍA, 1992; GALETI, 1979 e 1984). Destaca-se, ainda, que o solo descoberto ou não vegetado apresenta maior suscetibilidade à erosão, sendo rebaixado e cada vez mais raso (KARMANN, 2001).

As alterações que deterioram as características químicas, físicas e biológicas de um solo acarretam a sua degradação, que pode ser provocada pela erosão acelerada, associada ou não ao esgotamento da fertilidade, pelo uso irracional do solo com manejo inadequado e pela falta de práticas conservacionistas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Segundo os mesmos autores, a degradação das áreas agrícolas ocorre principalmente pelo uso intensivo e de forma inadequada do solo, gerando sérios problemas de ordem econômica, social e ambiental. A degradação do solo acarreta em diminuição da produtividade das culturas e um maior custo de produção, indicando quais as condições que se encontra o solo, isto é, a sua qualidade. Este parâmetro é de extrema importância para que se tenha uma garantia de produção das culturas na busca de uma exploração agrícola sustentável.

Em muitas regiões ainda se pratica o cultivo irracional do solo, ao lado do uso indiscriminado do fogo, do pastoreio esgotante, da exploração desmedida das matas. Assim, destrói-se a cobertura vegetal protetora que mantinha o equilíbrio ecológico, alterando, com isso, o regime climático e o ciclo hidrológico, dando lugar a extremos de secas e chuvas torrenciais. Essas chuvas, incidindo sobre superfícies descobertas, em declives acentuados, formam enxurradas desenfreadas que ocasionam a erosão acelerada, a sedimentação, a devastação dos campos, a destruição de casas e estradas e até a perda de vidas. A esse quadro desolador, podemos acrescentar a caça e a pesca irracional que vêm dizimando a fauna

silvestre e aquática, os incêndios florestais, a destruição das paisagens pela urbanização, a exploração indiscriminada dos aquíferos, a contaminação dos cursos de água com resíduos de todas as espécies, a remoção injustificada de coberturas vegetais em grandes extensões de terra (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

### **2.3 Impactos da urbanização na degradação das matas ciliares**

O meio urbano, por seus impactos mais acentuados sobre os recursos naturais, causa, geralmente, degradação de ordem e importância maior e mais intensa, se comparado com o meio rural. Em se tratando de urbanização em áreas que margeiam cursos d'água, estes impactos acabam tomando proporções ainda maiores. Na literatura vários autores fazem referência a estes impactos e suas consequências.

Reetz (2002) afirma que o crescimento populacional, associado ao desenvolvimento urbano, industrial e rural, vem alterando constantemente os recursos hídricos. No ambiente urbano, a baixa cobertura de saneamento básico aparece como um problema de grande magnitude, constituindo os esgotos *in natura* ou a localização das residências em áreas com solos inadequados, como nas encostas dos tributários urbanos, uma causa significativa de contaminação e degradação de sua qualidade.

Para Barros et al. (1995), o reflexo da urbanização na utilização dos recursos hídricos é de duas a três vezes maior que em pequenas comunidades rurais, pois a contaminação das águas por esgotos urbanos traz consigo problemas como a contaminação com bactérias, em parte patogênicas ao homem; as contaminações com substâncias orgânicas degradáveis por bactérias e a contaminação com sais de degelo, que diretamente refletem em doenças à população circundante ao recurso hídrico.

A presença de resíduos sólidos nos corpos de água urbanos causa má aparência, perturba o habitat natural, degrada a qualidade da água, aumenta a propagação de doenças e pode causar a morte de animais aquáticos, além de impedir o funcionamento hidráulico dos sistemas de drenagem, com a consequente fixação dos resíduos na vegetação ciliar ao longo das margens dos arroios ou rios (BRITES, 2005).

Os impactos da urbanização na qualidade da água crescem em proporções catastróficas e, de certa forma, quase irreversível. A sociedade brasileira apresenta um caótico quadro sanitário, principalmente nas áreas urbanas onde já vivem mais de 82% da população

atual (IBGE, 2007), sendo que na microbacia hidrográfica em estudo isto não é diferente. Os principais focos de contaminação dos aquíferos urbanos são: lixões; fossas sépticas como destino final do esgoto, o que pode comprometer o abastecimento urbano de água quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos; e condutos pluviais que podem contaminar o solo (PORTO et al., 2001).

A rápida urbanização concentrou populações de baixo poder aquisitivo em periferias carentes de serviços essenciais, que contribuem diretamente para geração concentrada de poluição, sérios problemas de drenagem agravados pela inadequada deposição de lixo, assoreamento dos corpos d'água e conseqüente diminuição das velocidades de escoamento das águas (MORAES e JORDÃO, 2002).

Segundo Brito e Câmara (1998) esses fatos aumentam os problemas de poluição dos corpos d'água superficiais e do lençol freático, contribuindo para o processo de degradação ambiental, evidenciando a urgência de se adotarem estratégias ambientais. O crescimento desordenado das cidades tem como resultado os sucessivos racionamentos de água, panes nos serviços básicos, entre outros, o que contribui para o aumento dos prejuízos ao meio ambiente e provoca males a saúde humana. Soma-se a estes problemas o acúmulo de lixo urbano, com a predominância de resíduos orgânicos resultante da rápida expansão urbana e do incremento populacional. As evidências sobre os danos ambientais estão presentes no nosso dia-a-dia: doenças respiratórias, diarreias, tragédias provocadas por enchentes e desmoronamentos de encostas de morros que ameaçam a sobrevivência das populações.

À medida que a cidade se urbaniza, ocorre à deterioração da qualidade de água, devido aos inúmeros fatores já citados. Esse impacto tem produzido ambientes degradados, que, nas condições atuais da realidade brasileira, só tendem a piorar. Esse processo é acentuado por áreas de invasões urbanas clandestinas. As enchentes em áreas urbanas ocorrem devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de pontos, aterros, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento; já as enchentes naturais em áreas ribeirinhas atingem a população que ocupa o leito maior dos rios (TUCCI, 2002).

Os impactos da urbanização sobre o solo são de mesma ordem e importância aos observados sobre a água, porém muitas vezes não tão perceptíveis, o que acaba por deixá-los em segundo plano ou até mesmo sem nenhuma medida mitigadora.

Segundo Pedron et al. (2004), a classificação dos "solos urbanos" designa os solos que se encontram no meio urbano, que apresentam um conjunto de possíveis modificações nas suas propriedades devido às atividades antrópicas exercidas neste meio. As principais funções

desempenhadas pelos solos no meio urbano são: suporte e fonte de material para obras civis, agricultura urbana, implantação e manutenção de áreas verdes, meio para descarte de resíduos e armazenamento e filtragem de águas pluviais.

A influência antrópica nos solos urbanos pode provocar muitas alterações morfológicas, sendo comum encontrarmos camadas distintas e artificiais resultante da introdução de diferentes materiais. As modificações mais frequentes impressas no solo em áreas urbanas são a remoção dos horizontes superficiais em áreas de corte e a estratificação de camadas com materiais distintos nas áreas de aterro, introdução de materiais exógenos provenientes de descartes de construções utilizados para reconstituição deste solo, influenciando diretamente em diversas propriedades fundamentais à manutenção do equilíbrio ambiental (PEDRON e DALMOLIN, 2002; PEDRON, 2005; PEDRON et al., 2006).

O crescimento dos grandes centros urbanos tem aumentado substancialmente a incidência de acidentes relacionados à ocupação humana em áreas de risco geológico. A configuração de áreas de risco envolve a ocorrência de fenômenos geológicos (rolagem de matacões, escorregamento de encostas, erosões, rastejos, quedas de blocos e ruptura de taludes) e hidrológicos (extravasamento de cursos de água e de mananciais) que podem colocar em risco a vida da população ou ocasionar danos materiais (MENEGAT et al., 1998). Ainda segundo os mesmos autores, a ocupação humana nesses locais gera um processo de urbanização informal com precárias condições de vida, pois exige a execução de ações não suportadas pelo terreno, tais como: realização de aterros, remoção de vegetação, lançamento de águas servidas, abertura de vielas e disposição de lixo a céu aberto, neste sentido, quando a urbanização informal foge do controle, exige do poder público a adoção de medidas emergenciais para reverter tais situações e a adoção de uma política de eliminação dos fatores de risco e de reassentamento da população.

A erosão dos solos em áreas urbanas é causada pelas águas das chuvas, que se caracteriza como um processo que depende de uma série de fatores como: propriedades do solo, erosividade da chuva, característica das encostas (forma, comprimento e declividade), cobertura vegetal e uso e manejo do solo, dentre outros. Quando o uso e manejo do solo não respeitam a fragilidade do ambiente físico, a degradação ambiental pode ser catastrófica, tanto para o próprio ambiente como para a população que habita a área atingida. A retirada da vegetação é um dos fatores determinantes no desencadeamento do processo erosivo, pois provoca mudanças consideráveis na estruturação do solo e na hidrologia local com a redução da infiltração, e aumento do escoamento superficial, além deste fator a falta de saneamento

básico acelera o processo erosivo pelo escoamento das águas tanto pluviais como de esgoto (MARÇAL e GUERRA, 2001).

Conforme ROBAINA et al. (2001), a retirada da vegetação ciliar, a presença de depósitos irregulares de lixo e a alta impermeabilização de bacias nas áreas urbanas, são fatores que causam assoreamento e barramento de tributários urbanos, sendo que o tipo de cobertura vegetal existente pode reduzir o risco de inundações e erosões, pois facilita a infiltração das águas pluviais e serve de barreira para o escoamento, o que reduz a quantidade de água que chegaria bruscamente às calhas dos rios.

O uso desordenado do solo dentro dos centros urbanos resulta, além dos fatores expostos acima, a sua contaminação por materiais poluentes ou patogênicos ao homem e animais domésticos. Segundo BRASIL (2007), a poluição do solo significa a presença de níveis de algum elemento ou substância que pode afetar componentes bióticos do ecossistema, comprometendo sua funcionalidade e sustentabilidade. Ao contrário de solos agrícolas, os solos urbanos possuem um contato mais direto com o homem, principalmente em lugares públicos como parques e jardins.

O solo serve como suporte na manutenção do ciclo de vida de vários agentes causadores e transmissores de doenças. O contágio humano pode ocorrer pelo contato direto ou indireto com o patógeno encontrado em solos contaminados. A presença de dejetos de animais, esgotos, lixos e resíduos industriais orgânicos e inorgânicos no solo promove a contaminação direta, enquanto o contato indireto com o patógeno ocorre através do consumo de alimentos mal higienizados produzidos em solos contaminados (PEDRON et al., 2004).

## **2.4 Regeneração natural e banco de sementes do solo**

As matas ciliares são ecossistemas que, quando bem conservados, apresentam grande diversidade de espécies. No entanto, constantes processos de uso e manejo inadequado vêm modificando negativamente esta diversidade. O tipo e intensidade de distúrbio dependem da natureza de uso da terra, apresentando influência no padrão de recuperação natural do ecossistema.

Em vista do problema, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de melhor conhecer os processos naturais de recuperação destas áreas. Avaliar a regeneração natural e o

banco de sementes do solo é de primordial importância no que concerne às medidas que visem mitigar os distúrbios e/ou recuperar estes ecossistemas.

O estudo da regeneração natural é de grande importância para a recuperação de ecossistemas que sofreram alterações, permitindo o conhecimento inicial da sucessão secundária. O termo regeneração natural tem apresentado significado bastante amplo, podendo ser considerado como o estágio que segue a independência da plântula da reserva da semente e precede o estado vegetativo adulto e o reprodutivo, ou seja, é o indivíduo jovem na floresta; todos os descendentes das plantas arbóreas que se encontram entre 10 cm de altura até o limite estabelecido no levantamento estrutural; entre outros (ALVARENGA, 2004).

A regeneração natural tende a ser a forma de restauração de mata ciliar de mais baixo custo, entretanto, é normalmente um processo lento. Se o objetivo é formar uma floresta em área ciliar, num tempo relativamente curto, visando à proteção do solo e do curso d'água, determinadas técnicas que acelerem a sucessão devem ser adotadas (MARTINS, 2001).

Segundo o mesmo autor, as matas ciliares apresentam uma heterogeneidade florística elevada, por ocuparem diferentes ambientes ao longo das margens dos rios. A grande variação de fatores ecológicos nas margens dos cursos d'água resultam em uma vegetação arbustivo-arbórea adaptada a tais variações. Via de regra, recomenda-se adotar os seguintes critérios básicos na seleção de espécies para recuperação de matas ciliares: plantar espécies nativas com ocorrência em matas ciliares da região; plantar o maior número possível de espécies para gerar alta diversidade; utilizar combinações de espécies pioneiras de rápido crescimento junto com espécies não pioneiras (secundárias tardias e climáticas); plantar espécies atrativas à fauna; respeitar a tolerância das espécies à umidade do solo, isto é, plantar espécies adaptadas a cada condição de umidade do solo.

Segundo Seitz (1994), a regeneração natural da vegetação tem recuperado grandes áreas degradadas durante os séculos passados, tanto em função da ação antrópica quanto em consequência de cataclismas naturais. A recuperação se dará com maior ou menor rapidez, dependendo do grau de degradação e também da capacidade do banco de sementes do solo em fornecer plântulas para o processo.

De acordo com Martins (2001), um ecossistema torna-se degradado quando perde sua capacidade de recuperação natural após distúrbios e, dependendo da intensidade do distúrbio, fatores indispensáveis para a manutenção da resiliência como, banco de sementes, banco de plântulas, capacidade de rebrota das espécies, chuva de sementes, dentre outros, podem ser perdidos, dificultando o processo de regeneração natural ou tornando-o extremamente lento.

Ainda segundo o mesmo autor, a regeneração natural da vegetação é o procedimento mais econômico para recuperar áreas degradadas. São raros no Brasil os ambientes irremediavelmente degradados, irrecuperáveis pela dinâmica natural da vegetação. O que os diferencia é o tempo necessário para esta recuperação, sendo às vezes tão demorado que intervenções antrópicas fazem-se necessárias.

O banco de sementes do solo é um depósito de elevada densidade de sementes de muitas espécies em estado de latência, armazenando, principalmente, espécies pioneiras (ARAÚJO et al., 2001). Estas espécies representadas por árvores, arbustos e ervas, são comuns como forma de vida predominante do banco de sementes persistentes do solo, permanecendo aptas a germinar por muito tempo, em resposta à alteração da floresta (BAZZAZ e PICKETT, 1980). Conforme Viana (1990), sementes no solo podem atuar como forma de regeneração na recuperação da floresta, neste caso da mata ciliar.

Quando a mata ciliar é destruída e a área passa a receber incidência direta da luz solar, ocorre a colonização de espécies heliófitas que ocupam a área. Essa colonização ocorre porque as florestas se regeneram naturalmente pela chuva de sementes, banco de sementes, banco de plântulas, regeneração avançada, rebrotações, espécies vizinhas, espécies espontâneas, etc. (GARWOOD, 1989 *apud* LONGHI et al., 2005).

Em razão de processos físicos, como a ação dos animais silvestres, muitas sementes são incorporadas no solo e permanecem viáveis por tempo indeterminado. Algumas sementes podem ser destruídas por fungos, bactérias ou consumidas por animais do solo, porém, uma grande proporção sobrevive por muitos anos (RICHARDS, 1998). Dessa forma, o banco de sementes do solo torna-se um depósito com elevada densidade de sementes dormentes de muitas espécies (ARAÚJO et al., 2001).

A densidade de sementes no solo pode variar muito, dependendo da região de estudo, histórico da área, tipo de vegetação e profundidade de coleta (GARWOOD, 1989 *apud* LONGHI et al., 2005). Esse autor descreve dois tipos básicos do banco de sementes do solo: o persistente, composto sobretudo por espécies pioneiras com grande ou contínua frutificação; e o transiente, com espécies que se dispersam num período restrito de tempo, com sementes de curta longevidade.

Bazzaz e Pickett (1980) descreveram que muitas espécies de árvores, arbustos e ervas, são comuns como formas de vida predominante do banco de sementes e, conforme Baker (1989), esse estoque de sementes não-germinadas representa um grande potencial para substituir as plantas adultas que morrerem. Viana (1990) relatou que as sementes podem atuar como forma de regeneração no manejo sustentável e recuperação da floresta.

O banco de sementes de um solo pode ser considerado como a reserva de sementes e propágulos vegetativos tanto em profundidade quanto em superfície, constituindo a origem do ciclo de vida das espécies vegetais (SEVERINO e CHRISTOFFOLETI, 2001). É, também, um arquivo de informações das condições ambientais e práticas culturais anteriores, sendo fator importante de avaliação do potencial de regeneração no presente e no futuro.

O estudo do banco de sementes é utilizado para estabelecer as relações quantitativas entre suas populações e as da flora infestante. Com essas informações, pode-se elaborar índices de predição e modelos de emergência, sendo possível prever futuras infestações e definir medidas adequadas de manejo. Pode haver grandes variações na composição e na densidade do banco de sementes com relação direta entre o histórico da área e o sistema de produção adotado. A dinâmica em um banco de sementes é influenciada diretamente pela sucessão de entrada e saída de sementes ao longo do tempo, o que determina a densidade populacional de uma espécie na comunidade, como reserva de sementes ou de plantas, mesmo que a correlação entre elas seja baixa (SEVERINO e CHRISTOFFOLETI, 2001).

Muitas sementes encontram-se na superfície do solo e/ou na serrapilheira. A serrapilheira é formada pelo material solto (folhas, ramos, sementes, etc.) encontrado no solo da floresta, que contém sementes de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas (IBAMA, 1990). Essas sementes vão formar o banco de sementes e de plântulas no solo da floresta que são partes integrantes da população vegetal. As sementes das espécies pioneiras e secundárias iniciais compõem o banco de sementes do solo e as espécies secundárias tardias e clímax o banco de plântulas. O banco de sementes é composto pelas sementes viáveis presentes no solo ou misturadas com a serrapilheira (SIMPSON et al., 1989).

O uso da serrapilheira e do banco de sementes do solo é útil na recuperação de áreas degradadas e apresenta como principal vantagem a possibilidade de restabelecer no local degradado um ecossistema que se assemelha, pelas espécies contidas, àquele que existia antes da sua perturbação. Uma outra vantagem da utilização deste material, é que a serrapilheira e o banco de sementes do solo podem ser retirados da própria área a ser impactada ou de áreas remanescentes próximas, o que torna o processo de revegetação mais barato e eficiente. O sucesso desse processo depende da capacidade das espécies contidas na serrapilheira e no banco de sementes do solo de germinarem e se estabelecerem em áreas impactadas. O banco de sementes do solo é um estoque de sementes não germinadas, mas potencialmente capazes de substituir plantas adultas anuais ou perenes que desaparecem por causa natural ou não, por doenças, distúrbios ou consumo por animais (BAKER, 1989).

Segundo SOUZA et al. (2006), um arquivo de informações ou memória das condições ambientais passadas é fator importante do potencial da comunidade de responder a distúrbios passados e futuros. A utilização de banco de sementes é uma alternativa aos conhecimentos tradicionais de plantio por mudas em recuperação de áreas degradadas (JOSÉ et al., 2005).

## **2.5 Aspectos ecológicos da recuperação de áreas degradadas**

Área degradada é aquela que, após distúrbios, teve seus meios de regeneração natural afetados irreversivelmente. Já uma área apenas perturbada, após distúrbios, consegue se regenerar naturalmente sem que sejam necessárias ações mais intensas no sentido de recuperá-la, ou seja, a simples estagnação dos fatores que causam o distúrbio é o suficiente para que a área retorne as suas características iniciais ou semelhantes (KAGEYAMA et al., 1992).

Em se tratando de áreas degradadas, geralmente são observados aspectos limitantes na sua recuperação. Do ponto de vista dos aspectos ecológicos florestais que visam à recuperação de ecossistemas ciliares degradados, pode-se citar as alterações edafo-climáticas, principalmente edáficas, já que o solo acaba tendo suas principais características afetadas negativamente, a destruição da vegetação nativa e sua capacidade de regeneração natural, o empobrecimento do banco de sementes, a capacidade de sucessão ecológica, etc.

Devem ser escolhidas, preferencialmente, as espécies vegetais de ocorrência regional e que ocorram em locais com as mesmas características da área a ser recuperada (MARTINS, 2001). O instrumento para a seleção é o levantamento florístico, no qual devem constar as características de cada espécie e principalmente se são espécies colonizadoras de novas áreas.

Recuperar uma área ciliar degradada requer intervenções antrópicas no sentido de reduzir ou amenizar os aspectos limitantes para uma efetiva recuperação, ou seja, ações no sentido de permitir a sucessão ecológica das espécies. Estas ações baseiam-se principalmente na introdução de espécies de ocorrência natural que possibilitem, com o tempo, que o ecossistema ciliar retome suas funções.

Para tal, deve-se isolar a área e estagnar as causas da degradação, posteriormente proceder com a revegetação da área (MARTINS, 2001). No procedimento de revegetação pode haver a necessidade de correção do solo, tanto física como quimicamente, isso depende do seu grau de degradação e da exigência das espécies introduzidas. Deve-se observar

também a adaptabilidade das espécies usadas em função das características da área nas quais elas estão sendo implantadas, ou seja, espécies que tolerem umidade para áreas com solos de má drenagem, espécies pioneiras para áreas sem remanescentes florestais que possam fornecer sombra, etc. Além disso, deve-se sempre observar a proporção entre espécies pioneiras e clímax, também realizar avaliações prévias da vegetação remanescente e do banco de sementes, pois fornecem informações fundamentais na tomada de decisão da escolha das espécies usadas no processo de recuperação.

Nos próximos parágrafos estão descritos, com base na literatura, alguns aspectos importantes que norteiam a recuperação de ecossistemas ciliares degradados e das implicações que levam a uma efetiva recuperação, quer seja pela escolha das espécies ou pelos demais fatores bióticos e abióticos relacionados. Além disso, encontram-se descritos alguns conceitos fundamentais para o entendimento do processo, bem como algumas alternativas e fatores importantes para uma recuperação efetiva.

Recuperação significa que o sítio degradado será retornado a uma forma e utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável, porém dinâmica, será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Significa também, que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (IBAMA,1990).

Segundo Jesus (1994), a ação antrópica é indispensável para a recuperação de ecossistemas degradados, já que estes não possuem mecanismos de regeneração. A recuperação visa dar a área degradada uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido. Quando este tem por objetivo devolver ou estabelecer um equilíbrio biológico ao sítio degradado, deve haver a preocupação com a formação de um solo com boas características físicas e químicas, com a revegetação da área (MIRANDA, 1997).

Segundo Schumacher e Hoppe (1997, 1999), a finalidade de um empreendimento de recuperação, acima de tudo, é de reconstituir a área explorada, para que retome suas características, possa ter sua biodiversidade recomposta e se reintegre e torne-se novamente um ecossistema auto-sustentável. A estratégia para recuperação de área degradada deve se nortear em ações que promovam a cobertura do solo, a reciclagem de nutrientes e o acúmulo da matéria orgânica do solo. A perda de matéria orgânica constitui um dos principais problemas na recuperação de áreas degradadas (GRIFFITH et al., 1996).

A floresta ocupa, ainda hoje, a tarefa insubstituível de reserva e regeneração do solo, pela sua estrutura exerce função importante na conservação do solo e água. Seu sistema

radicular, associado à serrapilheira, atua absorvendo a água da chuva, conduzindo-a para camadas inferiores do solo, através da porosidade que se forma pela presença das raízes e pela dinâmica dos organismos vivos, até chegar ao lençol freático, a partir do qual ocorre um reabastecimento gradual dos cursos d'água. Desta maneira, as coberturas vegetais, especialmente as florestas, contribuem de maneira decisiva, na proteção dos solos (SCHUMACHER e HOPPE, 1999).

Para uma recuperação efetiva deve-se observar características ecológicas como: devem ser escolhidas preferencialmente as espécies vegetais de ocorrência regional e que ocorram em locais com as mesmas características da área a ser recuperada, sucessão, relação fauna/flora, banco de sementes (principalmente para as espécies pioneiras), etc. (CARVALHO, 2000). As espécies destinadas a programas de recuperação de áreas degradadas devem apresentar algumas características marcantes, como: rápido crescimento, recobrir rapidamente o terreno, competir com gramíneas anuais e perenes, apresentar boa deposição de folhedo, ter longevidade e sistema radicular agressivo.

A recuperação plena de ecossistemas degradados deve ser com espécies nativas; se o terreno estiver degradado, pode haver uma fase prévia de recuperação, que independe de as espécies serem nativas ou exóticas. O recobrimento do solo, a ciclagem de nutrientes, o acúmulo de matéria orgânica e a formação de liteira, apoiada em sistemas radiculares mais profundos e eficientes em buscar nutrientes não disponíveis para outras culturas, são algumas características desejáveis em espécies empregadas com essa finalidade (CARVALHO, 2000).

A recuperação se dá através da definição de um plano que considere os aspectos ambientais, estéticos e sociais, de acordo com a destinação que se pretende dar à área, permitindo um novo equilíbrio ecológico. Assim a recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas das mais diferentes áreas do conhecimento humano, que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural. O caráter multidisciplinar das ações que visam proporcionar esse retorno deve ser tomado, fundamentalmente, como ponto de partida do processo. Desta maneira, o envolvimento direto e indireto de técnicos de diferentes áreas permite a abordagem holística que se faz necessária (IBAMA, 1990).

Diferentes enfoques vêm sendo considerados para o estabelecimento de modelos para a implantação de florestas mistas com espécies nativas, visando à recuperação de áreas degradadas. Dependendo do grau de degradação do meio ou do ambiente, técnicas simples podem ser utilizadas para sua recuperação, dispensando tratamentos mais dispendiosos. A

regeneração natural da vegetação é, sem dúvida alguma, o procedimento mais barato, em termos econômicos, para recuperar áreas degradadas. Objetivamente a recuperação de uma área pressupõe a sua alteração de uma situação indesejável para outra desejável. A situação desejável é a definida por quem solicitou a recuperação ou determinada pela legislação vigente (CARVALHO, 2000).

Técnicas de recuperação de matas ciliares, como a regeneração natural e a revegetação com espécies nativas selecionadas para tal fim podem e devem ser usadas. Através da regeneração natural, as florestas apresentam capacidade de se recuperarem de distúrbios naturais ou antrópicos. Quando uma determinada área de floresta sofre um distúrbio como a abertura natural de uma clareira, um desmatamento ou um incêndio, a sucessão secundária se encarrega de promover a colonização da área aberta e conduzir a vegetação através de uma série de estádios sucessionais, caracterizados por grupos de plantas que vão se substituindo ao longo do tempo, modificando as condições ecológicas locais até chegar a uma comunidade bem estruturada e mais estável (MARTINS, 2001).

Segundo o mesmo autor, a sucessão secundária depende de uma série de fatores como a presença de vegetação remanescente, o banco de sementes no solo, a rebrota de espécies arbustivo-arbóreas, a proximidade de fontes de sementes e a intensidade e a duração do distúrbio. Assim, cada área degradada apresentará uma dinâmica sucessional específica. Em áreas onde a degradação não foi intensa, e o banco de sementes próximas, a regeneração natural pode ser suficiente para a restauração florestal. Nestes casos, torna-se imprescindível eliminar o fator de degradação, ou seja, isolar a área e não praticar qualquer atividade de cultivo.

A combinação de espécies de diferentes grupos ecológicos ou categorias sucessionais é extremamente importante nos projetos de recuperação. As florestas são formadas através do processo denominado de sucessão secundária, onde grupos de espécies adaptadas a condições de maior luminosidade colonizam as áreas abertas, e crescem rapidamente, fornecendo o sombreamento necessário para o estabelecimento de espécies mais tardias na sucessão.

Várias classificações das espécies em grupos ecológicos têm sido propostas na literatura especializada, sendo mais empregada a classificação em quatro grupos distintos: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas. A tolerância das espécies ao sombreamento aumenta das pioneiras para as climáticas. Para facilitar o entendimento das exigências das espécies quanto aos níveis de luz, adota-se apenas dois grupos: pioneiras e não-pioneiras. O grupo das pioneiras é representado por espécies pioneiras e secundárias

iniciais, que devem ser plantadas de maneira a fornecer sombra para as espécies não pioneiras, ou seja, as secundárias tardias e as climáticas (MARTINS, 2001).

A dinâmica de recuperação de uma floresta é uma combinação de fatores, onde grupos de espécies com exigências complementares, principalmente quanto à necessidade de luz, são associados de tal forma que as espécies de estágios iniciais sejam sombreadoras de espécies de estágios finais da sucessão, acelerando assim o processo de recuperação de uma área perturbada. Esses fenômenos, conhecidos como Sucessão Secundária (BUDOWSKI, 1965), vêm servindo de base para várias classificações que visam distinguir os diferentes grupos ecológicos bem como as espécies vegetais pertencentes a cada um dos grupos a seguir (CARVALHO, 2000):

a) Pioneiras: espécies claramente dependentes de luz, não ocorrem em sub-bosque, desenvolvendo em clareiras ou bordas de florestas;

b) Secundárias Iniciais: espécies que ocorrem em condições de sombreamento médio ou luminosidade não muito intensa, ocorrendo em clareiras pequenas, bordas de clareiras grandes, bordas de floresta ou no subosque não densamente sombreado.

c) Secundárias Tardias ou Clímax: espécies que se desenvolvem no subosque em condições de sombra leve ou densa, podendo permanecer toda a vida ou então crescer até alcançar o dossel ou condição emergente.

Na escolha de espécies a serem plantadas em áreas ciliares é imprescindível levar em consideração a variação de umidade do solo nas margens dos cursos d'água. Para as áreas permanentemente encharcadas, recomenda-se espécies adaptadas a estes ambientes, como aquelas típicas de florestas de brejo. Para os diques, são indicadas espécies com capacidade de sobrevivência em condições de inundações temporárias. Já para as áreas livres de inundação, como as mais altas do terreno e as marginais ao curso d'água, porém compondo barrancos elevados, recomenda-se espécies adaptadas a solos bem drenados (MARTINS, 2001).

Segundo o mesmo autor, a escolha de espécies nativas regionais é importante porque tais espécies já estão adaptadas às condições ecológicas locais. Por exemplo, o plantio de uma espécie típica de matas ciliares do norte do País em uma área ciliar do sul, pode ser um fracasso por causa de problemas de adaptação climática. Além disso, no planejamento da recuperação deve-se considerar também a relação da vegetação com a fauna, que atuará como dispersora de sementes, contribuindo com a própria regeneração natural. Espécies regionais, com frutos comestíveis pela fauna, ajudarão a recuperar as funções ecológicas da floresta.

Os fatores ambientais críticos para a sobrevivência e adaptação das plantas como a temperatura, a umidade relativa do ar, o regime pluviométrico, a altitude, o fotoperíodo, o

termoperíodo e, principalmente, as características do solo são altamente variáveis de um local para outro. Quanto maior for a distância entre locais, maiores serão as diferenciações nas variáveis ambientais. Isto propicia a formação da estrutura genética ecotípica das espécies vegetais, com o surgimento de tipos ecológicos adaptados a cada condição ambiental específica (ecótipos) de hábitos distintos quanto à época de florescimento, à época de emissão de brotos, ao tamanho das plantas, à tolerância aos extremos climáticos ou às condições edáficas críticas e muitos outros fatores (SHIMIZU, 2007).

Para um plano de recuperação de áreas degradadas, deve-se elaborar um projeto apresentando em sua essência as seguintes etapas mínimas (RODRIGUES e GANDOLFI, 1996; RODRIGUES, 1996):

a) Avaliação das áreas degradadas: áreas resultantes de atividades minerais, (cavas; bacias de contenção de rejeitos, trincheiras, solos desnudos/decapeados); áreas resultantes de atividades agropecuárias (Área de Preservação Permanente Degradada), margens de drenagens, entorno de represas, bordas de tabuleiros; áreas resultantes da implantação de estradas, etc.

b) levantamento da vegetação remanescente da região e/ou uso dos solos;

c) escolha das atividades de recomposição;

d) seleção do sistema de revegetação (que pode ser, implantação de sistema, enriquecimento de sistema; ou apenas regeneração natural de sistemas pouco perturbados, entre outros);

e) plantio e distribuição das espécies no campo (quantidade, forma e local buscando-se imitar a distribuição natural das espécies, segundo as características ambientais das áreas de entorno);

f) manutenção; acompanhamento e avaliação dos sistemas.

Ainda conforme Rodrigues e Gandolfi (1996) e Rodrigues (1996) os procedimentos técnico-operacionais para recuperação de áreas degradadas são:

a) Caracterização das áreas degradadas: caracterização do tipo de degradação; condição do substrato; cobertura vegetal; mecanismos de fornecimento de propágulos;

b) Levantamento da vegetação e uso dos solos da região onde se inserem as áreas degradadas;

c) Definição dos sistemas de revegetação: implantação; enriquecimento; regeneração natural;

d) Elaboração de um cronograma executivo de atividades;

e) Recomposição topográfica e/ou reafeiçoamento topográfico para o disciplinamento das águas superficiais;

f) Escolha das atividades de recomposição: isolamento da área; retirada dos fatores de degradação; eliminação de competidores naturais; e adensamento de espécies com mudas ou sementes; enriquecimento com mudas ou sementes; implantação de módulos de mudas ou sementes; seleção de espécies pioneiras e secundárias nativas; indução do banco de sementes ou sua transferência; aproveitamento econômico;

g) Plantio das espécies indicadas: conservação dos solos; abertura de covas; correção dos solos e adubações; ações de plantio e tutoramento; monitoramento e avaliação do processo de recuperação; coroamento; podas; controle de pragas e doenças; aceiros; etc.

Os autores destacam ser importante que os profissionais que elaboram o programa de recuperação, também sejam responsáveis pelo acompanhamento de sua execução e por seu monitoramento. Ressaltam também que registro fotográfico deve ser realizado observando os mesmos pontos fotografados nas fases de pré e pós-recuperação e que o processo de recuperação de áreas degradadas, deve atender as exigências dos órgãos ambientais.

## 2.6 Bioengenharia de solos

A bioengenharia é um ramo da ciência que usa as características biológicas e técnicas da vegetação, combinadas a pequenas obras de engenharia, com o objetivo de controlar torrentes e focos erosivos (GRAY e LEISER, 1982; BEGEMANN e SCHIECHTL, 1994; MORGAN e RICKSON, 1995; FLORINETH e GERSTGRASER, 2000; DURLO, 2001; *apud* SUTILI et al. 2004). A bioengenharia, também conhecida como “bioengenharia de solos” ou “engenharia natural”, engloba um conjunto de técnicas de construção e serve-se de conhecimentos biológicos para a estabilização de encostas de terrenos e margens de cursos d’água.

Com o uso de tais técnicas se consegue, geralmente, a estabilidade de encostas marginais e se impede a dinâmica de erosão e sedimentação, comuns e indesejáveis em cursos de água, além de serem soluções simples que, associadas com uma visão mais abrangente da bacia hidrográfica, rendem melhorias estéticas, ecológicas e de produção dessas áreas. Podem ser consideradas soluções baratas, de fácil implementação e corretas do ponto de vista ecológico (SUTILI et al., 2004).

As obras biotécnicas podem ser divididas em transversais ou longitudinais (DURLO e SUTILI, 2005). As transversais têm como principal efeito a redução da velocidade da água, através do desenvolvimento de um perfil de compensação que modifica a inclinação original do leito forçando o depósito de sedimentos, consolidando o leito e estabilizando as margens, as estruturas deste tipo de obra são normalmente inertes, mas podem se complementadas por medidas vegetativas. Já as obras longitudinais não alteram a declividade do leito, tendo como funções, reconstruir, proteger e estabilizar as margens, isto pode ser conseguido com o revestimento vegetal e/ou físico das margens e pela construção de râmpolas (defletores) que visam reduzir a velocidade da água e forçar o depósito de sedimentos no local, porém sem alterar a declividade do leito.

Segundo os mesmos autores, os revestimentos buscam conferir às margens (taludes) maior resistência à força da água e podem ir de um simples enrocamento com pedras, passando pelo uso de cilindros inertes e gabiões, até a construção de paredes de madeira roliça, ferro ou concreto, combinados com modelos especiais de revegetação. A bioengenharia preconiza uma série de formas de revegetação e modelos de construção. O efeito proporcionado e os resultados conseguidos ficam na dependência tanto do tipo de material e modelo de construção, bem como das espécies vegetais e formas de revegetação que se combina às estruturas.

A bioengenharia de solos vale-se de técnicas biológicas, sendo as plantas ou parte destas usadas como material vivo de construção. Sozinhas ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento, como encostas naturais ou artificiais de terrenos e margens de cursos de água (SCHIECHTL e STERN, 1992, *apud* MONTEIRO, 2009). As plantas são vistas como elementos estruturais para a estabilização de terrenos. A bioengenharia de solos é uma ferramenta importante, pois, além da solução técnica, apresenta vantagens ecológicas, econômicas e estéticas quando comparada às construções tradicionais (ARAÚJO et al., 2005).

Fiori e Carmignani (2001) afirmam que a cobertura vegetal desempenha importante papel na proteção do solo e, sua remoção pode promover não apenas erosão lenta, mas também movimentos coletivos de solo. As raízes e os rizomas da vegetação integram o solo para produzir um material composto, de forma que as raízes atuem como fibras resistentes à tensão de tração, de compressão ou de cisalhamento. Enquanto os componentes do sistema radicular contribuem para a resistência mecânica do solo os componentes da parte aérea da vegetação - tronco, galhos e folhas - absorvem a energia dos agentes erosivos, que é reduzida até atingir o solo.

Várias espécies vegetais possuem características que podem ser utilizadas para controlar tecnicamente alguns processos fluviais, como erosões do fundo e das margens, deslizamentos, desmoronamentos e transporte de sedimentos (DURLO e SUTILI, 2005). Segundo Durlo (2000), a vegetação possui características biotécnicas que podem ser essenciais para a estabilidade natural das margens dos rios. Dentre as características biotécnicas desejáveis, Durlo e Sutili (2005) destacam: resistência à exposição parcial das raízes; resistência ao aterramento parcial; resistência ao apedrejamento (provindo de barrancas altas e declivosas); capacidade de brotar após quebra do ápice e danos à planta; crescimento rápido e sistema radicial que permita fixar o solo, quer pelo comprimento, volume ou resistência das raízes.

Outra característica importante da vegetação, mencionada por Denardi (2007), é a flexibilidade de caules e ramos, pois plantas com esta característica, em especial quando submetidas à força da correnteza, promovem a proteção dos taludes através da inclinação de sua parte aérea sobre os mesmos.

Sutili (2001) menciona que as técnicas ou modelos capazes de controlar os processos erosivos e de sedimentação de cursos de água (as obras de bioengenharia de solos) tem seus princípios físicos conhecidos. Este mesmo autor investigou também a disponibilidade e a aplicabilidade de materiais construtivos da região referente ao presente estudo, bem como as características biotécnicas das espécies vegetais de ocorrência local. Destacou que dentre as características biotécnicas adequadas deve-se observar a possibilidade de reprodução vegetativa, a capacidade de suportar condições extremas como (submersão por períodos relativamente longos, o aterramento e exposição parcial de suas raízes), enraizamento denso, forte e profundo, etc.

Entre as espécies de ocorrência local, Sutili et al. (2004), investigaram em situação prática de campo as características biotécnicas do Sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e do Vime (*Salix x rubens* L.). Concluíram que as duas espécies se mostraram potencialmente aptas para a revegetação das margens dos cursos de água, pelo seu potencial de pega. Também observaram que quanto maior a proximidade com o nível da água, maior o percentual de pega das estacas. Monteiro (2009), estudando a influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural, concluiu que este mostrou influência sobre algumas variáveis para de *Phyllanthus sellowianus* e *Salix humboldtiana*, já as estacas de *Sebastiania schottiana*, não apresentaram brotação, nem enraizamento, explicado, provavelmente, pela época de coleta das estacas (final de agosto).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição da área de estudo**

O presente estudo foi realizado nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, na microbacia hidrográfica do Rio Vacacaí-mirim, no município de Santa Maria - RS (coordenadas 29° 45' S e 53° 43' W). A Sanga Lagoão do Ouro é um tributário de 3ª ordem do Rio Vacacaí-mirim e perfaz um percurso aproximado de 11 km, tendo sua nascente localizada no Conjunto Residencial Novo Horizonte, percorrendo o Núcleo Habitacional Fernando Ferrari, Vila Santos Dumont, Vila Santa Tereza, Vila Assunção e o Campus da UFSM, além de uma extensa área em zona rural, até desaguar no rio Vacacaí-mirim. No Apêndice 1 está descrito um breve histórico dos estudos anteriores a este, realizados na mesma área.

O relevo apresenta-se suavemente ondulado, caracterizado pela presença de coxilhas e planícies aluviais, com cotas altimétricas variando de 40 a 200 metros, caracterizando uma paisagem sem grande variação altimétrica (SPIAZZI, 2002).

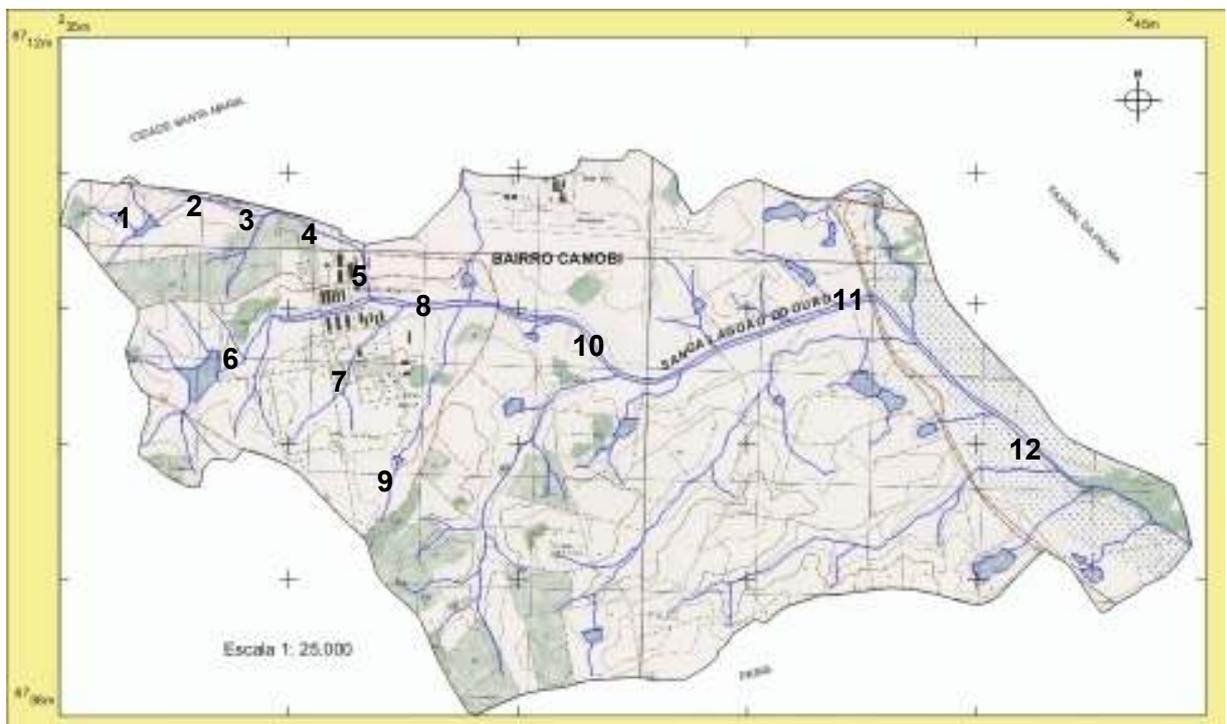
O clima da bacia, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical, em que a temperatura do mês mais frio oscila entre -3°C e 18°C, a média do mês mais quente ultrapassa 23°C e a média anual é de 18,2°C. A insolação é de 2300 horas (MORENO, 1961). A precipitação pluviométrica anual é de 1.382 mm (COGO et al., 2006).

Os solos predominantes classificam-se como Argissolo Bruno-Acinzentado, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho, e Planossolo Háptico. Estes solos são de baixa fertilidade natural e bastante suscetíveis a erosão hídrica (STRECK et al., 2002). Conforme Pedron et al. (2006), os Argissolos Bruno-Acinzentado, antigo Alissolos, na área urbana de Santa Maria correspondem a 44% e os Argissolos Vermelho-Amarelo e Vermelho correspondem a 25% dos solos formadores desta, sendo que estes solos apresentam alta suscetibilidade à degradação ambiental quando manejados inadequadamente, principalmente devido à erosão hídrica, pela presença de mudança textural, originando a ocorrência de voçorocas, que tornam estes ambientes de risco a ocupação humana.

O Bairro Camobi, onde nasce o tributário Sanga Lagoão do Ouro, é margeado pelo Rio Vacacaí-mirim, que integra a Bacia do Rio Jacuí. O Rio Vacacaí-mirim nasce do topo do Planalto Meridional no município de Itaara, tem como seus principais tributários os Arroios Grande, do Veado, do Meio e Manuel Alves, constituindo-se no rio principal da Região Centro-Leste de Santa Maria, abastecendo a barragem do DNOS, situado ao “pé” do Rebordo do Planalto Meridional. Ao norte, o rio Vacacaí-mirim apresenta uma extensa planície aluvial, com cotas altimétricas que se aproximam a 70 m (SPIAZZI, 2002).

### 3.2 Metodologia empregada

O levantamento florístico, coletas do banco de sementes do solo, avaliação dos fatores ambientais e antrópicos e amostras de solo para determinação das características químicas e físicas ocorreram em 12 parcelas amostrais demarcadas ao longo da Sanga Lagoão do Ouro (Figura 1).



**Figura 1** - Localização da área de estudo e das 12 parcelas amostrais ao longo do percurso da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Fonte: Carta Topográfica de Camobi, 1975. E: 1:25000.

### 3.2.1 Demarcação das parcelas amostrais e levantamento florístico

Foram demarcadas 12 parcelas amostrais de 10 m x 30 m (300 m<sup>2</sup>) distribuídas conforme Figura 1. O dimensionamento das parcelas a campo foi realizado com o uso de balizas e de uma trena, cujos 10 m foram medidos no sentido paralelo e os 30 m no sentido perpendicular ao leito da sanga (Apêndice 2). A largura da parcela (30 m) foi definida baseado no que define a legislação brasileira como largura mínima da APP para cursos d'água com menos de 10 m de largura.

As parcelas foram demarcadas aleatoriamente contemplando ravinas, canais e tributário, para assim levantar toda a variabilidade de espécies que eventualmente possam ocorrer em função da localização na microbacia (altitude) ou da presença constante ou não de água dentro da sanga, já que as ravinas e os canais não são perenes. No momento da demarcação das parcelas, os 30 m transversais foram distribuídos de forma sistemática de uma parcela para outra (ora do lado direito ora do lado esquerdo), essa forma de demarcação auxiliou no levantamento da possível variabilidade de espécies em função da largura da mata ciliar e da distância da margem da sanga.

Foi realizado um levantamento para identificação da composição florística. As espécies amostradas foram classificadas em três estratos: plântulas, regeneração natural e arbóreo. O estrato composto pelas plântulas foi formado por indivíduos com até 0,30 m de altura; o estrato regeneração natural por indivíduos com altura entre 0,30 m e 1,30 m e o arbóreo por indivíduos com altura superior a 1,30 m. A classificação dos estratos, em função da altura das plantas, foi realizada de forma arbitrária, levando em consideração as condições de degradação da mata ciliar e a necessidade de avaliar as plântulas e a regeneração natural. Para a análise da estrutura horizontal da vegetação, considerou-se os parâmetros frequência absoluta e relativa e, densidade absoluta e relativa das espécies descritas em Martins (1991). Além disso, foi avaliado o índice de diversidade de Shannon. A identificação das espécies foi realizada *in loco*. Para os indivíduos não identificados no local, foi coletado material botânico para posterior identificação no Herbário do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, onde também foi realizada a identificação em nível de família, gênero e espécie. As espécies foram classificadas pelo sistema de classificação APG III (2009).

### 3.2.2 Coleta e avaliação do banco de sementes do solo

Foi avaliado o banco de sementes do solo da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, obtendo-se assim informações referentes às espécies que possuem potencial de regeneração natural, ou de possíveis invasoras que possam estar interferindo nesta regeneração.

As coletas de material foram realizadas em duas épocas do ano, na transição outono-inverno e na transição primavera-verão do ano de 2007, pois as diferentes espécies produzem sementes em épocas distintas do ano. Foram coletadas 72 amostras de 0,25 m<sup>2</sup> de área (quatro sub-amostras de 0,0625 m<sup>2</sup> cada com monolito de ferro de 0,25 x 0,25 m) em cada época de coleta (Apêndice 3), sendo 6 destas em cada uma das parcelas descritas no item anterior, totalizando 144 amostras. As amostras foram constituídas pela serrapilheira (contendo folhas, ramos, frutos, sementes e outros materiais) e pelo solo, até 5 cm de profundidade, sendo distribuídas de forma aleatória nas parcelas.

Após a coleta, as amostras foram devidamente embaladas em sacos plásticos e levadas à área pertencente ao Departamento de Solos da UFSM. Foram instaladas 72 caixas de madeira de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup> cada), por época de coleta, contendo como substrato uma camada de 3 cm de espessura de solo coletado a profundidade maior que 20 cm, devidamente seco e já usado em experimentos anteriores onde se verificou a ausência de sementes contaminantes. Sobre o substrato desses canteiros foram depositados o solo e sobre este a serrapilheira, coletados nas parcelas da mata ciliar. Foram usadas, sobre os canteiros, coberturas de sombrite com 75% de transparência (Apêndice 4), evitando assim a contaminação por sementes que eventualmente poderiam ser trazidas pelo vento. Com isso, objetivou-se também, avaliar a condição natural para a germinação, sem mudanças drásticas na condição de luminosidade em relação ao local de coleta das amostras.

Os canteiros foram irrigados, mantendo-se a umidade necessária à germinação das sementes e ao desenvolvimento das plântulas, até um estágio em que foi possível a sua identificação, quando as mesmas foram então avaliadas e retiradas de modo a dar lugar para que outras germinassem. A avaliação ocorreu de forma qualitativa e quantitativa, de toda e qualquer espécie que germinou (arbóreas ou não), 20 dias após a instalação das unidades e, posteriormente, a cada 15 dias, até que todas as sementes viáveis tivessem germinado o que ocorreu, aproximadamente, após 20 meses. Cada época de coleta foi analisada separadamente, sendo que para cada espécie, foi calculada a frequência absoluta e relativa, a densidade absoluta e relativa e o Índice de Diversidade de Shannon.

### 3.2.3 Levantamento da erosão atual e potencial erosivo do solo

Para avaliar e quantificar a erosão atual dos solos das margens da sanga, foi realizado um levantamento em toda área das parcelas amostradas, demarcando-se, a campo, porcentagens destas com voçorocas (largura x comprimento para sulcos com profundidades maiores que 0,5 m (no Apêndice 5 tem-se representado uma voçoroca próximo a margem da sanga)), com erosão em sulcos (largura x comprimento para sulcos com profundidades menores que 0,5 m) ou com erosão laminar (observando-se a ocorrência de perdas superficiais de solo na área). A erosão atual do solo foi obtida pelo somatório dos três tipos de erosão em porcentagem, sendo que o somatório destes poderia atingir um máximo de 100%, já que onde ocorria erosão em voçorocas não se considerava a em sulcos e onde ocorria a em sulcos não se considerava a laminar na mesma área da respectiva parcela.

O potencial erosivo do solo foi quantificado considerando-se áreas propícias à erosão aquelas que se encontravam sem qualquer tipo de cobertura do solo. Para tal quantificou-se a porcentagem das parcelas com cobertura por espécies arbóreas (considerando a projeção das copas em m<sup>2</sup>) e por não arbóreas (considerando todas as plantas herbáceas, inclusive as plântulas das espécies arbóreas e também a cobertura do solo com serrapilheira (no Apêndice 5 tem-se representado uma malha esquemática de como foi estimada visualmente a porcentagem da cobertura do solo por não arbóreas)). O potencial erosivo (Pero) foi obtido pela média da porcentagem da área sem cobertura por arbóreas (% s/Ar) com a porcentagem da área sem cobertura por não arbóreas (% s/Nar):  $Pero = (\% s/Ar + \% s/Nar) / 2$ .

### 3.2.4 Levantamento dos fatores ambientais e antrópicos

Os fatores avaliados foram: porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira, porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas, número de indivíduos arbóreas exóticos (de acordo com a definição de Ziller (2001), que define espécie exótica como sendo qualquer espécie não natural ao ecossistema), número de indivíduos arbóreas nativos, conflito de uso do solo, porcentagem da área com voçorocas, porcentagem da área com erosão em sulcos, porcentagem da área com erosão laminar e características químicas e físicas do solo.

A obtenção das porcentagens de cobertura do solo por arbóreas e não arbóreas e da erosão em voçorocas, sulcos e laminar já foram descritas no item 3.2.3. O número de espécies exóticas e nativas foi obtido no levantamento florístico descrito no item 3.2.1.

O conflito de uso do solo foi obtido considerando-se o potencial de uso dos solos (por se tratar de ecossistema ciliar é considerado área de preservação permanente) e o uso atual dos solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro (Apêndice 6), contrastando ambos. No uso atual dos solos considerou-se: urbanização, culturas (lavouras), pecuária/campo (com ou sem presença de espécies arbóreas na margem da sanga), capoeira (áreas abandonadas) e mata ciliar com espécies nativas e/ou com espécies exóticas.

O conflito de uso dos solos, em porcentagem, foi obtido considerando-se: 0% de conflito de uso (mata ciliar preservada com espécies nativas), 25% de conflito de uso (mata ciliar com espécies nativas e/ou com espécies exóticas + pecuária/campo), 50% de conflito de uso (capoeira), 75% de conflito de uso (pecuária sem presença de mata ciliar) e 100% de conflito de uso (lavouras ou urbanização). As avaliações de conflito de uso do solo em cada parcela foram feitas de 10 em 10 m a partir do curso da sanga.

Na elaboração do mapa de uso e cobertura atual do solo do ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro (Apêndice 6), para construir a base de dados, foi importada para o aplicativo Spring versão 5.0.6 (Câmara et al., 1996): a) carta topográfica do município de Santa Maria (SO) na escala de 1:25.000; b) imagens do satélite Landsat do sensor TM 5 (órbita/ponto 223/81) com resolução espacial de 30 m e temporal de 16 dias, fornecidas gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

A identificação e digitalização da rede hidrográfica da Sanga Lagoão do Ouro foi feita com base na carta topográfica e na imagem de satélite Landsat TM 5. A rede hidrográfica foi vetorizada juntamente ao seu limite levando-se em consideração a topografia, a declividade e os divisores de água.

O mapa de uso e cobertura, em escala de 1:40.000, foi elaborado na fase agrícola em que o desenvolvimento vegetativo da planta está completo, época da colheita (abril). Para tal foram utilizadas imagens de satélite do Landsat do sensor TM 5 referente a data 11/04/2009. A classificação da imagem foi feita de forma supervisionada por pixel, ou seja, seleção e delimitação manual de amostras para as classes: área florestal, solo exposto, cultura, campo e água, com aferição do uso e cobertura do solo a campo. Áreas com sombra e nuvens não foram registradas na imagem. A classificação da imagem teve um limiar de 100% de aceitação (para classificar todos os pixels) e posterior categorização das classes com a análise das amostras pelo classificador *maxver*.

### 3.2.5 Coleta e análises de solo

Para análise das propriedades químicas e físicas do solo que ocorre ao longo do curso da sanga, foram coletadas amostras em cada uma das parcelas descritas anteriormente.

A coleta do solo para análises químicas e físicas foi feita por meio da abertura de minitrincheiras, em uma rede de pontos amostrais a cada 10 m da margem da sanga. A primeira coleta foi realizada exatamente na margem (barranco), portanto, foram assim localizadas a 0, 10 e 20 m da margem, onde foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm e 30 – 50 cm (Apêndice 7).

Após o material ser devidamente acondicionado e identificado, foi encaminhado para análise nos Laboratórios Central de Análises de Solo da UFSM e de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Para caracterização das propriedades químicas do solo foi realizada análise completa, segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). As propriedades físicas do solo determinadas foram: densidade, macro e microporosidade (pelo método da mesa de tensão a -60 cm), textura (composição das frações de solo: areia grossa, areia fina, silte e argila) pelo método da pipeta, usando esferas de nylon e agitador horizontal por quatro horas, estrutura (distribuição do tamanho de agregados estáveis em água) pelo método Kemper padrão. Tais metodologias e princípios podem ser vistos em EMBRAPA (1979).

### 3.2.6 Análise dos dados

#### *3.2.6.1 Análise dos dados obtidos no levantamento florístico e no banco de sementes do solo*

Os cálculos da frequência e densidade absolutas e relativas e do Índice de Diversidade de Shannon, aplicados tanto para o levantamento florístico, como para o banco de sementes do solo nas duas épocas de coleta, foram realizados utilizando as seguintes expressões (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974):

a) Frequência absoluta e relativa para a i-ésima espécie

$$FA = \frac{P_i}{P} \times 100 \qquad FR = \frac{FA_i}{\sum FA} \times 100$$

Em que: FA = frequência absoluta (%); FR = frequência relativa (%); Pi = número de parcelas amostrais com ocorrência do taxon i; P = número total de parcelas amostrais; FAi = Frequência Absoluta do taxon i; FA = Frequência Absoluta de todos os taxons.

b) Densidade absoluta e relativa

$$DA = n_1 \times \frac{U}{A} \qquad DR = \frac{n_1}{N} \times 100$$

Em que: DA = densidade absoluta (número de indivíduos ha<sup>-1</sup>); DR = densidade relativa (%); n = número de indivíduos do taxon analisado i; U = área (10.000 m<sup>2</sup>); A = área amostrada (m<sup>2</sup>); N = número total de indivíduos amostrados.

c) Índice de diversidade de Shannon (Magurran, 1989).

$$H' = - \sum_{i=1}^N (p_i \times \ln p_i)$$

Em que: H' = índice de diversidade de Shannon; pi = ni/N; ni = número de indivíduos da espécie i; N = número total de indivíduos amostrados; ln = logaritmo natural.

### *3.2.6.2 Análise estatística para os fatores ambientais, antrópicos e características do solo sobre a erosão atual e potencial*

Foram estimados coeficientes de correlação de Pearson (STEEL et al., 1997) entre as características ambientais e antrópicas, entre as características físicas do solo e entre as características químicas do solo, avaliadas nas 12 parcelas demarcadas ao longo da Sanga

Lagoão do Ouro, em três distâncias a partir da margem (repetições), num total de 36 observações por variável.

Sobre a matriz das correlações entre as características, procedeu-se o diagnóstico da multicolinearidade (CRUZ e CARNEIRO, 2003), visando-se a eliminação de variáveis causadoras de multicolinearidade, dando preferência para a eliminação das características em que o efeito não foi significativo e também para aquelas onde não se observou distribuição normal pelo teste de Lilliefors em nível de 5% de probabilidade de erro. Em seguida, as correlações entre as características restantes e a erosão atual do solo (EATu) ou potencial erosivo do solo (PEro) (variáveis dependentes) foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha, estabelecendo as relações de causa e efeito entre as características, conforme descrito na literatura (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; CRUZ e REGAZZI, 1997; CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Os cálculos foram procedidos com o uso do pacote estatístico Genes (CRUZ, 2001).

### 3.2.7 Recuperação da mata ciliar e estabilização das margens

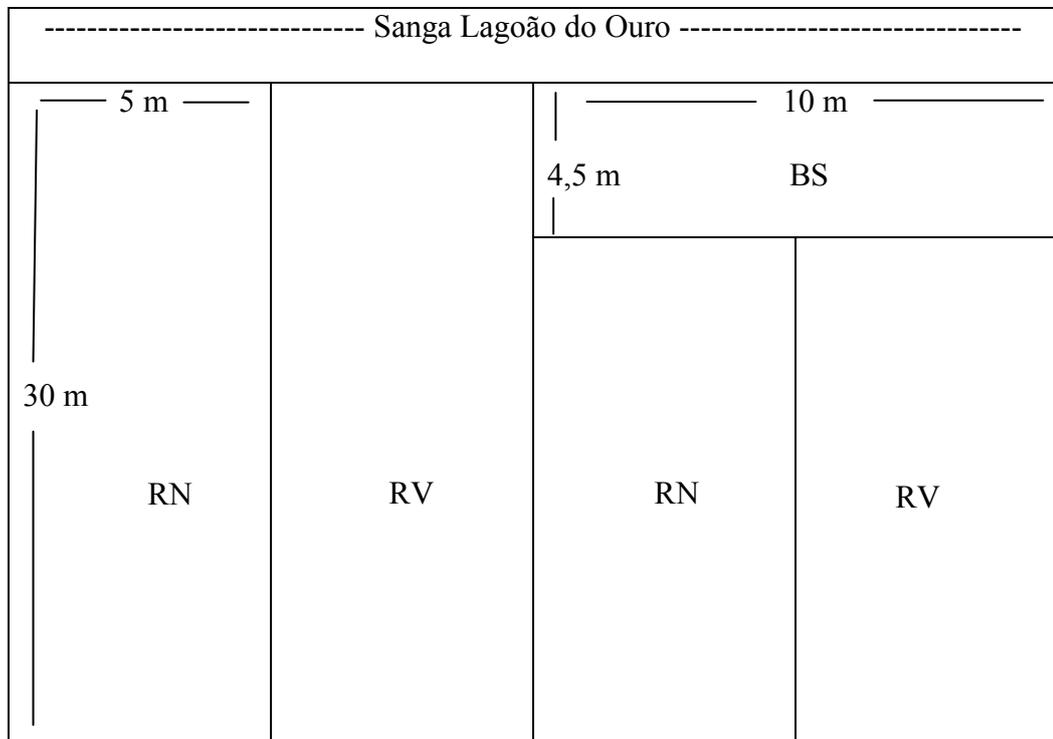
Como após a avaliação do ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, foram constatadas erosões marcantes nas margens e degradação da mata ciliar, indicando necessidade de medidas visando à recuperação, procedeu-se experimentos com técnicas de recuperação da vegetação ciliar e com obras de bioengenharia de solos junto à margem erodida. Os resultados deste experimento serão uma ferramenta útil na recuperação da mata ciliar da microbacia hidrográfica da qual faz parte a Sanga Lagoão do Ouro e também para outras microbacias com situações de degradação semelhantes.

Baseado nas informações obtidas no levantamento florístico, nas avaliações do banco de sementes, no grau de erosão das margens e nas análises de solo, foram avaliados, de forma experimental, dois métodos de recuperação: regeneração natural e revegetação com plantio de espécies de ocorrência natural, aliados ao uso de técnicas de bioengenharia de solos.

Após identificadas as espécies encontradas no levantamento florístico e no banco de sementes, foi realizada uma seleção de espécies potenciais para recuperação da mata ciliar, baseado na classificação sucessional das espécies e sua possível adaptação às características químicas e físicas do solo. Como a mata ciliar se encontrava muito degradada e as espécies remanescentes eram insuficientes para indicar uma possível recuperação, foram então usados

levantamentos florísticos realizados na região e entorno da microbacia hidrográfica que auxiliaram na escolha das espécies usadas no experimento de recuperação da mata ciliar. O experimento de recuperação foi instalado conforme esquema apresentado na Figura 2.

O experimento foi instalado ao longo da Sanga Lagoão do Ouro, em área pertencente à UFSM, no local onde foi demarcada a parcela amostral de número 06 (Figura 1). Conforme pode ser observado no croqui do experimento (Figura 2) foram instaladas parcelas com dimensões de 5 x 30 m nas quais se aplicou os métodos de recuperação de mata ciliar (regeneração natural e revegetação com espécies nativas). O plantio das mudas (adquiridas no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM) ocorreu nos dias 19 e 20 de setembro de 2009, em espaçamento 1,5 x 1,5 m, sendo que em cada parcela com revegetação foram plantadas 19 espécies com cinco repetições, distribuídas de forma sistemática (por meio de sorteio) de acordo com a ordem disposta na planilha de campo (Apêndice 8), totalizando 95 plantas por parcela. Junto às parcelas, foi usada a técnica de bioengenharia de solos conhecida como esteira viva aliada a uma parede-Krainer Simples (a obra de bioengenharia foi construída nos dias 29 e 30 de agosto de 2009).



**Figura 2** - Croqui do experimento de recuperação da mata ciliar.

**Onde:** RN: Regeneração Natural; RV: Revegetação com espécies nativas; BS: Bioengenharia de Solos.

As mudas das espécies nativas usadas no experimento de recuperação da mata ciliar possuíam tamanhos diferentes por ocasião do plantio, tanto na parte aérea (entre 20 e 40 cm), quanto radicular, já que foram produzidas em tubetes de tamanhos diferentes (de 50 e 120 cm<sup>3</sup>). O ideal teria sido utilizar somente mudas produzidas em um único tamanho de tubete, porém devido à carência de mudas de espécies nativas nos viveiros da região, isso resultaria em baixo número de espécies, optou-se então por maior diversidade em detrimento da desigualdade no tamanho de tubetes em que foram produzidas as mudas.

O plantio ocorreu em espaçamento 1,5 x 1,5 m, em covas abertas com picareta em dimensões aproximadas de 25 cm de diâmetro por 30 cm de profundidade. Optou-se por um espaçamento reduzido visado evitar o replantio em função de possíveis mortalidades. Após o plantio realizou-se tutoramento das mudas com estacas de bambu e coroamento sempre que necessário (foram realizadas três capinas de coroamento no período de um ano), reduzindo assim a matocompetição e permitindo o melhor crescimento e desenvolvimento das mudas. Realizou-se controle de formigas cortadeiras usando iscas granuladas (este controle fez-se necessário em três ocasiões no período de um ano). Decorridos seis meses do plantio foi realizada uma adubação em cobertura ao redor das mudas com esterco de frango (aproximadamente 300 g de esterco seco por planta).

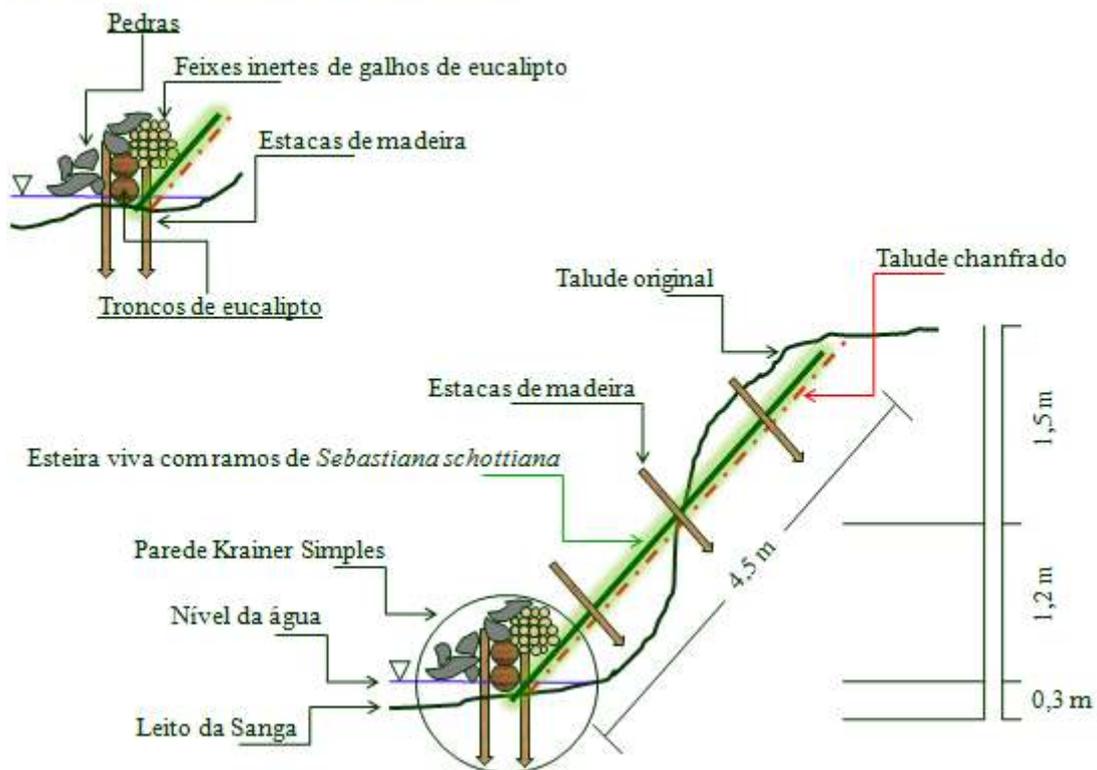
Para a construção da esteira viva cobriu-se todo o talude com ramos vivos que possuem capacidade de brotar (revegetar). Esta esteira foi construída logo acima da base (parede-Krainer simples), que é bem mais reforçada, construída com madeira (troncos), pedras e feixes inertes. Os ramos vivos mais eficientes para tais fins, segundo Sutili (2007), são das espécies *Phyllanthus sellowianus*, *Salix humboldtiana*, *Salix x rubens* e *Sebastiania schottiana*. No experimento em questão foi usada a espécie *Sebastiania schottiana* (Sarandi-vermelho), por sua maior disponibilidade junto aos cursos d'água da região. Os ramos foram obtidos junto à mata ciliar do Rio Vacacaí, no Distrito Passo do Verde, Santa Maria – RS.

Na Figura 3 pode-se observar detalhes da construção da obra de bioengenharia de solos com esteira viva e uma parede Krainer Simples usada para a proteção da base. A esteira viva foi construída com ramos de *Sebastiania schottiana*, estes possuíam comprimentos variados, alguns chegando a 4 m, os mesmos foram deitados sobre o talude chanfrado de modo a recobri-lo, foram usados aproximadamente 200 ramos para recobrir os 10 m de talude. Em seguida foi construída a parede Krainer, o que ajudou a fixar os ramos junto à base do talude, já que estes foram colocados com as pontas dentro da água, além disso, os ramos foram fixados ao longo do talude por varas de eucalipto amarradas com arame a estacas cravadas em três fileiras distanciadas a 1,2 m uma da outra, a distância entre estacas foi de 2,0

m, totalizando 18 estacas com aproximadamente 5 cm de diâmetro e 80 cm de comprimento cada (Apêndice 11). Após a fixação dos ramos junto ao talude os mesmos foram recobertos por solo visando o melhor enraizamento e brotação.

Na construção da parede Krainer (Figura 3) foram usados troncos de eucalipto provenientes de árvores cortadas próximas ao local do experimento. Usou-se troncos de 5 m de comprimento, primeiro cravou-se estacas de eucalipto (de 1,0 m de comprimento e diâmetro entre 8 e 10 cm) distanciadas 1,5 m entre si, num total de 14 estacas, visando fixar os troncos, entre estas foram colocados quatro troncos (com diâmetro entre 20 e 25 cm), ficando a base com 10 m de comprimento e com dois troncos sobrepostos. Sobre estes troncos foram colocadas pedras e feixes inertes feitos com galhos, também de eucalipto, amarrados com arame, estes feixes tinham diâmetro de aproximadamente 50 cm e comprimento em torno de 2,5 m, totalizando quatro feixes. A parede Krainer, além de proteger a base do talude na obra de bioengenharia de solos, serve para fixar os ramos da esteira viva dentro da água.

#### Detalhamento da parede Krainer Simples:



**Figura 3** – Detalhes da construção da obra de bioengenharia de solos com esteira viva e uma parede Krainer Simples para a proteção da base.

As avaliações realizadas nas parcelas com revegetação de espécies nativas foram altura, diâmetro do colo e a sintomática geral das mudas. A altura foi medida com régua de 50 cm (Apêndice 9A), da base do solo até o ápice da planta (considerando para tal a brotação mais recente). O diâmetro foi obtido com um paquímetro analógico (Apêndice 9B). Para fins de sintomática geral (Apêndice 10) considerou-se: para mudas com bom crescimento, folhas verdes e vistosas, entre outras características de boa aparência deu-se a denominação de bom (nota 2), para as mudas com menor crescimento, folhas amareladas e secas foi dada a denominação de regular (nota 1), mudas mortas (nota 0) e mudas com problemas como folhas comidas por insetos, queimadas pelo sol, pela geada, atacadas por formigas ou mesmo mudas sem folhas e/ou brotos, mas que não estavam mortas denominou-se de ocorrências, as quais foram registradas para posterior quantificação.

Para avaliar as parcelas sem revegetação observou-se apenas a regeneração natural (quais espécies e número de indivíduos). Estas avaliações foram realizadas nos mesmos dias em que se avaliaram as parcelas com revegetação de espécies nativas, ou seja, 23/10/2009, 17/12/2009, 30/01/2010, 17/03/2010, 08/05/2010, 16/07/2010 e 26/09/2010.

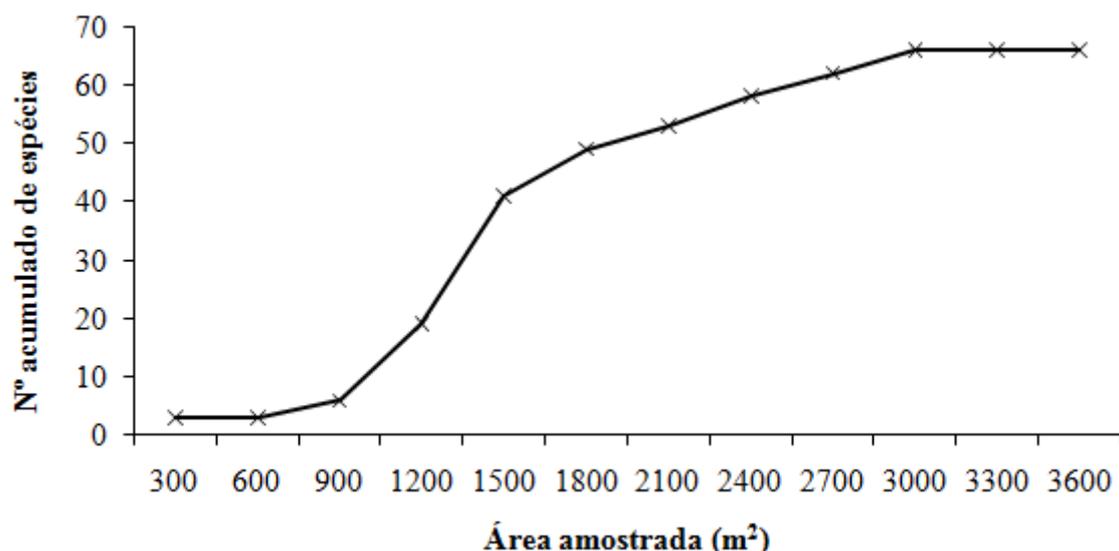
Na avaliação da obra de bioengenharia de solos (detalhes da construção no Apêndice 11), além de observações como: resistência a grandes volumes de água, cobertura do solo proporcionada pelas brotações de *Sebastiania schottiana* (Sarandi-vermelho), controle da erosão do solo no talude às margens da sanga (através de sua ocorrência ou não), avaliou-se o número de brotos  $m^{-2}$  (esta avaliação ocorreu em seis  $m^2$ , sendo cada  $m^2$  uma repetição), do total de brotos  $m^{-2}$ , mediu-se a altura e diâmetro de 15 brotos, totalizando 90 brotos/avaliação. Esta avaliação ocorreu de forma sistemática, sendo avaliados os 15 primeiros brotos da esquerda para a direita e de baixo para cima em cada  $m^2$  demarcado.

Para fins de análise dos dados, considerou-se a média de todas as repetições nos parâmetros avaliados, tanto nas parcelas com revegetação com espécies nativas, como na obra de bioengenharia de solos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Levantamento florístico da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro

Na Figura 4, que apresenta o número de espécies acumuladas por área amostrada da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, pode-se observar que o incremento do número de espécies acumuladas foi pouco significativo nas três primeiras parcelas, devendo-se ao fato destas se localizarem em área urbana, o que levou a degradação da mata ciliar, restando poucos exemplares arbóreos. O meio urbano, por seus impactos mais acentuados sobre os recursos naturais causa, geralmente, degradação de ordem e importância maior e mais intensa se comparado com o meio rural. Em se tratando de urbanização em áreas que margeiam cursos d'água e que são áreas de preservação permanente, estes impactos acabam tomando proporções ainda maiores e muitas vezes de difícil remediação, pois além da vegetação nativa destruída acabam degradando o solo e a água.

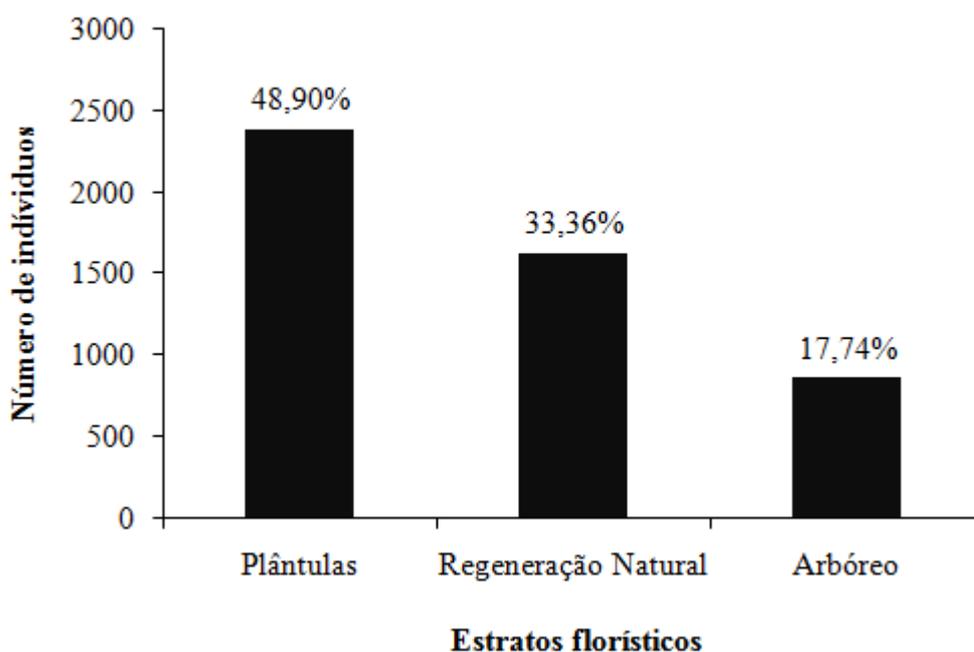


**Figura 4** – Número acumulado de espécies por área amostrada da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Um aumento significativo do número acumulado de espécies foi observado da parcela quatro a seis, seguido de um incremento menor até a décima parcela (3000 m<sup>2</sup> amostrais), a partir da qual houve uma estabilização, indicando que a composição florística da área estudada foi bem amostrada através das 12 parcelas utilizadas na avaliação.

Nos trabalhos realizados por Longhi et al. (2000), Nascimento et al. (2001) e Longhi et al. (2002a), em fragmentos de Floresta Estacional Decidual, a curva espécie/área teve uma estabilização a partir de 1600 m<sup>2</sup>, 1400 m<sup>2</sup> e 1100 m<sup>2</sup> respectivamente, diferindo deste trabalho (3000 m<sup>2</sup>), que pode ser explicado pelo maior número de espécies encontradas e pela maior área geográfica representada e, principalmente, pela quase inexistência de espécies nas três primeiras parcelas avaliadas que somam juntas 900 m<sup>2</sup>, reduzindo esta área, pode-se dizer que a curva espécie/área do presente estudo estabilizou em 2100 m<sup>2</sup>.

O levantamento para identificação da composição florística, nos diferentes estratos, das espécies florestais que ocorrem na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro encontra-se na Tabela 1. Foram observados 4877 indivíduos nas 12 parcelas avaliadas (3600 m<sup>2</sup>), sendo que destes, 17,74% encontram-se no estrato arbóreo, 33,36% no estrato da regeneração natural e 48,90% no estrato de plântulas (Figura 5). Esta distribuição nos estratos é normal para vegetação arbórea natural, em forma de “J invertido”, com maior número de indivíduos nos estratos inferiores diminuindo para os estratos superiores de forma balanceada.



**Figura 5** - Número de indivíduos amostrados na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS, com respectivas porcentagens nos diferentes estratos florísticos.

**Tabela 1** - Espécies encontradas no levantamento florístico (estratos arbóreo, regeneração natural e plântulas) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

Família	Nome Popular	Nome Científico	Arbó	R.Nat	Plânt	N	FA	FR	DA	DR
Anacardiaceae	Aroeira-vermelha	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	9	22	33	64	50,00	3,14	177,78	1,31
	Aroeira-de-espinho	<i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera	3	-	-	3	16,67	1,05	8,33	0,06
Annonaceae	Araticum-salso	<i>Annona neosalicifolia</i> H. Rainer	14	10	2	26	8,33	0,52	72,22	0,53
Aquifoliaceae	Caúna	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	1	-	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Arecaceae	Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	3	2	6	11	16,67	1,05	30,56	0,23
Asteraceae	Vassourão	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	22	39	33	94	33,33	2,09	261,11	1,93
Bignoniaceae	Caroba-louca	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	1	2	-	3	16,67	1,05	8,33	0,06
	Ipê-amarelo	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A.DC.) Mattos	1	-	3	4	16,67	1,05	11,11	0,08
Escalloniaceae	Canudo-de-pito	<i>Escallonia bifida</i> Link & Otto	1	3	-	4	8,33	0,52	11,11	0,08
Euphorbiaceae	Branquilho	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B.Sm. & Downs	5	13	1	19	16,67	1,05	52,78	0,39
	Laranjeira-do-mato	<i>Gymnanthes concolor</i> Spreng.	-	3	-	3	16,67	1,05	8,33	0,06
	Mamona	<i>Ricinus communis</i> L.	5	2	1	8	25,00	1,57	22,22	0,16
	Pau-leiteiro	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	17	17	1	35	33,33	2,09	97,22	0,72
	Tanheiro	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	1	1	-	2	8,33	0,52	5,56	0,04
	Fabaceae	Angico-branco	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	-	1	-	1	8,33	0,52	2,78
Angico-vermelho		<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	1	-	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Canafístula		<i>Pelthophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	1	1	-	2	16,67	1,05	5,56	0,04
Chuva-de-ouro		<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	8	6	6	20	16,67	1,05	55,56	0,41
Maricá		<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	68	8	-	76	25,00	1,57	211,11	1,56
Timbaúva		<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	1	-	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Lamiaceae	Tarumã	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	-	-	1	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Lauraceae	Canela-branca	<i>Ocotea acutifolia</i> (Nees) Mez	4	-	3	7	25,00	1,57	19,44	0,14
	Canela-amarela	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	-	13	17	30	16,67	1,05	83,33	0,62
	Canela-doce	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume	1	12	20	33	16,67	1,05	91,67	0,68
	Canela-guaicá	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	17	34	33	84	41,67	2,62	233,33	1,72
	Canela-lageana	<i>Ocotea pulchella</i> (Nees) Mez	2	5	2	9	8,33	0,52	25,00	0,18
	Canela-preta	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	-	8	15	23	16,67	1,05	63,89	0,47
Malvaceae	Chá-de-bugre	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	131	98	30	259	50,00	3,14	719,44	5,31
	Sucará	<i>Xylosma tweediana</i> (Clos.) Eichler	1	-	4	5	16,67	1,05	13,89	0,10
Melastomataceae	Quaresmeira	<i>Miconia cinerascens</i> Miq.	4	2	-	6	8,33	0,52	16,67	0,12
	Quaresmeira-do-mato	<i>Leandra</i> sp.	-	324	409	733	25,00	1,57	2036,11	15,03
Meliaceae	Catiguá-de-ervilha	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	3	13	3	19	8,33	0,52	52,78	0,39
	Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	-	1	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
	Cinamomo	<i>Melia azedarach</i> L.	1	-	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Moraceae	Amoreira	<i>Morus nigra</i> L.	2	6	2	10	25,00	1,57	27,78	0,21

Tabela 1 – continuação...

Família	Nome Popular	Nome Científico	Arbó	R.Nat	Plânt	N	FA	FR	DA	DR
Myrsinaceae	Capororocão	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	24	30	39	93	41,67	2,62	258,33	1,91
Myrtaceae	Araçá-vermelho	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	6	33	52	91	25,00	1,57	252,78	1,87
	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	20	3	1	24	16,67	1,05	66,67	0,49
	Goiabeira	<i>Psidium guajava</i> L.	6	14	12	32	66,67	4,19	88,89	0,66
	Guabi-roba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	-	1	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
	Pitangueira	<i>Eugenia uniflora</i> L.	84	363	241	688	83,33	5,24	1911,11	14,11
Oleaceae	Ligustro	<i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton	10	45	55	110	25,00	1,57	305,56	2,26
Phytolaccaceae	Umbu	<i>Phytolacca dioica</i> L.	1	1	2	4	8,33	0,52	11,11	0,08
Pinaceae	Pinus	<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	44	22	17	83	25,00	1,57	230,56	1,70
Pittosporaceae	Pau-incenso	<i>Pittosporum undulatum</i> Vent.	19	17	42	78	25,00	1,57	216,67	1,60
Podocarpaceae	Pinheiro-bravo	<i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.	3	3	66	72	16,67	1,05	200,00	1,48
Rhamnaceae	Coronilha	<i>Scutia buxifolia</i> Reissek	2	3	1	6	8,33	0,52	16,67	0,12
	Uva-do-japão	<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	3	1	1	5	33,33	2,09	13,89	0,10
Rosaceae	Peixeira	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	-	-	4	4	16,67	1,05	11,11	0,08
	Pesegueiro-do-mato	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	161	158	997	1316	58,33	3,66	3655,56	26,98
Rubiaceae	Veludinho	<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. et Schltdl.	17	3	7	27	16,67	1,05	75,00	0,55
Rutaceae	Bergamoteira	<i>Citrus</i> sp.	-	6	4	10	25,00	1,57	27,78	0,21
	Canela-de-veado	<i>Helietta apiculata</i> Benth.	2	9	1	12	16,67	1,05	33,33	0,25
	Limoeiro	<i>Citrus</i> sp.	5	6	-	11	33,33	2,09	30,56	0,23
	Mamica-de-cadela	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	28	27	23	78	58,33	3,66	216,67	1,60
Salicaceae	Salso	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	1	-	-	1	8,33	0,52	2,78	0,02
Sapindaceae	Camboatá-branco	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	13	25	10	48	41,67	2,62	133,33	0,98
	Camboatá-vermelho	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	6	28	58	92	50,00	3,14	255,56	1,89
	Chal-chal	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. <i>et al.</i> ) Hieron. ex Niederl.	28	52	50	130	66,67	4,19	361,11	2,67
Sapotaceae	Aguai-da-serra	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	-	2	4	6	8,33	0,52	16,67	0,12
Solanaceae	Baleteiro	<i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav.	28	90	49	167	58,33	3,66	463,89	3,42
	Fumo-bravo	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	5	9	5	19	41,67	2,62	52,78	0,39
Symplocaceae	Sete-sangrias	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	2	4	4	10	16,67	1,05	27,78	0,21
	Sete-sangrias	<i>Symplocos tetrandra</i> (Mart.) Miq.	8	3	1	12	8,33	0,52	33,33	0,25
Thymelaeaceae	Embira	<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	7	17	13	37	16,67	1,05	102,78	0,76
Verbenaceae	Cidrozinho	<i>Aloysia gratissima</i> (Gilles & Hook.) Tronc.	4	6	1	11	25,00	1,57	30,56	0,23
<b>Total</b>			<b>865</b>	<b>1627</b>	<b>2385</b>	<b>4877</b>	<b>1591,67</b>	<b>100</b>	<b>13547,22</b>	<b>100</b>

**Onde:** Arbó (estrato arbóreo); R.Nat (estrato regeneração natural); Plânt (estrato plântulas); N (número de indivíduos); FA (frequência absoluta em %); FR (frequência relativa em %); DA (densidade absoluta em número de indivíduos ha<sup>-1</sup>); DR (densidade relativa em %).

Foram observadas 66 espécies no total do levantamento florístico, distribuídos em 34 famílias botânicas e 59 gêneros (Tabela 1). Destas, apenas 39 foram encontradas nos três estratos, sendo que no estrato de plântulas estavam presentes 49 espécies, no estrato de regeneração natural 55 e no estrato arbóreo também 55.

As famílias com maior número de espécies foram Fabaceae com seis (9,09%), Lauraceae também com seis (9,09%), Myrtaceae e Euphorbiaceae com cinco (7,58%) cada uma, Rutaceae com quatro (6,06%) e Sapindaceae e Meliaceae com três (4,54%) cada uma.

As famílias que apresentaram maior número de indivíduos foram Rosaceae com 1320 (27,06%), Myrtaceae com 836 (17,14%), Melastomataceae com 739 (15,15%), Sapindaceae com 270 (5,54%), Malvaceae com 264 (5,41%), Lauraceae e Solanaceae com 186 (3,81%) cada uma e Rutaceae com 111 (2,28%). Essas famílias juntas representam 80,20% do número total de indivíduos amostrados e estão sempre presentes na maioria dos ecossistemas ripários do Rio Grande do Sul com uma boa representatividade de espécies e abundância de indivíduos. Os resultados observados neste trabalho corroboram com os da literatura (NASCIMENTO, 2001; JARENKOW e WEACHTER, 2001; LONGHI et al., 2002a; ARAÚJO et al., 2004) para o mesmo tipo florestal (Floresta Estacional Decidual).

Os resultados observados por Longhi et al. (2002b) em um estudo fitossociológico de um trecho da mata ciliar do arroio Vacacaí-mirim em Santa Maria - RS, assemelham-se com os deste trabalho, pois as famílias Myrtaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae e Sapindaceae foram as mais ricas em espécies. Os mesmos autores salientam que a família Myrtaceae ficou em segundo lugar em termos de densidade, embora tenha apresentado maior número de espécies. Os dados de frequência e densidade também assemelham-se para a maioria das espécies do presente estudo.

Foi observada a presença de várias espécies exóticas, sendo as mais significantes *Pinus elliottii*, *Eucalyptus* sp., *Ligustrum lucidum*, *Hovenia dulcis*, *Morus nigra*, *Citrus* sp., *Eriobotrya japonica* e *Melia azedarach*. Para Ziller (2001), o processo de invasão de um ecossistema por uma planta exótica, ou a contaminação biológica, ocorre quando qualquer espécie não natural é introduzida nele e se naturaliza, passando a se dispersar e a alterar esse ecossistema. A invasão por plantas exóticas afeta o funcionamento natural do ecossistema e tira espaço das plantas nativas.

As espécies *Parapiptadenia rigida*, *Schinus polygamus*, *Ilex dumosa*, *Salix humboldtiana* e *Enterolobium contortisiliquum* foram encontradas apenas no estrato arbóreo e com poucos exemplares. Estas espécies, provavelmente, estão sofrendo alguma perturbação que as impede de regenerar-se, ou não estão em seu ambiente ideal. *Chrysophyllum*

*gonocarpum*, *Albizia niopoides*, *Nectandra lanceolata*, *Nectandra megapotamica*, *Cedrela fissilis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Gymnanthes concolor* e *Vitex megapotamica* foram encontradas somente nos estratos inferiores. Exemplares adultos destas espécies podem estar além da mata ciliar e suas sementes terem sido transportadas até o local e/ou os exemplares do estrato arbóreo terem sido retirados anteriormente ao levantamento florístico.

O índice de diversidade de Shannon encontrado foi de 2,77, considerando inclusive as exóticas que somam 14 espécies (21,21% do total de espécies), desconsiderando estas espécies o índice de diversidade de Shannon cai para 2,46, estando este valor coerente com o exposto por Vaccaro (1997), que descreveu que o valor desse índice normalmente fica entre 1,5 e 3,5.

As espécies *Eugenia uniflora*, *Psidium guajava*, *Allophylus edulis*, *Cestrum strigilatum*, *Prunus myrtifolia*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Schinus terebinthifolius*, *Cupania vernalis*, e *Casearia sylvestris* são as que apresentaram maior frequência, ou seja, as que estavam presentes em maior número de parcelas e, portanto, melhor distribuídas na área, sendo a *Eugenia uniflora* a espécie de maior frequência (83,33%). Estas espécies são as mais comumente encontradas em ecossistemas ciliares e são as de maior importância ecológica neste tipo de ecossistema. Além disso, todas elas ocorreram nos três estratos amostrados, mostrando possuir potencial de regeneração natural.

Araújo et al. (2004) salientam a alta frequência com que a espécie *Eugenia uniflora* é encontrada na vegetação ciliar no sul do Brasil. Reitz et al. (1983) descrevem a espécie como própria para reflorestamento de margens de rios, em razão de suas raízes pivotantes, que atuam contra a erosão, além de seus frutos serem atrativo para a fauna dispersora, o que facilita a regeneração natural.

As espécies que apresentaram maior densidade foram *Prunus myrtifolia* com 3655,56 indivíduos ha<sup>-1</sup>, o que representa uma densidade relativa de 26,98% do total de indivíduos observados na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, seguido pela *Eugenia uniflora* com 1911,11 indivíduos ha<sup>-1</sup> (14,11% de densidade relativa), *Casearia sylvestris*, *Cestrum strigilatum*, *Allophylus edulis*, *Cupania vernalis* entre outras. As espécies com maior densidade estão, também, entre as que apresentam maior frequência.

Para Alvarenga (2004), a composição florística das matas ciliares depende de vários fatores, dentre os quais a proximidade de outras formações e as características do curso d'água, tais como: topografia das margens, regime de inundação, processos de sedimentação, flutuação do lençol freático, tipos de solo e condições mesoclimáticas. De acordo com Martins (2001), as matas ciliares apresentam uma heterogeneidade florística elevada por

ocuparem diferentes ambientes ao longo das margens dos rios. A grande variação de fatores ecológicos nas margens dos cursos d'água resulta em uma vegetação arbustiva e arbórea adaptada a tais condições.

Avaliar a composição florística e o número de indivíduos de cada espécie presente, bem como, a presença e número de espécies exóticas, permite inferir sobre a degradação de um ecossistema ciliar. Pelos dados obtidos no levantamento florístico, observa-se que há perturbação na composição ciliar ocasionada, provavelmente, pela ação antrópica, através do conflito de uso das áreas que margeiam a Sanga Lagoão do Ouro. Entre estes conflitos de uso destacam-se a urbanização, a agricultura e a pecuária. Como os ecossistemas ciliares são áreas de preservação permanente, nenhum dos usos listados deve ser dado a estas áreas, pois interferem na dinâmica e função das mesmas, podendo levar a sua degradação, fazendo-se necessárias medidas mitigadoras e/ou de recuperação.

Atualmente, têm sido realizados muitos estudos sobre a recuperação de áreas degradadas (ALVARENGA, 2004). Kageyama et al. (1989) já ressaltava que para o restabelecimento da vegetação deve-se considerar a composição florística. De acordo com Van Den Berg e Oliveira Filho (2000), para embasar qualquer iniciativa de proteger, enriquecer ou recuperar a vegetação florestal é necessário realizar estudos sobre a composição florística e ecológica das comunidades arbóreas remanescentes em cada região ou área específica, exatamente como foi feito no presente estudo.

De acordo com Werneck et al. (2000), o conhecimento da composição florística e da ecologia das comunidades vegetais é fundamental para o desenvolvimento de modelos de recuperação de áreas degradadas, pois facilita a escolha das espécies a serem usadas na revegetação. Foi com este intuito que se realizou o levantamento da composição florística remanescente da Sanga lagoão do Ouro.

Segundo Carvalho (2000), para uma recuperação efetiva da mata ciliar deve-se observar características ecológicas como: escolher preferencialmente as espécies vegetais de ocorrência regional e que ocorram em locais com as mesmas características da área a ser recuperada; levar em consideração os processos de sucessão natural; avaliar o banco de sementes do solo (principalmente para as espécies pioneiras); avaliar espécies que não permitam ou dificultam o estabelecimento de processo sucessional, etc.

Para Martins (2001), o estudo da regeneração natural das florestas ciliares é de grande importância devido ao papel que estes ecossistemas desempenham para as comunidades, direta ou indiretamente, a eles vinculados. Este autor também evidencia que a regeneração natural é essencial, para assegurar que as matas ciliares desempenhem suas funções, pois é a reposição natural das espécies e o surgimento de outras, conforme o nível de desenvolvimento dos estágios sucessionais, que vão garantir o equilíbrio e a perpetuação dos ecossistemas.

Segundo o mesmo autor, a quantificação da regeneração natural, quando associada com a classificação sucessional, compõe um indicador extremamente útil das condições de recuperação e de sustentabilidade da floresta ciliar. Quando na regeneração natural, no interior da floresta, espécies típicas dos estágios iniciais de sucessão (pioneiras e secundárias iniciais) predominam em número de espécies e/ou de indivíduos. Como é o caso do presente estudo, percebe-se indicativo de que a sucessão está abaixo do desejado na área e que as espécies tardias não estão conseguindo chegar até o local ou, embora estejam chegando, por algum motivo não estão conseguindo se estabelecer. Neste caso é necessário algum tipo de intervenção antrópica.

## 4.2 Avaliação do banco de sementes do solo da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro

Para melhor avaliar os possíveis distúrbios ou degradação que possam estar ocorrendo na mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, avaliou-se o banco de sementes do solo. Considerando que as diferentes espécies arbóreas produzem sementes em épocas distintas do ano e que a viabilidade destas nem sempre é muito grande, esta avaliação foi realizada em duas épocas (na transição outono/inverno e na transição primavera/verão), sendo os dados apresentados nas Tabelas 2 e 3.

O banco de sementes, em determinada área, apresenta variações espaciais tanto no sentido horizontal como no vertical, ou seja, ele varia entre locais dentro de uma mesma área e também se modifica em relação à profundidade do solo. Quanto a distribuição das sementes no perfil do solo, os trabalhos evidenciam que ocorre uma queda acentuada na quantidade de sementes, com o aumento da profundidade, sendo que a maior parte das sementes se encontram nos 5 cm superficiais (ALVARENGA, 2004 citando ROIZMAN, 1993; BAIDER et al., 1999 e MARTINS, 2001). Na coleta de material para avaliação do banco de sementes do presente estudo coletou-se solo até 5 cm de profundidade, o que segundo a bibliografia já citada abrange a maior parte das sementes.

Foram obtidos índices de diversidade de Shannon de 2,30 e 2,03 para o banco de sementes das épocas de coleta transição outono/inverno e primavera/verão, respectivamente. Se comparado com o índice de diversidade do levantamento florístico realizado na área, que foi de 2,77, percebe-se que os índices do banco de sementes são inferiores, isso por estes apresentarem praticamente só espécies pioneiras e secundárias iniciais e em menor número. Longhi et al., (2005), estudando o banco de sementes do solo em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual obteve índices de diversidade de 1,43, 1,36 e 1,87 para capoeirão, floresta secundária e floresta madura, respectivamente.

**Tabela 2** - Espécies florestais encontradas no banco de sementes do solo (época de coleta outono/inverno) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

Família	Nome Popular	Nome Científico	N	FA	FR	DA	DR
Anacardiaceae	Aroeira-vermelha	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	2	16,67	2,67	13333,33	0,41
	Aroeira-de-espinho	<i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera	5	8,33	1,33	33333,33	1,02
Asteraceae	Vassourão	<i>Baccharis draculculifolia</i> DC.	82	75,00	12,00	546666,67	16,73
Euphorbiaceae	Pau-leiteiro	<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.	25	33,33	5,33	166666,67	5,10
	Mamona	<i>Ricinus communis</i> L.	10	25,00	4,00	66666,67	2,04
Fabaceae	Chuva-de-ouro	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	11	16,67	2,67	73333,33	2,24
	Maricá	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	24	16,67	2,67	160000,00	4,90
Lauraceae	Canela-do-brejo	<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	1	8,33	1,33	6666,67	0,20
	Canela-guaicá	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	5	8,33	1,33	33333,33	1,02
Melastomatacea	Quaresmeira	<i>Miconia cinerascens</i> Miq.	19	41,67	6,67	126666,67	3,88
	Quaresmeira-do-mato	<i>Leandra</i> sp.	183	58,33	9,33	1220000,00	37,35
Meliaceae	Cinamomo	<i>Melia azedarach</i> L.	8	33,33	5,33	53333,33	1,63
Moraceae	Amoreira	<i>Morus nigra</i> L.	4	8,33	1,33	26666,67	0,82
	Figueira	<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	2	8,33	1,33	13333,33	0,41
Myrsinaceae	Capororocão	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	13	33,33	5,33	86666,67	2,65
Myrtaceae	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	9	33,33	5,33	60000,00	1,84
	Pitangueira	<i>Eugenia uniflora</i> L.	2	16,67	2,67	13333,33	0,41
Oleaceae	Ligustro	<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton	2	8,33	1,33	13333,33	0,41
Phytolaccaceae	Umbú	<i>Phytolacca dioica</i> L.	8	8,33	1,33	53333,33	1,63
Pinaceae	Pinus	<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	5	25,00	4,00	33333,33	1,02
Rosaceae	Pessegueiro-do-mato	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	5	33,33	5,33	33333,33	1,02
Rutaceae	Mamica-de-cadela	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	30	33,33	5,33	200000,00	6,12
Sapindaceae	Chal-chal	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	1	8,33	1,33	6666,67	0,20
Solanaceae	Baleteiro	<i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav.	14	25,00	4,00	93333,33	2,86
	Fumo-bravo	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	20	41,67	6,67	133333,33	4,08
<b>Total</b>			<b>490</b>	<b>625</b>	<b>100</b>	<b>3266667,00</b>	<b>100</b>

**Onde:** N (número de indivíduos); FA (frequência absoluta em %); FR (frequência relativa em %); DA (densidade absoluta em número de indivíduos ha<sup>-1</sup>); DR (densidade relativa em %).

**Tabela 3** - Espécies florestais encontradas no banco de sementes do solo (época de coleta primavera/verão) realizado na Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

<b>Família</b>	<b>Nome Popular</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>N</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>
Asteraceae	Vassourão	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	42	83,33	13,89	280000,00	5,12
Caricaceae	Figo-do-mato	<i>Carica quercifolia</i> (A. St.-Hil.) Hieron.	2	16,67	2,78	13333,33	0,24
Euphorbiaceae	Pau-leiteiro	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	11	16,67	2,78	73333,33	1,34
	Mamona	<i>Ricinus communis</i> L.	3	8,33	1,39	20000,00	0,37
Fabaceae	Chuva-de-ouro	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	36	33,33	5,56	240000,00	4,38
	Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	1	8,33	1,39	6666,67	0,12
	Maricá	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	351	25,00	4,17	2340000,00	42,75
Lauraceae	Canela-guaicá	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	1	8,33	1,39	6666,67	0,12
Malvaceae	Chá-de-bugre	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	8	25,00	4,17	53333,33	0,97
Melastomataceae	Quaresmeira	<i>Miconia cinerascens</i> Miq.	3	16,67	2,78	20000,00	0,37
	Quaresmeira-do-mato	<i>Leandra</i> sp.	56	50,00	8,33	373333,33	6,82
Meliaceae	Cinamomo	<i>Melia azedarach</i> L.	4	16,67	2,78	26666,67	0,49
Moraceae	Amoreira	<i>Morus nigra</i> L.	5	16,67	2,78	33333,33	0,61
Myrsinaceae	Capororocão	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	34	25,00	4,17	226666,67	4,14
Myrtaceae	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.	9	25,00	4,17	60000,00	1,10
	Pitangueira	<i>Eugenia uniflora</i> L.	31	50,00	8,33	206666,67	3,78
Oleaceae	Ligustro	<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	21	25,00	4,17	140000,00	2,56
Phytolaccaceae	Umbú	<i>Phytolacca dioica</i> L.	4	8,33	1,39	26666,67	0,49
Rosaceae	Pessegueiro-do-mato	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	4	16,67	2,78	26666,67	0,49
Rutaceae	Mamica-de-cadela	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	154	33,33	5,56	1026666,67	18,76
Sapindaceae	Chal-chal	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	5	16,67	2,78	33333,33	0,61
Solanaceae	Baleteiro	<i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav.	17	41,67	6,94	113333,33	2,07
	Fumo-bravo	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	19	33,33	5,56	126666,67	2,31
<b>Total</b>			<b>821</b>	<b>600</b>	<b>100</b>	<b>5473333,33</b>	<b>100</b>

**Onde:** (número de indivíduos); FA (frequência absoluta em %); FR (frequência relativa em %); DA (densidade absoluta em número de indivíduos ha<sup>-1</sup>); DR (densidade relativa em %).

O banco de sementes do solo da época de coleta outono/inverno (Tabela 2) apresentou um total de 490 indivíduos, sendo estes distribuídos em 25 espécies, 24 gêneros e 19 famílias botânicas. As famílias mais representativas foram: Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Melastomatacea, Moraceae, Myrtaceae e Solanaceae, com duas espécies cada. As espécies com maior frequência foram: *Baccharis draculculifolia*, *Miconia cinerascens*, *Leandra* sp., *Solanum mauritianum*. As espécies *Leandra* sp. e *Baccharis draculculifolia* foram as espécies com maior densidade, sendo que juntas representam 54,08% do total de indivíduos encontrados no banco de sementes do solo na coleta da transição outono/inverno.

No banco de sementes do solo da época de coleta primavera/verão (Tabela 3) obteve-se um total de 821 indivíduos distribuídos em 23 espécies e gêneros e 18 famílias botânicas. O número relativamente maior de indivíduos desta época de coleta deve-se ao grande número de indivíduos da espécie *Mimosa bimucronata*. As famílias mais representativas foram: Fabaceae com três espécies, Euphorbiaceae, Melastomatacea, Myrtaceae, Solanaceae, com duas espécies cada. As espécies com maior frequência foram: *Baccharis draculculifolia*, *Leandra* sp., *Eugenia uniflora*, *Cestrum strigillatum*. As espécies *Mimosa bimucronata* e *Zanthoxylum rhoifolium* foram as espécies com maior densidade, sendo que juntas representam 61,51% do total de indivíduos encontrados no banco de sementes do solo na coleta da transição primavera/verão.

A espécie *Baccharis draculculifolia* apresentou maior frequência nas duas épocas de coleta e foi uma das espécies com maior densidade na coleta realizada na transição outono/inverno, esta espécie por ser de capoeira, ou seja, a primeira vegetação que se estabelece no processo de sucessão florestal após distúrbios em uma área, geralmente é observada nestas condições.

Observou-se que a maioria das espécies encontradas no banco de sementes são de capoeira ou estágio inicial de regeneração (*Baccharis draculculifolia*, *Carica quercifolia*, *Ricinus communis*, *Miconia cinerascens*, *Leandra* sp., *Solanum mauritianum*), pioneiras e secundárias iniciais. Observou-se também, assim como no levantamento florístico, grande número de espécies exóticas, evidenciando a degradação do ecossistema ciliar, no banco de sementes da época de coleta outono/inverno, das 25 espécies sete são exóticas (28%) e da época de coleta primavera/verão, das 23 espécies seis são exóticas (26,09%).

Segundo Longhi et al. (2005), os mecanismos de regeneração que predominam nas fases sucessionais de Capoeirão e Floresta Secundária, ou seja, que sofreram perturbações anteriores, são os compostos por espécies pioneiras e secundárias iniciais, indicando forte presença de banco de sementes persistente nessas áreas. Este resultado vem ao encontro aos obtidos no presente estudo para as duas épocas de coleta. Ainda, segundo os mesmo autores, no decorrer da sucessão florestal, ocorre a diminuição gradativa da presença de espécies pioneiras e secundárias iniciais e o aumento da participação de secundárias tardias e de sub-bosque no banco de sementes. Porém, isso não indica o fim do banco de espécies pioneiras, que ainda permanece na dinâmica dos estágios sucessionais mais avançados, o que deve auxiliar na recuperação destas áreas.

De uma maneira geral, comparando o levantamento florístico com a avaliação do banco de sementes do solo, em qualquer época de avaliação, percebe-se uma considerável diferença no número de espécies encontradas, sendo que no levantamento florístico foram encontradas 66 espécies e no banco de sementes 25 e 23 para a época transição outono/inverno e primavera/verão, respectivamente. Prováveis causas para esse comportamento podem ser: a não produção de sementes dos exemplares arbóreos encontrados no levantamento florístico durante o período de amostragem e avaliação do banco de sementes; a baixa viabilidade no solo das sementes de algumas espécies; a dormência das sementes de algumas espécies; a não contemplação na amostragem e coleta do material usado para a avaliação (cabe ressaltar que muitas espécies arbóreas estavam presentes apenas com um ou poucos exemplares no levantamento florístico); a predação por pássaros e/ou outros animais; a inviabilização por microrganismos decompositores do solo (fungos e bactérias); o grande número de indivíduos de espécies herbáceas invasoras e/ou espontâneas, que geralmente estão presentes no banco de sementes do solo de áreas perturbadas ou degradadas; a compactação do solo, etc.

Siqueira (2002), estudando o banco de sementes do solo, concluiu que existe um estoque de sementes bastante reduzido com relação às espécies arbóreas, havendo um predomínio de espécies herbáceas invasoras, o que determina a baixa similaridade encontrada entre a flora do banco de sementes e as espécies estabelecidas no dossel. No presente estudo foram encontradas mais de 150 espécies herbáceas invasoras e/ou espontâneas presentes no banco de sementes do solo (Apêndice 12). Estas espécies podem interferir ou até mesmo inibir o estabelecimento de processos sucessionais em ecossistemas.

Em alguns casos, a ocorrência de espécies invasoras, principalmente gramíneas exóticas, pode inibir a regeneração natural das espécies arbóreas, mesmo que estejam presentes no banco de sementes ou que cheguem à área, via dispersão. Nestas situações, é recomendada uma intervenção no sentido de controlar as populações de invasoras agressivas e estimular a regeneração natural (MARTINS, 2001).

Para Ziller (2001), as espécies invasoras são aquelas que têm a capacidade de competir e, frequentemente, substituir outras espécies nos seus habitats naturais, adaptando-se aos novos ambientes, distribuindo-se rapidamente e passando a interferir no desenvolvimento natural das comunidades invadidas.

Os ambientes degradados são os locais preferencialmente colonizados pelas espécies invasoras, evitando que a sucessão secundária possa recriar novas condições ecológicas propícias para a colonização das espécies ameaçadas pela fragmentação. A partir dessas áreas, as espécies contaminantes podem invadir inclusive ecossistemas preservados (ESPÍNDOLA et al., 2005).

A grande maioria dos estudos desenvolvidos destaca que o banco de sementes se compõe, principalmente, de sementes de espécies pioneiras, de gramíneas, cipós, arbustos e árvores, ou seja, aquelas espécies características dos estágios iniciais da sucessão, cujas plântulas e arvoretas não sobrevivem fora de áreas abertas (BAIDER et al., 1999). A dormência e grande longevidade da maioria das sementes das espécies pioneiras são as causas da sua capacidade de formar estoques no banco de sementes.

Vários estudos sugerem que a densidade e diversidade de sementes armazenadas no solo possam fornecer indicações sobre a resiliência de uma determinada área, uma vez que a germinação das sementes presentes no banco é uma das fontes de entrada dos indivíduos na comunidade (ALVARENGA et al., 2006).

Para a coleta realizada na transição outono/inverno, das 25 espécies encontradas no banco de sementes, duas não haviam sido observadas no levantamento florístico, sendo elas: *Ficus luschnathiana* e *Machaerium paraguariense* e três espécies só foram observadas nesta época de coleta, ou seja, não foram encontradas na coleta realizada na transição primavera/verão do mesmo ano, sendo elas: *Schinus terebinthifolius*, *Schinus polygamus* e *Pinus elliottii*, isso provavelmente, deve-se a fenologia destas espécies.

Na coleta da transição primavera/verão, das 23 espécies encontradas no banco de sementes do solo, somente a espécie *Carica quercifolia* foi observada sem ter estado presente no levantamento florístico e as espécies *Peltophorum dubium* e *Casearia sylvestris* foram observadas somente nesta época de coleta.

Segundo Sorreano (2002), o estoque de sementes no solo é formado por: espécies representativas da vegetação atual; espécies de etapas sucessionais anteriores; e, espécies que nunca estiveram presentes na área, mas que formam parte do banco de sementes. Esta afirmação ajuda explicar o porquê da presença de algumas espécies no banco de sementes do solo, sem estas terem estado presentes no levantamento florístico.

Das 66 espécies observadas no levantamento florístico, somente 25 foram encontradas na avaliação do banco de sementes do solo, sendo que destas apenas 20 apareceram nas duas épocas de coleta. Se considerarmos ainda que muitas delas são espécies arbóreas exóticas e/ou espécies típicas de estágio inicial de regeneração, pode-se, baseado nos dados obtidos, afirmar que poucas espécies arbóreas nativas estão tendo condições de regeneração natural via banco de sementes do solo.

O uso da regeneração natural, por exigir menos mão-de-obra e insumos na operação de plantio, pode reduzir, significativamente, o custo de implantação de uma floresta de proteção, como as matas ciliares. No entanto, deve-se considerar que o processo de regeneração natural transcorrerá de forma mais lenta, quando comparada à implantação pelo método de plantio de mudas, pois o processo irá ocorrer nos padrões da sucessão florestal (BOTELHO e DAVIDE, 2002).

A velocidade da regeneração de determinada área, assim com a direção que determinada sucessão vegetal tomará, não está condicionada somente ao tipo de impacto inicial, mas também a três conjuntos de fatores determinantes, que são as plântulas e brotações presentes na área, o banco de sementes presentes no solo e as sementes introduzidas na área proveniente da vegetação vizinha (ALVARENGA, 2004).

A interferência humana nos ecossistemas naturais tem produzido grandes mudanças, muitas vezes indesejáveis, como alterações no equilíbrio ecológico, suscitadas pela destruição de habitat e disseminação de espécies invasoras (SHIMIZU, 2007).

Dentre os principais fatores que limitam o restabelecimento de uma floresta pode-se citar: a ocupação e dominância de espécies exóticas e daninhas; compactação, empobrecimento e contaminação do solo; ausência e inutilização do banco de sementes; distância de fontes de propágulos; ausência de dispersores; condições inadequadas à germinação de sementes e reincidência de incêndios (UHL et al., 1988 *apud* ALVARENGA, 2004).

Além de avaliar a regeneração natural, o banco de sementes do solo e a vegetação florestal do entorno, para assim obter informações sobre a capacidade do ecossistema se restabelecer de forma natural, deve-se também observar os fatores que possam vir a limitar ou até mesmo impedir o restabelecimento da vegetação arbórea nativa, seja ela regenerada ou reflorestada.

Avaliar a composição florística e o número de indivíduos de cada espécie presente, bem como a presença e número de espécies exóticas, permite inferir com maior segurança sobre o grau de degradação de um ecossistema ciliar. Pelos dados obtidos no levantamento florístico, observa-se que há perturbação na composição florística da mata ciliar ocasionada, provavelmente, pela ação antrópica, através do conflito de uso das áreas que margeiam a Sanga Lagoão do Ouro.

A degradação de um ecossistema é um parâmetro de difícil quantificação, principalmente por parecer bastante abstrato e por depender da holística do avaliador, porém se considerarmos os principais fatores que evidenciam a degradação de uma área ou ecossistema, esta quantificação se torna mais plausível e, inclusive, mais fácil de ser realizada.

Além de perturbações na vegetação nativa, outro parâmetro indicativo da degradação de uma área é a erosão, sendo que esta é influenciada por fatores ambientais e antrópicos. Porém, sabe-se pouco sobre como ocorre esta influência, principalmente pelo fato destes fatores serem distintos de um ecossistema para outro. Neste sentido foram realizados os estudos cujos resultados estão apresentados no próximo item (4.3).

### 4.3 Relação de causa e efeito dos fatores ambientais e antrópicos sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo

Procedeu-se com relações de causa e efeito dos fatores ambientais e antrópicos sobre a erosão atual que ocorre na margem da Sanga Lagoão do Ouro e sobre seu potencial erosivo. Optou-se por avaliar a erosão do solo não só pela sua ocorrência atual, considerando que a erosão atual pode eventualmente se encontrar estabilizada, mas também pelo potencial erosivo da área, pois esta sim é a que poderá causar degradações futuras.

Devido ao grande número de dados obtidos nas três distâncias (repetições) em cada uma das parcelas, optou-se por trabalhar estatisticamente com as médias de cada parcela, reduzindo assim o número total de observações de 36 para 12, o que de certa forma prejudicou as significâncias estatísticas das correlações, mas em contrapartida reduziu consideravelmente a variância, facilitando a sua discussão. Dados ambientais, por serem observações de campo, geralmente apresentam grande variabilidade e coeficiente de variação alto (CARVALHO et al., 2004). Na Tabela 4 pode-se observar a média, valor mínimo e máximo e coeficiente de variação (CV) para as variáveis ambientais e antrópicas amostradas.

A grande variabilidade dos dados, evidenciada pelos valores mínimos e máximos (Tabela 4), é função da diversidade de situações observadas a campo, sendo consequência dos diferentes usos do solo e grau de pressão antrópica (urbana ou rural), resultando em coeficientes de variação altos.

**Tabela 4** – Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as variáveis ambientais e antrópicas amostradas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Variável	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
EAtu (%)	44,26	6,67	78,33	41,87
PEro (%)	48,46	6,67	81,60	41,66
CSna (%)	72,92	33,33	93,33	23,70
CSar (%)	30,14	0,00	93,33	98,65
IndE	5,37	0,00	21,67	141,31
IndN	42,79	0,00	161,00	120,10
CUso (%)	55,42	1,67	83,33	44,20
Voço (%)	8,33	0,00	20,00	70,32
Sulc (%)	9,72	1,64	15,00	38,64
Lami (%)	25,00	3,33	66,67	67,87

**Onde:** EAtu (erosão atual), PERO (potencial erosivo), CSna (cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira), CSar (cobertura do solo por espécies arbóreas), IndE (número de indivíduos arbóreos exóticos), IndN (número de indivíduos arbóreos nativos), CUso (conflito de uso do solo), Voço (voçorocas), Sulc (erosão em sulcos) e Lami (erosão laminar).

Na matriz de correlações das variáveis secundárias (Tabela 5), fez-se necessário a eliminação das variáveis número de indivíduos arbóreos exóticos (IndE), número de indivíduos arbóreos nativos (IndN), potencial erosivo (Pero) e porcentagem da área com erosão laminar (Lami), para obtenção de colinearidade fraca.

Com a eliminação das variáveis porcentagem da área com voçorocas (Voço), com erosão em sulcos (Sulc) e com erosão laminar (Lami), da matriz de correlações entre as variáveis secundárias da Tabela 6, esta apresentou colinearidade fraca. Estas variáveis, por estarem muito correlacionadas entre si, influenciam a correlação das demais variáveis responsáveis pelo potencial erosivo do solo, causando multicolinearidade e estimativas tendenciosas dos efeitos diretos e indiretos.

Na Tabela 5 pode-se observar que a EAtu está correlacionado positivamente com seis das nove variáveis explicativas observadas nas parcelas, ou seja, quanto maior esta correlação maior a erosão atual do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro. Além disso, mais de 50% das variáveis explicativas estão correlacionadas positivamente entre si, mostrando a complexidade da relação entre as variáveis observadas. Este fato implica dificuldade na determinação de quais fatores realmente influenciam na EAtu, visto que prejudicam a identificação das variáveis de maior interesse.

Observando a Tabela 6, percebe-se que o PEro está correlacionado positivamente com apenas três das nove variáveis explicativas observadas nas parcelas. Quanto a correlação das variáveis explicativas entre si o comportamento foi semelhante às apresentadas para a variável principal EAtu.

Os resultados evidenciam que é necessário o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos para avaliar o grau de importância de cada uma das variáveis explicativas com a principal (Tabelas 7 e 8).

Devido ao fato de o número de observações ter sido reduzido, ao se optar por trabalhar com as médias, para  $n=12$ , poucas correlações foram significativas estatisticamente pelo teste  $t$ . Dentre as significativas para a variável principal EAtu (Tabela 7), obteve-se correlação negativa da variável CSna e positivas das variáveis PEro e Lami. Apesar das demais variáveis não terem apresentado correlações significativas, algumas podem ser consideradas médias como CUso, Voço e CSar, todas positivas.

**Tabela 5** - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual do solo (EAtu) e fatores ambientais e antrópicos que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), número de indivíduos arbóreos exóticos (IndE), número de indivíduos arbóreos nativos (IndN), conflito de uso do solo (CUso), potencial erosivo (Pero), porcentagem da área com voçorocas (Voço), porcentagem da área com erosão em sulcos (Sulc) e porcentagem da área com erosão laminar (Lami)).

	EAtu	CSna	CSar	IndE	IndN	CUso	Pero	Voço	Sulc	Lami
EAtu	1									
CSna	-0,7823*	1								
CSar	-0,4998	0,4376	1							
IndE	0,3790	-0,0001	0,1649	1						
IndN	-0,4678	0,4211	0,7630*	0,1315	1					
CUso	0,5339	-0,5830*	-0,9282*	-0,1975	-0,7038*	1				
PEro	0,7022*	-0,7494*	-0,9233*	0,1211	-0,7418*	0,9325*	1			
Voço	0,5092	-0,0322	0,1886	0,6609*	-0,033	-0,1409	0,1251	1		
Sulc	0,0742	0,0832	-0,4082	0,1941	-0,3274	0,4256	0,2655	0,0811	1	
Lami	0,8714*	-0,9078*	-0,5512	0,1525	-0,4188	0,5949*	0,7939*	0,1268	-0,1737	1

\* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

**Tabela 6** - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo do solo (PEro) e fatores ambientais e antrópicos que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), número de indivíduos arbóreos exóticos (IndE), número de indivíduos arbóreos nativos (IndN), conflito de uso do solo (CUso), erosão atual do solo (EAtu), porcentagem da área com voçorocas (Voço), porcentagem da área com erosão em sulcos (Sulc) e porcentagem da área com erosão laminar (Lami)).

	PEro	CSna	CSar	IndE	IndN	CUso	EAtu	Voço	Sulc	Lami
PEro	1									
CSna	-0,7494*	1								
CSar	-0,9233*	0,4376	1							
IndE	-0,1211	-0,0001	0,1649	1						
IndN	-0,7418*	0,4211	0,7630*	0,1315	1					
CUso	0,9325*	-0,5830*	-0,9282*	-0,1975	-0,7038*	1				
EAtu	0,7022*	-0,7823*	-0,4998	0,3790	-0,4678	0,5339	1			
Voço	-0,1251	-0,0322	0,1886	0,6609*	-0,033	-0,1409	0,5092	1		
Sulc	0,2655	0,0832	-0,4082	0,1941	-0,3274	0,4256	0,0742	0,0811	1	
Lami	0,7939*	-0,9078*	-0,5512	0,1525	-0,4188	0,5949*	0,8714*	0,1268	-0,1737	1

\* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

A variável IndN, como já era de se esperar, apresentou correlação negativa, ou seja, quanto menos indivíduos arbóreos nativos presentes nas parcelas maior a EAtu. Sendo assim, recuperar as matas ciliares é fundamental para paralisar o processo erosivo e evitar a degradação. Segundo Carvalho (2000), para uma recuperação efetiva da mata ciliar deve-se observar características ecológicas como: escolher preferencialmente as espécies vegetais de ocorrência regional e que ocorram em locais com as mesmas características da área a ser recuperada, sucessão, banco de sementes (principalmente para as espécies pioneiras), espécies que não permitem ou dificultam o estabelecimento de processo sucessional, etc.

A floresta ocupa, ainda hoje, a tarefa insubstituível de reserva e regeneração do solo, pela sua estrutura exerce função importante na conservação do solo e da água. Seu sistema radicular, associado à serrapilheira, atua interceptando ou retendo a água da chuva, conduzindo-a para camadas inferiores do solo, através da porosidade que se forma pela presença das raízes e pela dinâmica dos organismos vivos, até chegar ao lençol freático, a partir do qual ocorre um reabastecimento gradual dos cursos d'água. Desta maneira, a cobertura vegetal, especialmente a florestal, contribui de forma decisiva, na proteção dos solos. A garantia da manutenção permanente da produtividade primária do ecossistema está diretamente ligada às condições de preservação e ampliação das áreas com cobertura vegetal (SCHUMACHER; HOPPE, 1997; 1999).

Fato interessante foi observado para a variável IndE, que apresentou correlação positiva com a EAtu, porém esta variável provavelmente não esteja influenciado a EAtu e sim sendo influenciado por ela, ou seja, ocorrem indivíduos exóticos onde a erosão atual é maior, isto é evidenciado pela alta correlação entre as variáveis explicativas IndE com Voço.

Dentre as correlações significativas com a variável principal PEro (Tabela 6), obteve-se correlações negativas das variáveis CSar, CSna e IndN e positivas das variáveis CUso, Lami e EAtu. De uma maneira geral, quanto maior a cobertura do solo em nível de superfície e em nível de copada, principalmente por indivíduos arbóreos nativos, menor o potencial erosivo, e quanto maior o conflito de uso, a erosão laminar e a porcentagem de erosão atual da área, maior o seu potencial erosivo.

Observando a Tabela 7, que apresenta as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos fatores ambientais e antrópicos sobre a EAtu, percebe-se que o coeficiente de determinação foi alto e que as variáveis explicativas (CSna, CSar, CUso, Voço e Sulc) explicam 96,57% da variável principal (EAtu).

**Tabela 7** - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), conflito de uso do solo (CUso), porcentagem da área com voçorocas (Voço) e porcentagem da área com erosão em sulcos (Sulc) sobre a erosão atual do solo (EAtu) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Efeito	CSna	CSar	CUso	Voço	Sulc
Direto sobre EAtu	-0,7501	-0,8225	-0,5917	0,5561	0,0076
Indireto via CSna	-	-0,3282	0,4373	0,0242	-0,0624
Indireto via CSar	-0,3599	-	0,7634	-0,1551	0,3357
Indireto via CUso	0,3450	0,5492	-	0,0833	-0,2518
Indireto via Voço	-0,0179	0,1048	-0,0783	-	0,0451
Indireto via Sulc	0,0006	-0,0031	0,0032	0,0006	-
Total de Pearson	-0,7823*	-0,4998	0,5339	0,5091	0,0742
Coeficiente de determinação = 0,9657					

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

A variável CSna apresentou correlação total de Pearson alta e negativa sobre EAtu, sendo explicada, principalmente, por um efeito direto alto, ou seja, quanto menor a porcentagem de cobertura do solo por espécies de porte herbáceo e/ou serrapilheira (cobertura do solo em nível de superfície), maior a erosão do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro. Observou-se também efeito médio indireto negativo da CSna sobre a variável EAtu via CSar e positivo via CUso.

As demais variáveis explicativas não apresentaram correlações totais de Pearson significativas pelo teste t, no entanto para os fatores CSar, CUso e Voço elas são consideradas médias (CARVALHO et al., 2004). A CSar apresentou correlação negativa sobre a EAtu, explicada por um efeito direto negativo alto e por um efeito indireto positivo médio via CUso. Desta maneira, pode-se dizer que, quanto menor a cobertura do solo em nível de copada, ou seja, por indivíduos de porte arbóreo, maior a erosão do solo.

A variável CUso apresentou correlação positiva sobre a EAtu, explicada por efeitos indiretos positivos médio via CSna e alto via CSar. Em outras palavras, quanto maior o conflito de uso dos solos na margem da Sanga Lagoão do Ouro, maior a erosão do solo.

Para Abdo (2006), o uso e manejo inadequado do solo, com ausência de práticas conservacionistas e a retirada da mata natural ou a implantação de uma cobertura vegetal insuficiente acarreta na aceleração do processo de degradação do solo, principalmente devido a erosão.

Já a variável explicativa Voço apresentou correlação positiva sobre a EAtu, explicada por um efeito direto positivo médio, considerando que a determinação da erosão atual do solo leva em consideração a porcentagem de voçorocas, esta correlação já era esperada, porém não

se esperava que fosse tão expressiva, já que outras formas de erosão são consideradas na determinação da EATu.

Na Tabela 8, que apresenta as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos fatores ambientais e antrópicos sobre o PEro, percebe-se que o coeficiente de determinação foi muito alto e que as variáveis explicativas (CSna, CSar, IndE, IndN, CUso e EAtu) explicam 100% da variável principal (PEro).

**Tabela 8** - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da porcentagem de cobertura do solo por espécies não arbóreas e/ou serrapilheira (CSna), porcentagem de cobertura do solo por espécies arbóreas (CSar), número de indivíduos arbóreos exóticos (IndE), número de indivíduos arbóreos nativos (IndN), conflito de uso do solo (CUso), erosão atual do solo (EATu) sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Efeito	CSna	CSar	IndE	IndN	CUso	EAtu
Direto sobre PEro	-0,4274	-0,7363	0,0005	-0,0001	0,0003	-0,0005
Indireto via CSna	-	-0,1870	0,0000	-0,1800	0,2492	0,3344
Indireto via CSar	-0,3222	-	-0,1214	-0,5618	0,6834	0,3680
Indireto via IndE	-0,0000	0,0001	-	0,0000	-0,0001	0,0002
Indireto via IndN	-0,0000	-0,0001	-0,0000	-	0,0000	0,0000
Indireto via CUso	-0,0002	-0,0002	-0,0000	-0,0002	-	0,0001
Indireto via EAtu	0,0004	0,0002	-0,0002	0,0003	-0,0003	-
Total de Pearson	-0,7494*	-0,9233*	-0,1211	-0,7418*	0,9325*	0,7022*
Coeficiente de determinação = 1,0000						

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

Todas as variáveis explicativas, com exceção do IndE, apresentaram correlações totais de Pearson significativas e altas pelo teste t. A variável CSna apresentou correlação total de Pearson negativa sobre PEro, sendo explicada por um efeito direto médio e por um efeito indireto médio via CSar, ambos negativos. Quanto menor a porcentagem de cobertura do solo em nível de superfície, maior o potencial erosivo do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro.

A CSar apresentou correlação negativa sobre a PEro, explicada por um efeito direto negativo alto, ou seja, quanto menor a cobertura do solo em nível de copada, maior o potencial erosivo. A variável explicativa IndN apresentou correlação negativa sobre a PEro, explicada por um efeito indireto negativo médio via CSar, ou seja, o número de indivíduos arbóreos nativos influencia a cobertura do solo em nível de copada e esta por sua vez influencia o PEro, sendo assim, quanto maior o IndN, menor o PEro.

A variável CUsO apresentou correlação positiva sobre o PEro, explicada por um efeito indireto positivo alto via CSar, sendo assim, quanto maior o conflito de uso dos solos na margem da Sanga Lagoão do Ouro, maior o potencial erosivo do solo, sendo que o maior CUsO é evidenciado pela menor CSar. No Apêndice 6, pode-se observar os diferentes usos e coberturas do solo no ecossistema da Sanga Lagoão do Ouro, havendo um predomínio de uso pelas culturas agrícolas (29,75%), seguido por campo para pecuária (25,61%), solo exposto ou área urbana (23,51%), área florestal com exóticas e/ou nativas (19,60%) e água (1,53%).

Na avaliação das estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos fatores ambientais e antrópicos sobre o PEro, optou-se por considerar como variável explicativa a EAtu, que apesar de ter correlação total de Pearson significativa alta e positiva sobre a PEro (quanto maior a erosão atual, maior o potencial erosivo do solo) não teve efeito direto sobre esta, sendo explicada por efeitos indiretos positivos via CSna e CSar.

#### 4.3.1 Relação de causa e efeito das características físicas do solo sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo

Na Tabela 9 pode-se observar a média, mínimo, máximo e coeficiente de variação para as características físicas do solo avaliadas. Percebe-se que algumas variáveis apresentaram coeficientes de variação relativamente altos, devido a grande variabilidade nos dados em função da diversidade de locais nas quais as amostras de solo foram coletadas.

**Tabela 9** – Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as características físicas do solo avaliadas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Variável	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
Dens (g cm <sup>-3</sup> )	1,39	1,14	1,56	7,66
MaPo (%)	13,19	8,64	18,77	26,38
MiPo (%)	35,03	25,80	40,75	11,21
PoTo (%)	48,22	43,39	56,07	7,80
AGro (%)	12,46	6,48	24,13	39,77
AFin (%)	22,14	12,60	27,29	20,98
Silt (%)	44,79	26,27	52,89	16,92
Argi (%)	20,61	13,97	32,67	32,74
DMG (mm)	1,22	0,36	2,38	53,64
DMP (mm)	2,22	0,89	3,68	41,43
A8-4,67 (%)	25,24	6,53	49,66	54,43
A4,67-2 (%)	9,77	4,27	14,78	33,93
A2-1 (%)	8,36	3,70	14,04	33,77
A1-0,2 (%)	19,96	12,98	25,38	23,79
A<0,2 (%)	36,73	17,30	70,12	42,25

**Onde:** Dens (densidade), MaPo (macroporosidade), MiPo (microporosidade), PoTo (porosidade total), AGro (areia grossa composta pela fração entre 2 e 0,2 mm), AFin (areia fina composta pela fração entre 0,2 e 0,02 mm), Silt (silte composta pela fração entre 0,02 e 0,002 mm), Argi (argila composta pela fração menor que 0,002 mm), DMG (diâmetro médio geométrico dos agregados), DMP (diâmetro médio ponderado dos agregados), A8-4,67 (agregados estáveis em água com diâmetro entre 8,0 e 4,67 mm), A4,67-2 (entre 4,67 e 2,0 mm), A2-1 (entre 2,0 e 1,0 mm), A1-0,2 (entre 1,0 e 0,2 mm) e A<0,2 (menores que 0,2 mm).

A densidade do solo observada nas margens da Sanga Lagoão do Ouro é relativamente alta, com valores médios de 1,39 g cm<sup>-3</sup>. Exceções foram observadas em algumas parcelas onde a mata ciliar se encontra relativamente bem conservada. Estes valores altos são função dos usos do solo das margens com pecuária, agricultura mal manejada e urbanização, em áreas que deveriam ser de preservação permanente. Densidades altas podem influenciar negativamente outras características físicas do solo, principalmente a porosidade, e limitar o crescimento radicular das plantas, o que pode prejudicar intervenções de recuperação neste ecossistema ciliar, como o replantio com espécies florestais nativas.

A densidade do solo é um parâmetro que serve como índice de compactação do solo e é muito utilizada nas avaliações do estado estrutural dos solos (SCAPINI et al., 1998). Há indicações da existência de limites críticos da densidade do solo ao crescimento radicular, porém esses limites são variáveis para diferentes tipos de solos e plantas (RUBIN et al., 1998). Valores críticos de densidade do solo são propostos por Reinert e Reichert (2001), onde para solos argilosos (mais de 55% de argila) o valor seria aproximadamente  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ ; para solos de textura média (argila entre 20 e 55%)  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  e para solos de textura arenosa (menos de 20% de argila) o valor seria de  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ .

Os efeitos da compactação na aeração do solo são usualmente quantificados pela medida da porosidade do solo preenchida por ar, taxa de difusão de oxigênio, potencial redox e permeabilidade do solo. A porosidade do solo preenchida por ar é a mais comumente utilizada para avaliar a aeração, e valores menores que 10% são considerados críticos ao desenvolvimento das plantas (LIPIEC e HATANO, 2003).

Segundo Ferreira (2010), a densidade é um atributo que afeta primariamente o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características do sistema poroso. Por outro lado, qualquer alteração que possa influenciar a disposição das partículas do solo refletirá diretamente nos valores de densidade. Dessa forma, pode-se dizer que a densidade depende da estrutura do solo em todos os seus aspectos.

Normalmente as determinações de densidade do solo, macroporosidade e porosidade total do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo, que por sua vez afetam a infiltração de água levando a erosão, inicialmente laminar, seguida por sulcos e, em casos de não estabilização, acabando em voçorocas. Esta erosão é tanto mais intensa quanto menor a cobertura do solo, seja em nível de copada e/ou de superfície do solo. Quanto maior a erosão nas margens de um ecossistema ciliar, mais solo é perdido para o curso d'água e, conseqüentemente, maior o assoreamento do leito, levando a conseqüências indesejáveis, como as enchentes.

Na análise dos dados, fez-se necessário a eliminação das variáveis porosidade total (PoTo), areia grossa (Agro), diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), agregados estáveis em água com diâmetro entre 8,0 e 4,67 mm (A8-4,67), entre 4,67 e 2,0 mm (A4,67-2), entre 2,0 e 1,0 mm (A2-1), entre 1,0 e 0,2 mm (A1-0,2) e  $< 0,2 \text{ mm}$  (A<0,2), da matriz de correlações das variáveis secundárias, pois na presença dessas variáveis houve multicolinearidade severa e moderada a forte (Tabelas 10 e 11).

**Tabela 10** - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual (EAtu) e propriedades físicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (densidade em  $\text{g cm}^{-3}$  (Dens), macroporosidade (MaPo), microporosidade (MiPo) e porosidade total (PoTo) em porcentagem, areia grossa composta pela fração entre 2 e 0,2 mm (AGro), areia fina composta pela fração entre 0,2 e 0,02 mm (AFin), silte composta pela fração entre 0,02 e 0,002 mm (Silt) e argila composta pela fração menor que 0,002 mm (Argi) todas em porcentagem, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado dos agregados em mm (DMP), agregados estáveis em água com diâmetro entre 8,0 e 4,67 mm (A8-4,67), entre 4,67 e 2,0 mm (A4,67-2), entre 2,0 e 1,0 mm (A2-1), entre 1,0 e 0,2 mm (A1-0,2) e menores que 0,2 mm (A<0,2)).

	<b>EAtu</b>	<b>Dens</b>	<b>MaPo</b>	<b>MiPo</b>	<b>PoTo</b>	<b>AGro</b>	<b>AFin</b>	<b>Silt</b>	<b>Argi</b>	<b>DMG</b>	<b>DMP</b>	<b>A8-4,76</b>	<b>A4,76-2</b>	<b>A2-1</b>	<b>A1-0,2</b>	<b>A&lt;0,2</b>
<b>EAtu</b>	1															
<b>Dens</b>	0,556	1														
<b>MaPo</b>	-0,238	-0,561	1													
<b>MiPo</b>	-0,094	-0,290	-0,489	1												
<b>PoTo</b>	-0,318	-0,821*	0,414	0,592*	1											
<b>AGro</b>	-0,261	-0,033	-0,078	0,188	0,125	1										
<b>AFin</b>	0,400	0,695*	-0,725*	0,208	-0,453	-0,083	1									
<b>Silt</b>	0,421	0,119	0,066	-0,250	-0,199	-0,590*	-0,141	1								
<b>Argi</b>	-0,555	-0,588*	0,482	-0,001	0,445	-0,016	-0,471	-0,591*	1							
<b>DMG</b>	-0,014	-0,316	0,071	-0,110	-0,050	-0,416	-0,421	0,354	0,200	1						
<b>DMP</b>	0,006	-0,313	0,049	-0,117	-0,078	-0,370	-0,405	0,363	0,144	0,988*	1					
<b>A8-4,76</b>	0,096	-0,199	0,032	-0,205	-0,185	-0,435	-0,341	0,442	0,059	0,978*	0,989*	1				
<b>A4,76-2</b>	-0,434	-0,755*	0,183	0,319	0,502	0,020	-0,660*	-0,090	0,542	0,703*	0,699*	0,587*	1			
<b>A2-1</b>	-0,639*	-0,665*	-0,009	0,572	0,589*	0,528	-0,324	-0,586*	0,492	0,054	0,083	-0,062	0,700*	1		
<b>A1-0,2</b>	-0,141	-0,340	-0,215	0,703*	0,536	0,451	0,264	-0,470	0,014	-0,471	-0,424	-0,511	0,037	0,593*	1	
<b>A&lt;0,2</b>	0,168	0,562	-0,004	-0,199	-0,211	0,144	0,423	-0,119	-0,265	-0,879*	-0,907*	-0,840*	-0,871*	-0,458	0,032	1

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

**Tabela 11** - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo (PEro) e propriedades físicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (densidade em  $\text{g cm}^{-3}$  (Dens), macroporosidade (MaPo), microporosidade (MiPo) e porosidade total (PoTo) em porcentagem, areia grossa composta pela fração entre 2 e 0,2 mm (AGro), areia fina composta pela fração entre 0,2 e 0,02 mm (AFin), silte composta pela fração entre 0,02 e 0,002 mm (Silt) e argila composta pela fração menor que 0,002 mm (Argi) todas em porcentagem, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado dos agregados em mm (DMP), agregados estáveis em água com diâmetro entre 8,0 e 4,67 mm (A8-4,67), entre 4,67 e 2,0 mm (A4,67-2), entre 2,0 e 1,0 mm (A2-1), entre 1,0 e 0,2 mm (A1-0,2) e menores que 0,2 mm (A<0,2)).

	<b>PEro</b>	<b>Dens</b>	<b>MaPo</b>	<b>MiPo</b>	<b>PoTo</b>	<b>AGro</b>	<b>AFin</b>	<b>Silt</b>	<b>Argi</b>	<b>DMG</b>	<b>DMP</b>	<b>A8-4,76</b>	<b>A4,76-2</b>	<b>A2-1</b>	<b>A1-0,2</b>	<b>A&lt;0,2</b>
<b>PEro</b>	1															
<b>Dens</b>	0,621*	1														
<b>MaPo</b>	-0,776*	-0,561	1													
<b>MiPo</b>	0,374	-0,290	-0,489	1												
<b>PoTo</b>	-0,328	-0,821*	0,414	0,592*	1											
<b>AGro</b>	-0,033	-0,033	-0,078	0,188	0,125	1										
<b>AFin</b>	0,683*	0,695*	-0,725*	0,208	-0,453	-0,083	1									
<b>Silt</b>	0,149	0,119	0,066	-0,250	-0,199	-0,590*	-0,141	1								
<b>Argi</b>	-0,613*	-0,588*	0,482	-0,001	0,445	-0,016	-0,471	-0,591*	1							
<b>DMG</b>	-0,029	-0,316	0,071	-0,110	-0,050	-0,416	-0,421	0,354	0,200	1						
<b>DMP</b>	0,003	-0,313	0,049	-0,117	-0,078	-0,370	-0,405	0,363	0,144	0,988*	1					
<b>A8-4,76</b>	0,051	-0,199	0,032	-0,205	-0,185	-0,435	-0,341	0,442	0,059	0,978*	0,989*	1				
<b>A4,76-2</b>	-0,274	-0,755*	0,183	0,319	0,502	0,020	-0,660*	-0,090	0,542	0,703*	0,698*	0,587*	1			
<b>A2-1</b>	-0,250	-0,665*	-0,009	0,572	0,589*	0,528	-0,324	-0,586*	0,492	0,054	0,083	-0,062	0,700*	1		
<b>A1-0,2</b>	0,088	-0,340	-0,215	0,703*	0,536	0,451	0,264	-0,470	0,014	-0,471	-0,424	-0,511	0,037	0,593*	1	
<b>A&lt;0,2</b>	0,037	0,562	-0,004	-0,199	-0,211	0,144	0,423	-0,119	-0,265	-0,879*	-0,907*	-0,840*	-0,871*	-0,458	0,032	1

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

Na Tabela 10 pode-se observar que a erosão atual do solo (EAtu) está correlacionado positivamente apenas com seis das 15 variáveis explicativas observadas nas parcelas, sendo que nenhuma delas foi considerada significativa pelo teste t. Porém, como as correlações obtidas entre a EAtu e a densidade (Dens), areia fina (AFin) e silte (Silt) foram médias e positivas, pode-se dizer que elas influenciam a EAtu do solo e quanto maior for esta correlação, maior a erosão do solo.

Entre as características correlacionadas negativamente com a EAtu, destacam-se A2-1 com significância estatística e A4,76-2 com correlação média não significativa, ou seja, quanto maior a porcentagem de agregados estáveis em água com diâmetro entre 4,76 e 1 mm, menor a EAtu. A porcentagem de argila (Argi) e porosidade total (PoTo) também tiveram correlações médias e negativas com a EAtu, vale lembrar que a argila influencia a agregação do solo e, conseqüentemente, a porosidade, sendo influenciada pela erosão do solo, sendo geralmente menor, onde a erosão é maior. Já a porosidade influencia negativamente a erosão, pois é responsável pela infiltração de água no solo, principalmente a macroporosidade, sendo que, quanto maior a porosidade, mais água infiltra e deixa de escoar sobre a superfície do solo e de causar erosão.

Na Tabela 10 e 11, também observou-se considerável número de correlações significativas entre as características físicas do solo, isto se deve ao fato de elas estarem estreitamente interligadas umas com as outras ou até mesmo serem determinadas umas pelas outras. Em função disto eliminaram-se algumas variáveis da matriz de correlações.

Na Tabela 11, percebe-se que o potencial erosivo do solo (PEro) está correlacionado positivamente com oito das 15 variáveis explicativas, sendo que quando maior esta correlação, maior o potencial erosivo. No entanto, apenas a densidade (Dens) e a porcentagem de areia fina (AFin) apresentaram correlações positivas significativas. Entre as correlações negativas as variáveis macroporosidade (MaPo) e porcentagem de argila (Argi) foram significativas. Das variáveis que se relacionam com a estrutura do solo, assim como para a variável principal EAtu, somente A4,76-2 e A2-1 apresentaram correlação com o PERO, sendo estas negativas e fracas. Pode-se dizer então que, quanto maior a Dens e AFin, maior o PERO e quanto menor MaPo e Argi, maior o PERO. Deseja-se que um solo apresente boa porosidade e que esta seja distribuída, de forma equilibrada, entre macro e microporos. Os microporos são responsáveis pela retenção de água e os macroporos pela infiltração, denagem e aeração do solo (FERREIRA, 2010), esta citação explica porque quanto menor a macroporosidade (MaPo), maior o potencial erosivo, ou seja, toda água que não infiltra ou não drena, acaba escorrendo superficialmente e conseqüentemente causado erosão.

Observando a Tabela 12, que apresenta as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características físicas do solo sobre a EAtu e sobre o PEro, percebe-se que os coeficientes de determinação foram médio e alto, respectivamente, e que as variáveis explicativas Dens, MaPo, MiPo, AFin, Silt, Argi e DMG explicam 68,26% e 90,59% das variáveis principais EAtu e PEro, respectivamente.

Para a variável principal EAtu nenhuma das variáveis explicativas apresentou correlação total de Pearson significativa, no entanto as variáveis densidade (Dens) e porcentagem de argila (Argi) tiveram correlações médias com a erosão do solo, maiores que 55%. A Dens está correlacionada positivamente com a EAtu, sendo explicada por um efeito direto positivo alto e indireto negativo também alto via MaPo. A Argi está correlacionada negativamente com a EAtu, sendo explicada por um efeito direto negativo médio e por efeitos indiretos negativo alto via Dens e positivo alto via MaPo. Em síntese, quanto maior a densidade do solo, maior a erosão e quanto maior a porcentagem de argila na composição textural do solo menor a erosão, sendo que a maior densidade afeta negativamente a macroporosidade, que por sua vez é afetada positivamente pela maior porcentagem de argila, já que esta favorece a agregação do solo (FERREIRA, 2010) que influencia a macroporosidade.

Já para a variável principal PEro, quatro das sete variáveis explicativas apresentaram correlações significativas, sendo elas: Dens, MaPo, AFin e Argi. A Dens se correlacionou positivamente com o PEro, através de efeito direto positivo alto e indireto negativo alto via MaPo e MiPo. A MaPo teve uma correlação negativa alta, explicada por efeitos direto positivo e indiretos negativos via Dens, MiPo e Argi. A variável AFin apresentou uma correlação positiva, explicada principalmente por efeitos indiretos positivo via Dens e negativo via MaPo. A Argi se correlacionou negativamente com o PEro, tendo efeito direto negativo e indiretos negativo via Dens e positivo via MaPo. Sendo assim, quanto maior a densidade e porcentagem de areia fina na composição textural do solo, maior a erosão e quanto maior a macroporosidade e porcentagem de argila, menor a erosão.

Discutir relações de causas e efeitos que envolvam características físicas do solo é uma tarefa um tanto complicada, pois além delas estarem estreitamente interligadas umas com as outras ou até mesmo serem determinadas umas pelas outras, são facilmente alteradas por ações antrópicas, como mau uso e manejo do solo, que por sua vez podem levar a erosão.

**Tabela 12** - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos da densidade em  $\text{g cm}^{-3}$  (Dens), macroporosidade (MaPo) e microporosidade (MiPo) em porcentagem, areia fina composta pela fração entre 0,2 e 0,02 mm (AFin), silte composta pela fração entre 0,02 e 0,002 mm (Silt) e argila composta pela fração menor que 0,002 mm (Argi) em porcentagem, diâmetro médio geométrico dos agregados em mm (DMG) sobre a erosão atual do solo (EAtu) e sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

<b>Efeito</b>	<b>Dens</b>	<b>MaPo</b>	<b>MiPo</b>	<b>AFin</b>	<b>Silt</b>	<b>Argi</b>	<b>DMG</b>
Direto sobre EAtu	1,3591	1,4261	0,9921	0,3682	-0,0105	-0,4059	0,6629
Indireto via Dens	-	-0,7621	-0,3940	0,9449	0,1615	-0,7998	-0,4298
Indireto via MaPo	-0,7997	-	-0,6978	-1,0333	0,0954	0,6868	0,1011
Indireto via MiPo	-0,2876	-0,4855	-	0,2063	-0,2479	-0,0006	-0,1089
Indireto via AFin	0,2560	-0,2668	0,0766	-	-0,0518	-0,1733	-0,1548
Indireto via Silt	-0,0012	-0,0007	0,0026	0,0015	-	0,0062	-0,0037
Indireto via Argi	0,2389	-0,1955	0,0003	0,1910	0,2399	-	-0,0812
Indireto via DMG	-0,2097	0,0470	-0,0728	-0,2788	0,2344	0,1325	-
Total de Pearson	0,5558	-0,2375	-0,0930	0,3998	0,4210	-0,5541	-0,0144
Coeficiente de determinação = 0,6826							
Direto sobre PERO	1,0784	0,6866	0,9777	0,2385	-0,2718	-0,4896	0,6648
Indireto via Dens	-	-0,6047	-0,3126	0,7497	0,1281	-0,6347	-0,3411
Indireto via MaPo	-0,3850	-	-0,3359	-0,4975	0,0459	0,3307	0,0487
Indireto via MiPo	-0,2834	-0,4784	-	0,2033	-0,2443	-0,0007	-0,1074
Indireto via AFin	0,1657	-0,1728	0,0496	-	-0,0335	-0,1122	-0,1003
Indireto via Silt	-0,0323	-0,0182	0,0679	0,0382	-	0,1607	-0,0961
Indireto via Argi	0,2881	-0,2358	0,0003	0,2304	0,2894	-	-0,0979
Indireto via DMG	-0,2102	0,0471	-0,0730	-0,2795	0,2350	0,1329	-
Total de Pearson	0,6213*	-0,7762*	0,3740	0,6831*	0,1488	-0,6129*	-0,0293
Coeficiente de determinação = 0,9059							

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

### 4.3.2 Relação de causa e efeito das características químicas do solo sobre a erosão atual e sobre o potencial erosivo do solo

Na Tabela 13 pode-se observar a média, mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV) para as características químicas do solo avaliadas. Percebe-se também, que algumas variáveis apresentaram coeficientes de variação altos, devido à grande variabilidade nos dados em função da diversidade de locais nas quais as amostras de solo foram coletadas.

**Tabela 13** – Valores médios, mínimos, máximos e coeficientes de variação (CV) para as características químicas do solo avaliadas nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

Variável	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
pH (em água)	4,93	4,35	5,25	4,86
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,79	0,73	10,53	54,92
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,12	0,33	4,21	62,07
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,05	0,58	3,91	51,95
CTCef (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,14	3,85	18,27	44,87
m (%)	27,05	4,33	73,40	68,90
V (%)	47,32	10,07	72,80	38,33
MO (%)	1,84	0,94	3,00	30,57
S (mg dm <sup>-3</sup> )	10,27	4,22	17,23	32,59
P (mg dm <sup>-3</sup> )*	6,54	1,52	18,69	87,96
K (mg dm <sup>-3</sup> )*	69,89	21,87	125,07	48,32
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,40	0,79	2,80	38,72
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	2,26	0,77	5,58	66,90
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,13	0,46	30,92

**Onde:** pH (pH em água), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Al (alumínio), CTCef (capacidade de troca de cátions efetiva), m% (saturação de alumínio), V% (saturação de bases), MO (matéria orgânica), S (enxofre), P (fósforo), K (potássio), Cu (cobre), Zn (zinco) e B (boro). \* Extrator Melich I.

Interpretando os resultados obtidos na análise química do solo de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004), observa-se que os solos das margens da Sanga Lagoão do Ouro, levando em consideração as médias, apresentam problemas com relação à acidez, alta saturação por alumínio (m%) e baixa saturação por bases (V%), baixo teor de matéria orgânica (MO), baixo teor de fósforo e médio teor de potássio. Altos teores foram encontrados para cobre, zinco e boro, principalmente o Cu e o Zn, com teores que chegaram a 5,58 e 2,80 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, ocasionados provavelmente, por fontes de contaminação advinda das áreas urbanas como lixo e esgoto. Cálcio, enxofre e magnésio

também apresentaram teores altos, sendo que o S apresentou teores muito altos, devido provavelmente a fontes de contaminações, como detergentes, esgoto, etc.

Altos teores de Al no solo são indesejáveis, pois causam toxidez às plantas. Tedesco e Bissani (2004) descrevem que os efeitos de toxidez de Al nas plantas podem ser observados principalmente no sistema radicular, sendo que esta reduz o desenvolvimento das raízes, causando engrossamento e necrose, que acabam por diminuir a absorção e translocação de P pela planta. Estes distúrbios no sistema radicular das plantas prejudicam o desenvolvimento da parte aérea, que podem apresentar sintomas de deficiência de P. Sendo assim, estes altos teores de Al devem ser corrigidos ao se proceder com intervenções de recuperação nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, como o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas. A correção dos teores de Al, com calagem, acabaria também resolvendo o problema de acidez do solo, reduzindo a m% e aumentando a V%.

Os baixos teores de matéria orgânica nas margens da sanga é um problema mais difícil e demorado de ser resolvido. Se a mata ciliar fosse bem conservada, esperar-se-ia teores de MO maiores, devido a deposição de serrapilheira sobre o solo, proveniente das quedas de folhas e ramos, que ao se decomporem aumentariam o teor de MO, promovendo a ciclagem de nutrientes. Sendo assim, para aumentar o teor de MO deve-se aumentar a cobertura do solo, seja em nível de superfície ou de copada com espécies arbóreas.

A cobertura vegetal protege o solo de diversas formas: na copa, na superfície e no interior pelas raízes; acrescenta matéria orgânica deixando os solos mais porosos que, juntamente com as raízes mortas, formam galerias, facilitando a penetração da água (ABDO, 2006).

O teor de MO, segundo Reichert et al. (2003), é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas. A matéria orgânica, juntamente com os componentes inorgânicos da fase sólida (fração mineral), exercem um papel fundamental na química do solo. Ela é gerada a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação com as outras fases do solo. Apesar de compor menos de 5% da maioria dos solos, apresenta uma alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as quais afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2004).

O uso e manejo inadequados do solo aceleram o processo erosivo e as perdas de carbono orgânico (JACINTHE et al., 2004; GREGORICH et al., 1998) reduzindo assim a qualidade do solo. Com o tempo o processo de degradação torna-se mais intenso, ocorre

redução do tamanho e estabilidade dos agregados e liberação de carbono orgânico que se encontrava protegido (SILVA et al., 2005).

Sistemas com alto grau de revolvimento do solo aceleram a taxa de decomposição dos resíduos (AMADO et al., 2000) e aumentam a velocidade do fluxo de energia e matéria (BAYER et al., 2000). Os agregados menos estáveis serão mais suscetíveis à erosão, aumentando a quantidade de sedimentos transportados das áreas de lavoura para os rios, especialmente em situação de ausência de mata ciliar (KOBAYAMA, 2003). Como esta é uma situação observada em praticamente toda margem da sanga, com o passar do tempo a degradação do solo e do ambiente acabam afetando de forma direta as condições sócio-econômicas da população, bem como gerando vários problemas ambientais ainda mais severos que os atuais.

O K se encontra com teores médios nos solos avaliados nas margens da Sanga Lagoão do Ouro. Segundo Meurer e Inda Jr. (2004), fatores físicos, químicos e biológicos do solo podem afetar a quantidade disponível de K a curto, médio e longo prazos. Entre outros, pode-se destacar o material de origem e grau de intemperização, a mineralogia, a CTC, a textura, o pH do solo e as características das plantas cultivadas.

Já o P se encontra em teores baixos. Para Anghinoni e Bissani (2004), a disponibilidade do P do solo para as plantas depende dos fatores que afetam o movimento do P da solução do solo até a superfície das raízes, da capacidade do solo manter P na solução e de outros fatores limitantes ao crescimento das plantas. O principal fator que afeta o movimento e disponibilidade do P é o pH do solo, sendo que em solos ácidos o elemento fica limitado para as plantas, recomenda-se nestes casos a calagem, que proporciona o aumento da disponibilidade de P para as plantas, devido a eliminação do alumínio trocável, que causa toxidez para as plantas, ao aumento da atividade microbiana, que provoca maior mineralização do P orgânico e ao aumento da concentração dos íons  $\text{OH}^-$ , que podem deslocar o fósforo adsorvido na superfície dos minerais para a solução do solo. Isso, indiretamente, também ajudaria a melhorar a matéria orgânica do solo.

Para proceder a análise de trilha, assim como para as demais matrizes de correlação, fez-se necessário a eliminação de algumas variáveis. Com a eliminação das variáveis pH em água (pH), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef), saturação de alumínio (m%), saturação de bases (V%), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B), da matriz de correlações das variáveis secundárias, estas apresentaram colinearidade fraca (Tabelas 14 e 15).

Observando as Tabelas 14 e 15, observa-se que poucas características químicas do solo apresentaram correlações significativas com a EAtu e o PEro. No entanto, entre as características químicas ocorreram grande número de correlações significativas. Assim como para as características físicas do solo a explicação está nas estreitas interligações entre as características, sendo que o maior ou menor teor de um elemento pode afetar a maior ou menor disponibilidade de outro ou outros.

Apenas o elemento Cu apresentou correlação significativa com a EAtu, sendo esta negativa e alta, merecem destaque ainda, Zn, B, e P, todos correlacionados negativamente com a erosão do solo. Ocorre que seus teores são influenciados pela EAtu e quanto maior esta erosão, menores serão estes teores, de uma maneira geral, praticamente todas as características químicas apresentaram correlações negativas tanto com a EAtu como com o PEro.

Os elementos K e B apresentaram correlações significativas negativas com o PEro, sendo que Ca, Mg, m%, V%, Mo, P, Cu e Zn apresentaram esta mesma tendência. Em síntese, pode-se dizer que, os teores das características químicas do solo diminuem com o aumento da erosão, redução esta ocasionada pelo arraste superficial e pela lixiviação dos elementos que ocorre com a erosão hídrica. A observância do potencial de uso do solo, o estabelecimento de uma boa cobertura do mesmo, de preferência com espécies de ocorrência natural, o incremento da matéria orgânica e conseqüentemente melhorias nas características físicas, além de adições dos elementos mais críticos, através de adubações e calagens, são medidas fundamentais para restabelecer a fertilidade dos solos que margeiam a Sanga Lagoão do Ouro, proporcionando assim, condições para o estabelecimento e adequado crescimento de espécies a serem introduzidas por ocasião de medidas de recuperação, e/ou da própria regeneração natural.

**Tabela 14** - Estimativas das correlações de Pearson entre erosão atual (EAtu) e propriedades químicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (pH em água (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , saturação de alumínio (m%) e saturação de bases (V%) em porcentagem, matéria orgânica em porcentagem (MO), enxofre (S), fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) em  $\text{mg dm}^{-3}$ ).

	EAtu	pH	Ca	Mg	Al	CTCef	m%	V%	MO	S	P	K	Cu	Zn	B
<b>EAtu</b>	1														
<b>pH</b>	0,050	1													
<b>Ca</b>	-0,200	0,762*	1												
<b>Mg</b>	-0,013	0,740*	0,959*	1											
<b>Al</b>	0,136	-0,397	-0,131	-0,023	1										
<b>CTCef</b>	-0,112	0,668*	0,962*	0,970*	0,133	1									
<b>m%</b>	0,078	-0,930*	-0,808*	-0,738*	0,515	-0,672*	1								
<b>V%</b>	-0,173	0,901*	0,856*	0,785*	-0,535	0,715*	-0,974*	1							
<b>MO</b>	-0,279	-0,334	-0,055	-0,081	0,439	0,047	0,296	-0,343	1						
<b>S</b>	-0,185	-0,211	-0,234	-0,216	0,251	-0,169	0,282	-0,236	0,404	1					
<b>P</b>	-0,352	0,374	0,140	0,037	-0,559	-0,016	-0,480	0,459	0,091	0,196	1				
<b>K</b>	-0,089	0,696*	0,838*	0,817*	-0,203	0,794*	-0,734*	0,733*	0,263	-0,101	0,383	1			
<b>Cu</b>	-0,783*	0,066	0,215	-0,012	-0,273	0,082	-0,142	0,229	-0,006	-0,122	0,152	0,066	1		
<b>Zn</b>	-0,520	0,560	0,365	0,208	-0,576*	0,186	-0,569	0,632*	-0,186	0,274	0,719*	0,322	0,506	1	
<b>B</b>	-0,379	0,494	0,427	0,443	-0,217	0,383	-0,404	0,494	-0,066	0,117	0,596*	0,447	0,176	0,638*	1

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

**Tabela 15** - Estimativas das correlações de Pearson entre potencial erosivo (PEro) e propriedades químicas do solo que ocorrem no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS (pH em água (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , saturação de alumínio (m%) e saturação de bases (V%) em porcentagem, matéria orgânica em porcentagem (MO), enxofre (S), fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) em  $\text{mg dm}^{-3}$ ).

	PEro	pH	Ca	Mg	Al	CTCef	m%	V%	MO	S	P	K	Cu	Zn	B
<b>Pero</b>	1														
<b>pH</b>	-0,283	1													
<b>Ca</b>	-0,559	0,762*	1												
<b>Mg</b>	-0,430	0,740*	0,959*	1											
<b>Al</b>	0,298	-0,397	-0,131	-0,023	1										
<b>CTCef</b>	-0,456	0,668*	0,962*	0,970*	0,133	1									
<b>m%</b>	0,445	-0,930*	-0,809*	-0,738*	0,515	-0,672*	1								
<b>V%</b>	-0,496	0,901*	0,856*	0,785*	-0,535	0,715*	-0,974*	1							
<b>MO</b>	-0,307	-0,334	-0,055	-0,081	0,439	0,047	0,296	-0,343	1						
<b>S</b>	0,216	-0,211	-0,234	-0,216	0,251	-0,169	0,282	-0,236	0,404	1					
<b>P</b>	-0,534	0,374	0,140	0,037	-0,559	-0,016	-0,480	0,459	0,091	0,196	1				
<b>K</b>	-0,582*	0,696*	0,838*	0,817*	-0,203	0,794*	-0,734	0,733*	0,263	-0,101	0,383	1			
<b>Cu</b>	-0,490	0,066	0,215	-0,012	-0,273	0,082	-0,142	0,229	-0,006	-0,122	0,152	0,066	1		
<b>Zn</b>	-0,450	0,560	0,365	0,208	-0,576*	0,186	-0,569	0,632	-0,186	0,274	0,719*	0,322	0,506	1	
<b>B</b>	-0,581*	0,494	0,427	0,443	-0,217	0,383	-0,404	0,494	-0,068	0,117	0,596*	0,447	0,176	0,638*	1

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

Observando a Tabela 16, que apresenta as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características químicas do solo sobre a EAtu e sobre o PEro, percebe-se que os coeficientes de determinação foram médio e alto, respectivamente, e que as variáveis explicativas Ca, Mg, MO, S, P e K explicam 69,35% e 84,24% das variáveis principais EAtu e PEro, respectivamente.

Para a variável principal EAtu nenhuma das variáveis explicativas apresentou correlação total de Pearson significativa, sendo que somente o teor de fósforo (P) teve correlação negativa média com a erosão do solo, ou seja, quanto maior a erosão, menor o teor de P no solo.

Assim como para as características físicas do solo, discutir relações de causas e efeitos que envolvam características químicas do solo é uma tarefa difícil, pois elas estão estreitamente interligadas umas com as outras, são também facilmente alteradas por ações antrópicas, como o uso e manejo inadequado do solo, porém são mais fáceis de serem recuperadas se comparadas às características físicas.

O K teve correlação negativa significativa com o PEro, sendo explicado por um efeito direto positivo alto e indireto negativo também alto via Ca. O Ca e P apresentaram correlações negativas semelhantes ao do K com o PEro, porém não significativas. Sendo assim, quanto menores os teores de K, Ca e P, maior o potencial erosivo do solo, esta tendência ocorreu também com o elemento Mg e com a matéria orgânica.

“A matéria orgânica é a base da conservação do solo” já dizia Nolla na década de 80, ela tem um papel extraordinário e inigualável para as boas qualidades do solo (NOLLA, 1982). Segundo o mesmo autor, a matéria orgânica tende a equilibrar o solo tanto no aspecto físico, como no químico e ainda no biológico. Considerando que a erosão do solo não é causa, mas efeito, e que é a resultante de uma série de fatores que agem em interações, deve-se solucionar o problema pela causa e não pelo efeito.

“A matéria orgânica também é a base para o controle à erosão do solo, porque, se este tiver uma boa permeabilidade, uma boa estrutura, uma boa fertilidade, enfim, se tiver um equilíbrio físico-químico, macro e microbiológico, terá, obviamente, uma capacidade mais elevada e até mesmo evitará a erosão acelerada e não só a controlará” (NOLLA, 1982).

**Tabela 16** - Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson e respectivas estimativas dos efeitos diretos e indiretos do cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , matéria orgânica em porcentagem (MO), enxofre (S), fósforo (P) e potássio (K) em  $\text{mg dm}^{-3}$  sobre a erosão atual do solo (EAtu) e sobre o potencial erosivo do solo (PEro) no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria - RS.

<b>Efeito</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>MO</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
Direto sobre EAtu	-2,3918	1,1935	-0,6012	-0,0153	-0,4982	1,2900
Indireto via Ca	-	-2,2934	0,1307	0,5587	-0,3338	-2,0049
Indireto via Mg	1,1444	-	-0,0968	-0,2578	0,0440	0,9748
Indireto via MO	0,0328	0,0488	-	-0,2426	-0,0544	-0,1582
Indireto via S	0,0036	0,0033	-0,0062	-	-0,0030	0,0015
Indireto via P	-0,0695	-0,0183	-0,0451	-0,0974	-	-0,1909
Indireto via K	1,0813	1,0535	0,3395	-0,1306	0,4944	-
Total de Pearson	-0,1991	-0,0126	-0,2791	-0,1850	-0,3510	-0,0877
Coeficiente de determinação = 0,6935						
Direto sobre PERO	-1,0958	-0,0580	-0,7425	0,4884	-0,7605	0,9206
Indireto via Ca	-	-1,0507	0,0599	0,2560	-0,1529	-0,9186
Indireto via Mg	-0,0556	-	0,0047	0,0125	-0,0021	-0,0474
Indireto via MO	0,0406	0,0602	-	-0,2996	-0,0672	-0,1954
Indireto via S	-0,1141	-0,1055	0,1971	-	0,0955	-0,0494
Indireto via P	-0,1061	-0,0280	-0,0689	-0,1487	-	-0,2914
Indireto via K	0,7717	0,7519	0,2423	-0,0932	0,3528	-
Total de Pearson	-0,5593	-0,4301	-0,3074	0,2154	-0,5344	-0,5816*
Coeficiente de determinação = 0,8424						

\*Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade de erro, n = 12 observações.

#### 4.4 Recuperação da mata ciliar da Sanga lagoão do Ouro

Ao longo da discussão dos resultados nos itens anteriores, foi muito comentado em intervenções de recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro e algumas medidas e alternativas fundamentais foram apresentadas. Baseado nos resultados obtidos, entre eles, baixo potencial de regeneração natural da mata ciliar, grande número de espécies exóticas, conflitos de uso dos solos, características químicas e físicas do solo degradadas e, principalmente, erosão e potencial erosivo acentuados, recomenda-se intervenções antrópicas no sentido de recuperar a mata ciliar, começando por estagnar as causas de degradação respeitando a potencialidade de uso dos solos.

Porém tais medidas não são o suficiente para que o ecossistema se recupere. Serão necessárias medidas mais intensas de recuperação, como reflorestamento das áreas ciliares com espécies arbóreas nativas. O reflorestamento tem o objetivo de fornecer matéria orgânica ao solo e com ela melhorias nas características químicas e físicas, principalmente quando se faz uso de espécies leguminosas, pois são espécies que além de regenerar a estrutura do solo, aumentam o teor de nutrientes (NOLLA, 1982).

Segundo o mesmo autor, a estabilidade dos agregados está bastante relacionada com a matéria orgânica, e ela favorece a estrutura do solo. Por sua vez, a boa estrutura, favorecida pela matéria orgânica, tem a tendência de deixar o solo fofo e poroso, a semelhança de uma esponja, permitindo, assim, uma boa infiltração de água, do ar e das raízes. Obviamente um solo com estas características tem condições de melhor resistir a erosão, uma vez que, esta não é a causa, mas é uma consequência da degradação.

Pela citação anterior, percebe-se claramente que, o objetivo principal é recuperar a matéria orgânica, uma das formas mais eficientes e recomendadas é com o reflorestamento de espécies florestais e de ocorrência natural.

No levantamento florístico e na avaliação do banco de sementes da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro (Tabelas 1, 2 e 3), observou-se que, além do pequeno número de espécies florestais nativas encontradas, poucas possuem potencial de regeneração natural, além disso, o grande número de espécies exóticas evidencia a degradação da mata ciliar, sendo que, para a recuperação deste ecossistema, faz-se necessário a revegetação. A seleção destas espécies poderá ser feita com base em levantamentos realizados na região em áreas que não estejam degradadas ou em melhor estado de conservação.

As espécies usadas na revegetação da mata ciliar foram selecionadas com base na análise da composição florística em áreas próximas, em baixo estágio de degradação e listados de acordo com a classificação sucessional e disponibilidade de mudas. Após seleção foram usadas as espécies florestais de ocorrência natural apresentadas na Tabela 17.

**Tabela 17** – Espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

Nome científico	Nome comum	Família	Classificação Sucessional
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil. et al.) Radlk.	Chal-chal	Sapindaceae	PI, SI
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.	Grápia	Fabaceae	ST, C
<i>Ateleia glazioviana</i> Baillon	Timbó	Fabaceae	PI
<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Canjerana	Meliaceae	ST
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Chá-de-bugre	Malvaceae	PI, SI, ST
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro	Meliaceae	SI, ST
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Tarumã-de-espinho	Verbenaceae	ST
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Camboatá-vermelho	Sapindaceae	ST
<i>Diospyrus inconstans</i> Jacq.	Maria-preta	Ebenaceae	PI
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Timbaúva	Fabaceae	PI, SI, ST
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cerejeira-do-mato	Myrtaceae	ST
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira	Myrtaceae	PI, SI
<i>Luehea divaricata</i> Mart. et Zucc.	Açoita-cavalo	Tiliaceae	SI
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Angico-vermelho	Fabaceae	SI
<i>Pelthophorum dubium</i> (Spreng.) Taub	Canafistula	Fabaceae	PI, SI
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-do-mato	Rosaceae	SI, ST
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira-vermelha	Anacardiaceae	PI
<i>Handroanthus heptaphylla</i> (Vell.) Toledo	Ipê-roxo	Bignoniaceae	SI, ST
<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	Catiguá	Meliaceae	ST, C

**Onde:** PI: Pioneira, SI: Secundária Inicial, ST: Secundária Tardia e C: Clímax.

A escolha de espécies nativas regionais é importante porque tais espécies já estão adaptadas às condições ecológicas locais. Além disso, no planejamento da recuperação deve-se considerar também a relação da vegetação com a fauna, que atuará como dispersora de sementes, contribuindo com a própria regeneração natural. Espécies regionais, com frutos comestíveis pela fauna, ajudarão a recuperar as funções ecológicas da floresta.

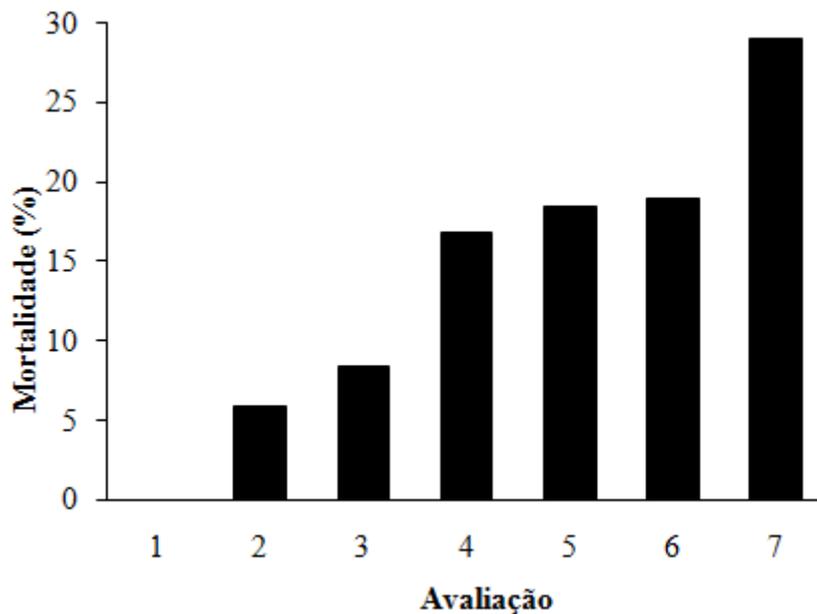
Recomenda-se utilizar um grande número de espécies para gerar diversidade florística, imitando, assim, uma floresta ciliar nativa. Florestas com maior diversidade apresentam maior capacidade de recuperação de possíveis distúrbios, melhor ciclagem de nutrientes, maior atratividade à fauna, maior proteção ao solo de processos erosivos e maior resistência a pragas e doenças (MARTINS, 2001).

Na Figura 6 pode-se observar a porcentagem de mortalidade das mudas, nas sete avaliações realizadas. Na primeira avaliação, ocorrida 33 dias após o plantio das mudas, não

foi observada mortalidade. Na segunda avaliação observou-se que 5,79% das mudas haviam morrido. Na terceira avaliação, este valor subiu para 8,42% e, na quarta avaliação, o valor dobrou com relação à avaliação anterior (16,85%), a partir desta tendeu a estabilizar em 18,42% e 18,85% na quinta e sexta avaliação, respectivamente. Na última avaliação, realizada exatamente um ano após o plantio das mudas, observou-se 28,95% de mortalidade das mudas.

As principais causas de mortalidade das mudas foram saturação do solo com água em algumas partes onde o solo é mais hidromórfico, corte por formigas e queima pelo sol, principalmente na segunda e terceira avaliação, corte por outros insetos, geadas intensas (Apêndice 13), etc., o que levou muitas mudas a não mais terem condições de brotar.

Existem dois problemas imediatos após o plantio: a mortalidade das mudas e o crescimento extremamente lento ou estagnado. Segundo Vasconcelos (2008), são vários os fatores que influenciam a sobrevivência das mudas no início do plantio: operação do próprio plantio; a firmeza do solo ao redor das raízes e a profundidade das covas; as condições meteorológicas após o plantio; a qualidade das sementes, mudas com raiz nua ou mudas em embalagem; condições desfavoráveis do solo, como superfície alagada ou erosão; ataque de formigas, cupins ou fungos; competição de ervas daninhas, etc.



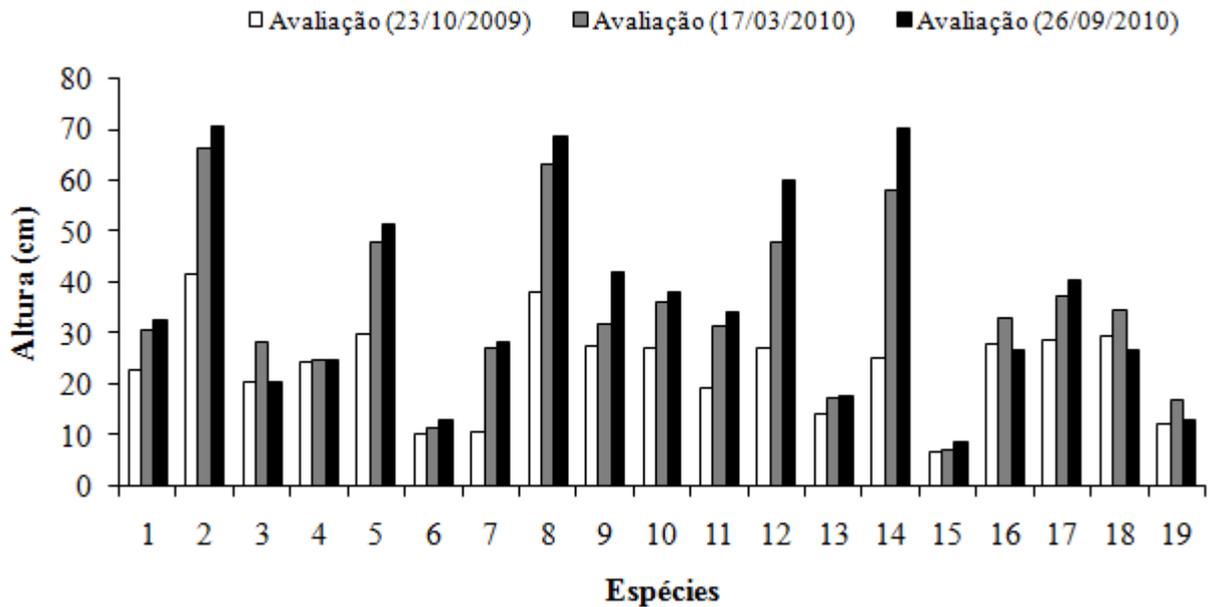
**Figura 6** – Porcentagem de mortalidade das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Onde:** 1 (23/10/2009: 1 mês após plantio), 2 (17/12/2009: 3 meses após plantio), 3 (30/01/2010: 4,5 meses após plantio), 4 (17/03/2010: 6 meses após plantio), 5 (08/05/2010: 8 meses após plantio), 6 (16/07/2010: 10 meses após plantio) e 7 (26/09/2010: 12 meses após o plantio).

As mudas implantadas foram avaliadas quanto a parâmetros quantitativos (altura e diâmetro do colo) e qualitativos (sintomática geral), conforme Figuras 7, 8 e 9. Na Figura 7, que apresenta a altura média das mudas de cada espécie, pode-se observar que algumas apresentam altura bem superior às outras, ocorreu que, por ocasião do plantio, o tamanho das mudas não era uniforme entre as espécies. Pode-se observar também que, algumas espécies tiveram crescimento bem superior às outras, isso se deve ao fato destas espécies serem pioneiras ou secundárias iniciais e assim crescerem de forma mais rápida que outras classificadas sucessionalmente como secundárias tardias ou clímax, sendo que destas, algumas, praticamente não cresceram em altura. Comportamento semelhante foi observado para a variável diâmetro do colo (Figura 8). Nos Apêndices 14 e 15, pode se observar os dados da altura e diâmetro do colo de todas as espécies nas sete avaliações realizadas.

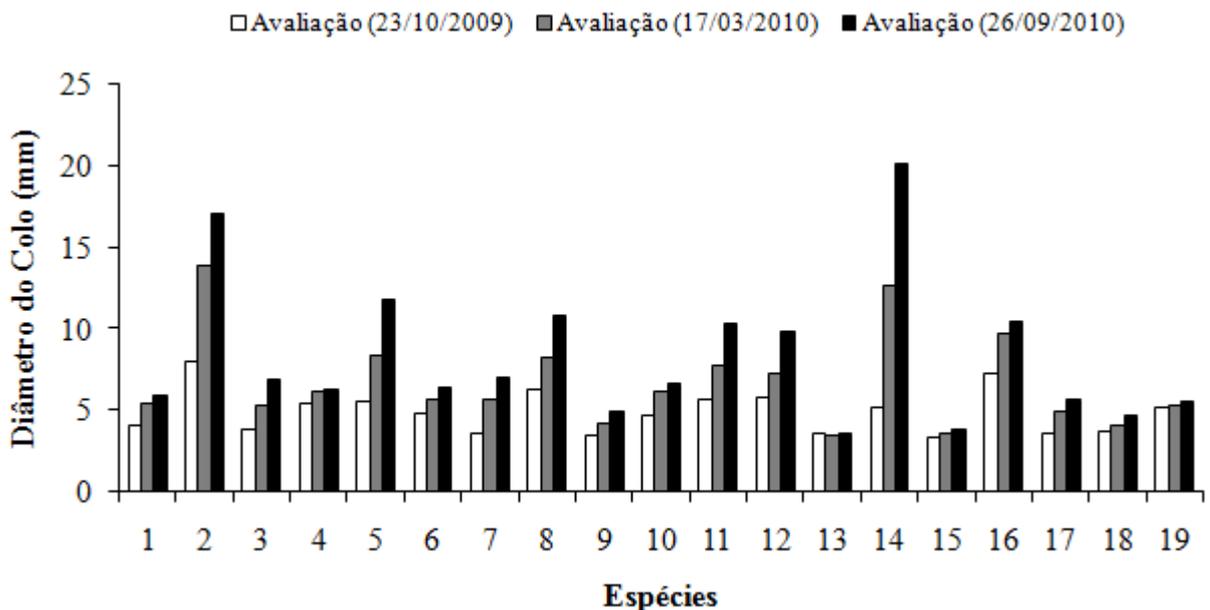
O crescimento lento e deficiente, mesmo sem a ocorrência de pragas, pode ocorrer em qualquer período (AMBIENTE BRASIL, 2008). Normalmente acontece antes do fechamento do dossel. Existem vários fatores que podem causar esta deficiência em crescimento e desenvolvimento: seleção errada das espécies; deficiência de nutrientes; drenagem insuficiente do solo ou lixiviação excessiva; problemas no solo, como compactação, erosão; deficiência ou ausência da associação micorrízica; capinas insuficientes, etc.

*Ateleia glazioviana* (Timbó), *Luehea divaricata* (Açoita-cavalo), *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-vermelha), *Citharexylum myrianthum* (Tarumã-de-espinho) e *Enterolobium contortisiliquum* (Timbaúva) foram as espécies que apresentaram maior crescimento em altura e diâmetro do colo. Já, as espécies que apresentaram menor crescimento foram a *Casearia sylvestris* (Chá-de-bugre), *Eugenia involucrata* (Cerejeira-domato), *Diospyrus inconstans* (Maria-preta), *Trichilia catigua* (Catiguá), *Cupania vernalis* (Camboatá-vermelho) e *Cabrlea canjerana* (Canjerana). As primeiras são consideradas pioneiras ou secundárias iniciais, com exceção da *Citharexylum myrianthum*, que é secundária tardia e, crescem de forma mais rápida que estas últimas, classificadas ecologicamente, como secundárias tardias ou clímax, com exceção da *Diospyrus inconstans*, que é considerada uma espécie pioneira, mas que, provavelmente, devido a fatores adversos, não se desenvolveu como o esperado.



**Figura 7** – Altura das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

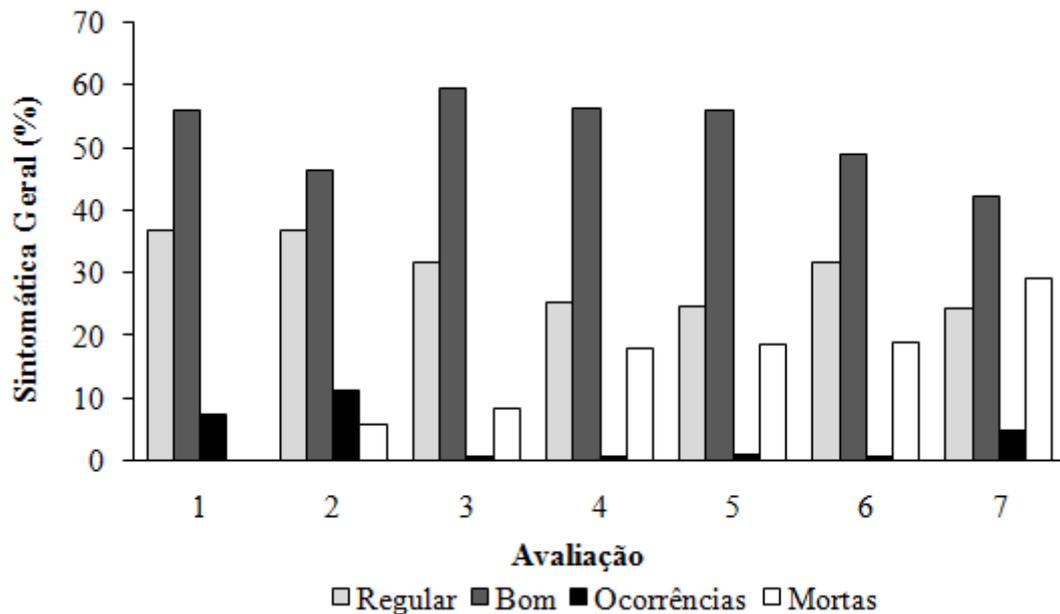
**Onde:** 1 (Ângico-vermelho), 2 (Timbó), 3 (Chá-de-bugre), 4 (Cerejeira-do-mato), 5 (Açoita-cavalo), 6 (Maria-preta), 7 (Ipê-roxo), 8 (Aroeira-vermelha), 9 (Grápia), 10 (Pitangueira), 11 (Canafístula), 12 (Tarumã-de-espinho), 13 (Catiguá), 14 (Timbaúva), 15 (Camboatá-vermelho), 16 (Cedro), 17 (Chal-chal), 18 (Pessegueiro-do-mato), 19 (Canjerana).



**Figura 8** – Diâmetro do colo das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Onde:** 1 (Ângico-vermelho), 2 (Timbó), 3 (Chá-de-bugre), 4 (Cerejeira-do-mato), 5 (Açoita-cavalo), 6 (Maria-preta), 7 (Ipê-roxo), 8 (Aroeira-vermelha), 9 (Grápia), 10 (Pitangueira), 11 (Canafístula), 12 (Tarumã-de-espinho), 13 (Catiguá), 14 (Timbaúva), 15 (Camboatá-vermelho), 16 (Cedro), 17 (Chal-chal), 18 (Pessegueiro-do-mato), 19 (Canjerana).

Na Figura 9 são apresentados os dados referentes a sintomatologia geral das mudas. Observou-se que as mudas tiveram uma ligeira queda na aparência na segunda avaliação, provavelmente ocasionado pelo excesso de chuvas e pelo ataque de formigas cortadeiras. Na terceira avaliação houve uma melhora considerável na aparência das mudas, tendendo a estabilizar, porém nas últimas avaliações observou-se nova queda, provocada pelo aumento considerável na porcentagem de mortalidade das mudas.



**Figura 9** – Sintomatologia geral das mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Onde:** 1 (23/10/2009: 1 mês após plantio), 2 (17/12/2009: 3 meses após plantio), 3 (30/01/2010: 4,5 meses após plantio), 4 (17/03/2010: 6 meses após plantio), 5 (08/05/2010: 8 meses após plantio), 6 (16/07/2010: 10 meses após plantio) e 7 (26/09/2010: 12 meses após o plantio).

Observa-se que as ocorrências foram mais intensas na primeira e segunda avaliação, quase não sendo observadas nas demais, provavelmente devido a fatores climáticos mais favoráveis e também pelo maior tamanho das mudas, o que permite maior resistência a danos.

Nas parcelas onde não houve revegetação com espécies nativas, ou seja, naquelas onde o objetivo era avaliar a possível regeneração natural da mata ciliar, observou-se que apenas duas espécies, *Prunus myrtifolia* (Pessegueiro-do-mato) com seis indivíduos e *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-vermelha) com 15 indivíduos, tiveram potencial de se regenerar naturalmente na área avaliada.

Em áreas onde a degradação for muito intensa, como margens desbarrancadas, principalmente em áreas urbanas, onde residências correm o risco de vir a ruir para dentro do curso d'água, situação observada no presente estudo, intervenções mais acentuadas necessitam ser usadas. Segundo Sutili (2007), a bioengenharia de solos seria uma destas intervenções mais intensas.

Para a estabilização/recuperação das margens erodidas foram usadas obras de bioengenharia de solos. Técnicas de bioengenharia de solos são indicadas levando em consideração o estado de degradação da margem e os recursos disponíveis para a sua construção, sendo a aplicação destas geralmente eficientes, (Sutili, 2007). Uma técnica bastante eficiente e que foi usada no presente estudo é a esteira viva aliada a uma parede-Krainer.

Segundo Durlo e Sutili (2005), esteira viva é descrita como: “ramos no seu máximo comprimento são dispostos acompanhando a inclinação do talude e com as suas bases dentro da água, firmemente presas por pedras e/ou troncos. Pilotos de madeira com varas de bambu ou arame são usados para fixar os ramos contra o talude, sendo tudo coberto por uma fina camada de solo”. Ainda segundo os mesmos autores, a característica principal da esteira viva “restringe-se a taludes fluviais e requer uma grande quantidade de material vegetal. Quando possível de ser implantado produz os efeitos protetivos mais rápidos. Muito eficiente em taludes nos quais a força da água é de impacto frontal. Logo após a implantação já suporta tensões muito altas”.

Na Figura 10, pode-se observar a margem da sanga erodida antes da implantação da obra de bioengenharia de solos. Apenas uma semana após a implantação do experimento observou-se que a obra resistiu bem ao grande volume de água, advindo de fortes chuvas na região (Figura 11), no mês de setembro de 2009 houve uma precipitação acumulada de 345,6 mm, sendo que destes, aproximadamente 200 mm ocorreram em apenas dois dias, ou seja, uma semana após a implantação da obra de bioengenharia de solos. Esta resistência deve-se a parede-Krainer, pois os ramos de Sarandi-vermelho ainda não estavam brotados, muito menos enraizados. Nos Apêndices 16, 17 e 18 pode-se observar os dados relacionados a temperatura, umidade relativa do ar e precipitação para o período de agosto de 2009 até setembro de 2010, ou seja, desde a implantação do experimento até a última avaliação realizada.

Na Figura 12 pode-se observar a obra de bioengenharia de solos dois meses após a sua implantação, percebe-se considerável número de brotações das varas de *Sebastiania schottiana*, com altura e diâmetro pequenos e que proporcionavam pouca cobertura ao solo, algo em torno de 10 a 15%. Após três meses, a obra apresentou maior número de brotações,

brotos com altura entre 50 e 60 cm e que proporcionavam uma cobertura de 30 a 40% ao solo na margem da sanga.

Após quatro meses de implantação, a obra de bioengenharia de solos apresentava brotos que chegam a 1 m de altura e diâmetro de até 10 mm, grande número de pequenos brotos, boa cobertura do solo (entre 70 e 80%) e 50 a 60 brotos  $m^{-2}$  (Figura 13).



**Figura 10** – Margem da Sanga Lagoão do Ouro erodida antes da implantação da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.



**Figura 11** – Margem da Sanga Lagoão do Ouro uma semana após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.



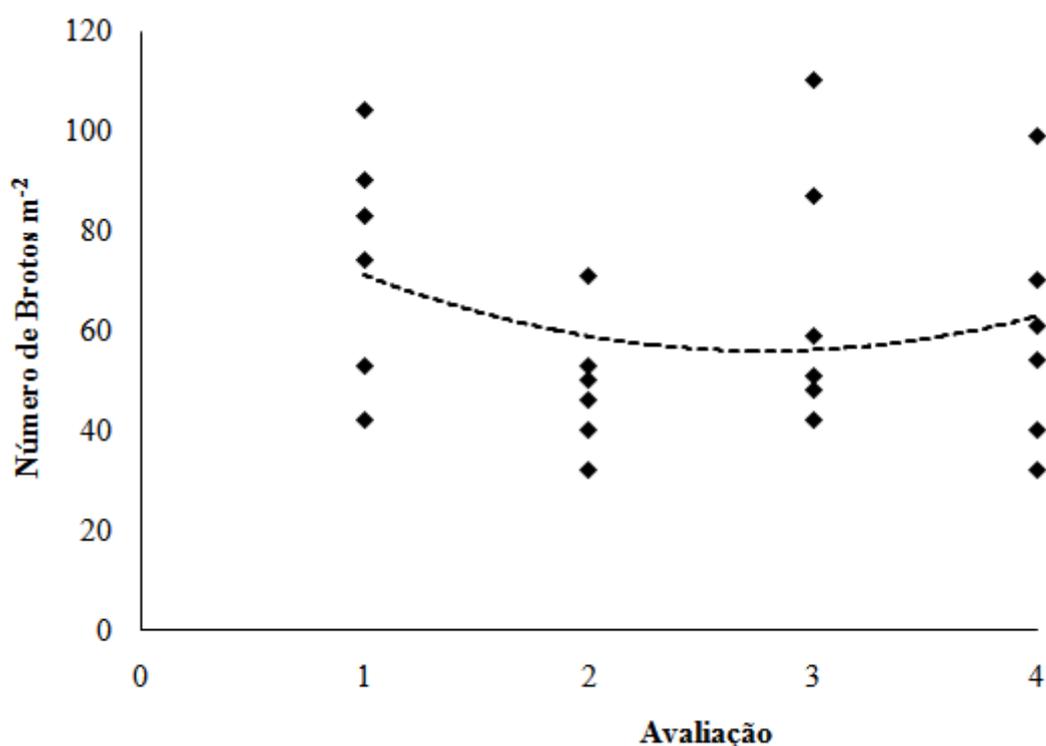
**Figura 12** – Margem da Sanga Lagoão do Ouro dois meses após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.



**Figura 13** – Margem da Sanga Lagoão do Ouro quatro meses após a construção da obra de bioengenharia de solos, Santa Maria – RS.

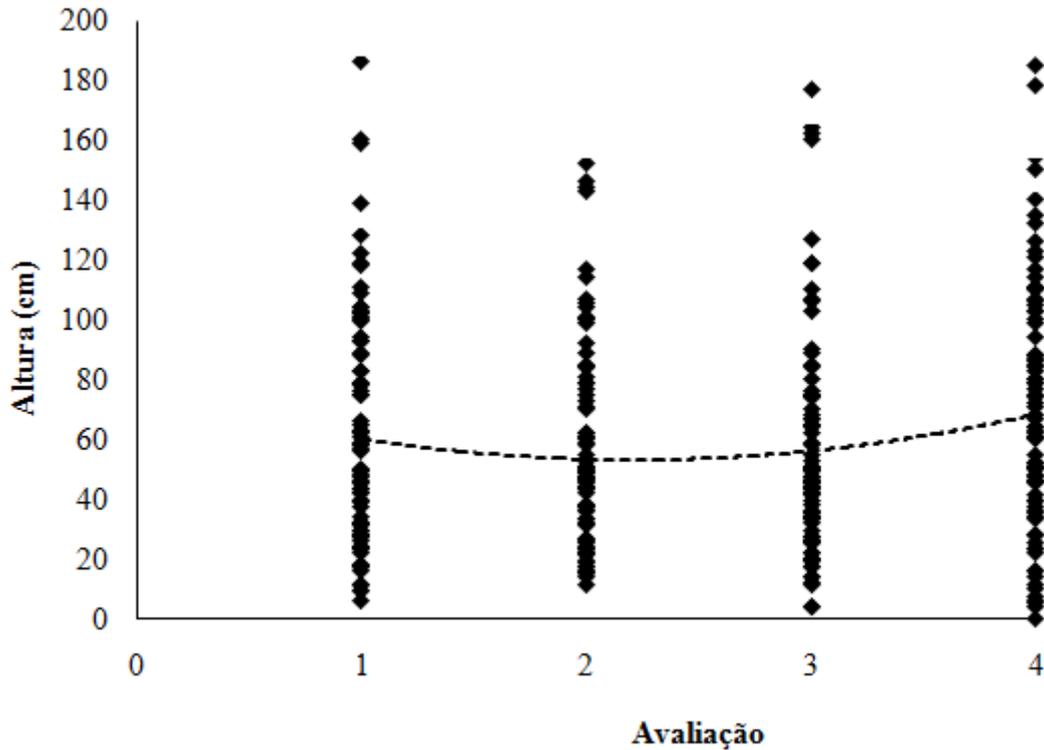
A partir do sexto mês procedeu-se com avaliações bimestrais na obra de bioengenharia. Nas Figuras 14, 15 e 16, pode-se observar, respectivamente, o número de brotos  $m^{-2}$ , a altura e o diâmetro do colo dos brotos de *Sebastiania schottiana*, usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro.

Nas avaliações realizadas observou-se grande número de brotações e um bom crescimento e desenvolvimento dos ramos usados na esteira viva, o que mostra a adaptação e eficiência da espécie usada para a contenção do talude e controle da erosão do solo nas margens da sanga. Monteiro (2009), estudando a influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural, observou que e as estacas de *Sebastiania schottiana* não apresentaram brotação, nem enraizamento, o que segundo a autora seria, provavelmente, pela época de coleta das estacas (final de agosto), mesma época de coleta do presente estudo, não se confirmando, portanto, esta hipótese. Os ramos de Sarandi-vermelho encontram-se com altura média de 69,1 cm e diâmetro médio de 5,8 mm, tendo decorrido, até a última avaliação, quase 13 meses da construção da obra de bioengenharia de solos. O talude encontra-se completamente revestido pelas brotações, o que permitiu a proteção contra a erosão do solo.



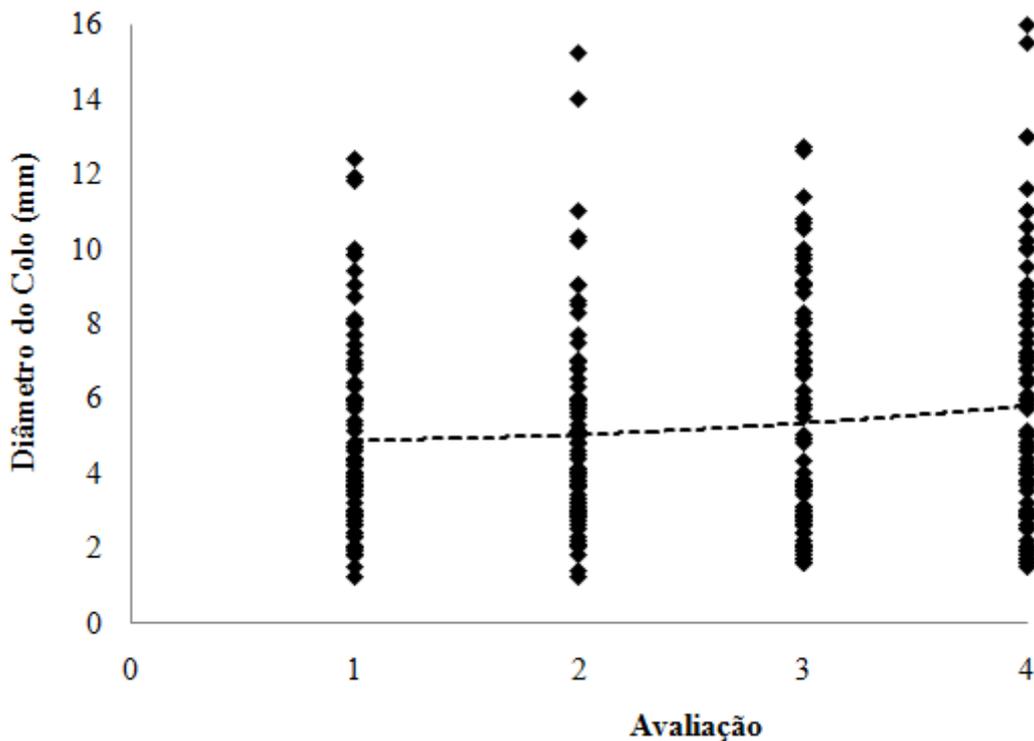
**Figura 14** – Número de brotos  $m^{-2}$  de *Sebastiania schottiana* usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

Onde: 1 (17/03/2010: 6,5 meses de idade), 2 (08/05/2010: 8,5 meses de idade), 3 (16/07/2010: 10,5 meses de idade) e 4 (26/09/2010: 13 meses de idade).



**Figura 15** – Altura dos brotos de *Sebastiania schottiana* usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Onde:** 1 (17/03/2010: 6,5 meses de idade), 2 (08/05/2010: 8,5 meses de idade), 3 (16/07/2010: 10,5 meses de idade) e 4 (26/09/2010: 13 meses de idade).



**Figura 16** – Diâmetro do colo dos brotos de *Sebastiania schottiana* usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Onde:** 1 (17/03/2010: 6,5 meses de idade), 2 (08/05/2010: 8,5 meses de idade), 3 (16/07/2010: 10,5 meses de idade) e 4 (26/09/2010: 13 meses de idade).

Observando as curvas de tendência que representam as médias dos valores (Figuras 14, 15 e 16) percebe-se que houve um decréscimo, tanto do número de brotações  $m^{-2}$ , como da altura dos brotos, da avaliação realizada na bioengenharia em maio em relação à anterior. Isto aconteceu devido à senescência e mortalidade de brotos, em função da baixa precipitação observada, principalmente, no mês de março de 2010, sendo que o acumulado daquele mês foi de apenas 25,1 mm, o que resultou em um período sem que houvesse presença de água na sanga, afetando negativamente a brotação do Sarandi-vermelho (Figura 17A).

Além da senescência e mortalidade observada, o baixo crescimento subsequente, devido ao fato dos brotos estarem se recuperando fisiologicamente, resultou em valores de altura baixos na terceira avaliação, sendo estes menores que na avaliação realizada em março. Na última avaliação realizada pode-se observar uma considerável recuperação dos brotos de Sarandi-vermelho usado na bioengenharia, proporcionando boa cobertura do solo e talude completamente estabilizado e sem erosões (Figura 17B).



**Figura 17** – Brotos senescentes em 08/05/2010 (A) e brotos recuperados em 26/09/2010 (B) de *Sebastiania schottiana* usado como esteira viva na obra de bioengenharia de solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

## 5 CONCLUSÕES

- O levantamento florístico mostrou haver degradação da mata ciliar, evidenciada pelo baixo número de espécies nativas, pela má distribuição das espécies nos diferentes estratos e pela grande presença de espécies exóticas;

- Possuem potencial de regeneração natural apenas as espécies que apresentaram maior frequência e que aparecem nos três estratos florísticos levantados, tais como: *Eugenia uniflora*, *Allophylus edulis*, *Psidium guajava*, *Cestrum strigillatum*, *Prunus myrtifolia*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Casearia sylvestris*, *Cupania vernalis* e *Schinus terebenthifolius*;

- O banco de sementes do solo também mostrou haver degradação da mata ciliar, evidenciada pelo baixo número de espécies arbóreas nativas e pelo grande número de espécies exóticas e herbáceas invasoras;

- Possuem potencial de regeneração natural via banco de sementes do solo apenas as espécies arbóreas nativas observadas na avaliação e que apresentaram maior frequência, tais como: *Eugenia uniflora*, *Cestrum strigillatum*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Prunus myrtifolia*, *Sapium glandulatum* e *Myrsine umbellata*;

- Há correlação entre os fatores ambientais e antrópicos com a erosão dos solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, evidenciadas, principalmente, pela cobertura do solo, conflitos de uso e pelas características físicas: densidade e porcentagem de argila;

- Há correlação entre os fatores ambientais e antrópicos com o potencial erosivo dos solos nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, evidenciadas, principalmente, pela cobertura do solo, número de indivíduos florestais nativos, conflitos de uso, erosão atual do solo e pelas características físicas: densidade, macroporosidade, porcentagem de areia fina e de argila na composição textural do solo, bem como pelas características químicas: K, Ca e P;

- São necessárias intervenções antrópicas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, no que concerne à introdução de espécies que não possuem potencial de regeneração natural e a obras de bioengenharia de solos nas margens com erosão mais acentuada;

- As espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar são adequadas para tal objetivo, apresentando porcentagem de mortalidade dentro de limites aceitáveis para tal propósito e bom crescimento inicial;

- Via regeneração natural, na área experimental, apenas as espécies *Prunus myrtifolia* e *Schinus terebinthifolius* tiveram potencial de se estabelecer;
- A bioengenharia de solo é uma técnica eficiente no controle da erosão das margens de cursos d'água;
- A metodologia experimental de recuperação adotada pode ser expandida na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, principalmente nos locais onde as margens da sanga se encontram em estágio avançado de degradação.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Preservar os recursos naturais é preciso. Quando já se encontram degradados é necessário recuperá-los. Não podemos mais viver apenas explorando e consumindo nossos recursos naturais, precisamos urgentemente pensar e agir de forma conservacionista e restauradora para com os nossos ecossistemas. As matas ciliares são ecossistemas fundamentais para a manutenção da qualidade e quantidade de água, tão importante para a sobrevivência humana e de qualquer ser vivo sobre a superfície da Terra, além de desempenharem inúmeras outras funções, mas infelizmente o que se observa é que cada vez mais estão sendo destruídas e em seu lugar surgem mais e mais lavouras, áreas com pecuária, urbanização ou até mesmo o próprio abandono.

De acordo com a Constituição Federal Brasileira de 1988, “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL,2002).

De acordo com a Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965, em seu Art. 1º “As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem.”

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. T. V. N. **Recuperação de solos degradados pela agricultura**. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/RecSolos/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/RecSolos/index.htm)>. Acesso em: 22 set. 2006.

ALVARENGA, A. P. **Avaliação inicial da recuperação de matas ciliares em nascentes**. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

ALVARENGA, A. P.; PEREIRA, E. M.; PEREIRA, S. A. Avaliação do banco de sementes do solo, como subsídio para recomposição de mata ciliar, no entorno de duas nascentes na região de Lavras – MG. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, ano V, n. 09, junho de 2006.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

AMBIENTE BRASIL. Ambientes: florestal. **Manejo de reflorestamento**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 05 de agosto de 2008.

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Ed. Genesis, 2004. p. 75-92.

APG III. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 161, p. 105-121, 2009.

ARAÚJO, M. M. et al. Densidade e composição florística do banco de sementes do solo de florestas sucessionais na região do Baixo Rio Guamá, Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 115-130, 2001.

ARAÚJO, M. M. et al. Aspectos fitossociológicos de três sub-formações florísticas encontradas em fragmento de floresta estacional decidual ripária, Cachoeira do Sul, RS, Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, CCR, PPGEF, 2004. p. 339-344.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

BAHÍA, V. G. Fundamentos da erosão acelerada do solo: tipos, formas, mecanismos, fatores atuantes e controle. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p 25-31, 1992.

BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. O banco de sementes de um trecho de floresta Atlântica Montana (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Biologia**. Rio de Janeiro. v. 59, n. 2, p. 319-328. 1999.

BAKER, H. G. Some aspects of the natural history of seed banks. In: LECK, M. A.; PARKER, V. T.; SIMPSON, R. L. **Ecology of soil seed banks**. San Diego: Academic Press, p. 9-21. 1989.

BARROS, R. T. V, et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1995. 221 p.

BAZZAZ, F. A.; PICKETT, S. T. A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. **Annual Review on Ecology and Systematics**, v. 11, p. 287-310, 1980.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: água e biodiversidade, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sobrade, 2002. p. 123-145.

BRASIL. **Lei Federal n. 6.939 de 31 de agosto de 1981**: Define a política nacional do meio ambiente. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 27 de abril de 2007.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização do texto: Juarez de Oliveira. Brasília, 2002. 427 p. (Série Legislação Brasileira).

BREN, L. J. Riparian Zone, stream, and floodplain issues: a review. **Journal of Hydrology**, Austrália, v. 150, n. 2-4, p. 277-229, 1993.

BRITES, A. P. Z. **Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana**. 2005. 177 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BRITO, F.; CÂMARA, J. B. D. **Democratização e gestão ambiental: em busca do desenvolvimento sustentável**. Petrópolis: Vozes, 1998. 332 p.

BUDOWSKI, A. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional progresses. **Turrialba**, v. 15, p. 2-40, 1965.

CÂMARA, G. et al. **SPRING**: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, 1996.

CARPANEZZI, A. A. Benefícios indiretos da floresta. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, p. 19-55.

CARVALHO, P. E. R. Técnicas de recuperação e manejo de áreas degradadas. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Colombo: Embrapa Florestas. 2000. p. 251 - 268.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.

COGO, N. P. et al. Retomada, redefinição e intensificação da pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, SBCS, 2004. CD ROM.

COGO, C. M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas em Santa Maria, RS, determinada pelo índice EI<sub>30</sub>. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v.14, n.3, p. 1-11, 2006.

CRUZ, C. D. **Programa Genes – versão Windows**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 579 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

DENARDI, L. **Anatomia e flexibilidade do caule de quatro espécies lenhosas para o manejo biotécnico de cursos de água**. 2007. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Porto Alegre: EST Edições, 2005. 189 p.

DURLO, M. A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 81-90, jul./dez. 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento de Solos, Rio de Janeiro. **Manual e métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (SNLCS), 1979. 247 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recuperação de áreas degradadas**. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br>>. Acesso em: 25 de julho de 2008.

ESPÍNDOLA, M. B. de et al. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. **Biotemas**, v. 18, n. 1, p. 27-38, 2005.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. van. **Física do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2010. p. 1-27.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. Influência da vegetação na estabilidade de taludes. In: **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2001. cap. 8, p. 295-318.

GALETI, P. A. **Conservação do solo: reflorestamento: clima**. 2. ed., Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 286 p.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984. 278 p.

GREGORICH, E. G.; GREER, K. J.; ANDERSON, D. W.; LIANG, B. C. Carbon distribution and losses: erosion and depositional effects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, n. 3-4, p. 291–302. 1998.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. **Recuperação de áreas degradadas usando vegetação ativa**. São Paulo: Saneamento Ambiental, p. 29-37, 1996.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 95 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População 2007**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/mapa\\_site/mapa\\_site.php#populacao](http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#populacao)>. Acesso em: 28 de abril de 2010.

JACINTHE, P. A. et al. Transport of labile carbon in runoff as affected by land use and rainfall characteristics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 111-113, 2004.

JARENKOW, J. A.; WAECHTER, J. L. Composição, estrutura e relações florísticas do componente arbóreo de uma floresta estacional no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 263-272, 2001.

JESUS, R. M. Revegetação: da teoria á prática, técnica de implantação. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO SOBRE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, 2., Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 569-576.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schunus terebenthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A.; CARPANEZZI, A. A. Implantação de matas ciliares: estratégia para auxiliar a sucessão secundária. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1., 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 130-143.

KAGEYAMA, P. Y.; REIS, A.; CARPANEZZI, A. A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1992.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, p.113-138. 2001.

KARSSIES, L. E.; PROSSER, P. **Guidelines for Riparian Filter Strips for Queensland Irrigators**. Canberra: CSIRO-Land and Water, 1999. 39 p.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL E ZONAS RIPÁRIAS, 1., 2003, Alfredo Wagner. **Anais...** Florianópolis: UFSC, PPEA, 2003. CD-ROM.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compactacion effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 107-136. 2003.

LONGHI, S. J.; ARAUJO, M. M.; KELLING, M. B. Aspectos fitossociológicos de fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 59-74, 2000.

LONGHI, S. J.; et al. Aspectos da composição florística e fitossociologia de um fragmento de floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONESUL, 2., 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2002a. CD-ROM.

LONGHI, S. J.; CAPRA, A.; MINELLO, A. L. Estudo fitossociológico de um trecho de mata ciliar do rio Vacacaí-mirim em Santa Maria-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 8., Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2002b. CD-ROM.

LONGHI, S. J.; et al. Banco de sementes do solo em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 359-370, 2005.

MAGURRAN, A. E. **Diversidad ecológica y su medición**. Barcelona: Vedral, 1989. 200 p.

MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001. 416 p.

MARTINS, F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: UNICAMP, 1991. 246 p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 143 p.

MENEGAT, R.; et al. **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1998. 228 p.

MEURER, E. J.; INDA Jr., A. V. Potássio e adubos potássicos. In: BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**, Porto Alegre: Ed. Genesis, 2004. p. 139-151.

MIRANDA, R. U. Estudo sobre a vegetação em dunas de rejeito de mineração no litoral norte do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 345- 351. 1997.

MONTEIRO, J. S. **Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 41 p.

MUELLER-DOMBOIS, E.; ELLENBERG, F. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley & Sons, 1974. 547 p.

MUSCUTT, A. D. et al. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 45, p. 59-77, 1993.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; DA SILVA, L. C. Estudo comparativo da diversidade arbóreo-arbustiva e das síndromes de dispersão de sementes em dois fragmentos florestais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2., 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, CCR, PPGEF, p. 401-413. 2001.

NOLLA, D. N. **Erosão do solo: o grande desafio**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1982. 412 p.

OLDEMAN, L. R. **The global extent of soil de gradation**. In: Soil Resilience and Sustainable Land Use. I (Eds.). GREENLAND: D. J. & SZABOCLS, p. 99-118. 1994.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, Lavras, v.1, n.1, p. 64-72, 1994.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. **Manejo e conservação de solos urbanos**. Santa Maria: UFSM/CCR, 2002. 5 p. (Informe técnico, 5 )

PEDRON, F. A. et al. Solos Urbanos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, 2004.

PEDRON, F. A. **Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria, RS.** 2005. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

PEDRON, F. A. et al. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras ao diagnóstico ambiental do município de Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 468-477, 2006.

PORTO, R. L. et al. 2. ed. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2001. p. 805-848.

RACHWAL, M. F. G; CAMATI, A. R. **Diagnóstico expedido sobre ocupação e conservação dos ambientes ciliares do município de Pinhais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 43 p. (Documentos, 64).

REETZ, E. F. **Avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do Campus da Universidade Federal de Santa Maria.** 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-49, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul.** Santa Maria: UFSM, 2001. p. 114-131.

REITZ, P.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do rio grande do sul.** Itajaí: Sellowia, 1983, 525 p.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain Forest an ecological study.** Cambridge: University Press, 1998. 575 p.

ROBAINA, L. E. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria, RS. **Ciência & Natura.** n. 23, p. 127-137, 2001.

RODRIGUES, R. R; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. Campinas: **Revista Brasileira Horticultura Ornamental**, v. 2, n. p. 14-15, 1996.

RODRIGUES, R. R. **Metodologia para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura**: um estudo de caso do rio Brilhante. Jaciá: UFMT/IBAMA, 1996. 46 p.

RUBIN, R. B. et al Resistência do solo influenciada pelo tráfego e sistemas de cultivos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...**, Santa Maria: UFSM, SBCS, 1998. CD-ROM.

SCAPINI, C. A. et. al. Medição da densidade e porosidade do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistemas de preparo do solo e pastejo animal. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1998.

SCHLOSSER, I. J.; KARR J. R. Water quality in agricultural watersheds: impact of riparian vegetation during base flow. **Water Resources Bulletin**, v. 17, n. 2, p. 233-240, 1981.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Ed. Pallotti. 1997. 50 p.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e o solo**. Porto Alegre: Ed. Pallotti, 1999. 83 p.

SEITZ, R. A. A. A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 103-110. 1994.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 201-204, 2001.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERRETA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed., Porto Alegre: Ed. Genesis, 2004. p. 73-99.

SIMPSON, R. L.; LECK, M. A.; PARKER, V. T. Seed banks: general concepts and methodological issues. In: LECK, M. A.; PARKER, V. T.; SIPMSON, R. L. (Eds.). **Ecology of soil seed banks**. London: Academic, p. 3-8. 1989.

SHIMIZU, J. Y. Estratégia complementar para conservação de espécies florestais nativas: resgate e conservação de ecótipos ameaçados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.54, p.07-35, 2007.

SIQUEIRA, L. P. de. **Monitoramento de áreas restauradas no interior do estado de São Paulo, Brasil**. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em conservação de ecossistemas florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2002.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação de aspectos da dinâmica de florestas restauradas, com diferentes idades**. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2002.

SOUZA, P. A. de. et al. Avaliação do banco de sementes contido na serrapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 56-67, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed., Porto Alegre: SBCS, 2004. 394 p.

SPIAZZI, C. F. T. **Análise dos aspectos populacionais, infra-estrutura e equipamentos urbanos das Vilas Soares do Canto, Jardim e Aparício de Moraes no Bairro Camobi, Santa Maria – RS**. 2002. 67 f. Monografia (Bacharelado em Geografia)– Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

STEEL, R. G. D. et al. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3rd ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. 107 p.

SUTILI, F. J. **Bacia hidrográfica do Arroio Grarda-mor: características e proposições para o manejo dos cursos de água**. 2001. 72 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de cursos de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 13-20, 2004.

SUTILI, F. J. **Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil: espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática.** 2007. 95 f. Tese (Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem) - Universidade Rural de Viena, Viena-Áustria, 2007.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Acidez do solo e seus efeitos nas plantas. In: BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Ed. Genesis, 2004. p. 75-92.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, 712 p. 2002.

VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza - RS.** 1997. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

VAN DEN BERG, E.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Composição florística e estrutura fitossociológica de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e comparação com outras áreas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 231-253, 2000.

VASCONCELOS FLORESTAL. Disponível em: <<http://www.reflorestar.com.br>> Acesso em: 12 de abril de 2010;

VIANA, V. M. Seed and seedling availability as a basis for management of natural forest regeneration. In: ANDERSON, A. B. **Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon Rain Forest.** New York: Columbia University Press, p. 99-115. 1990.

WERNECK, M. de S. et al. Florística e estrutura de três trechos de uma floresta semidecídua na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.1, p. 97-106, 2000.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

ZILLER, S. R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 178, p. 77-79, 2001.

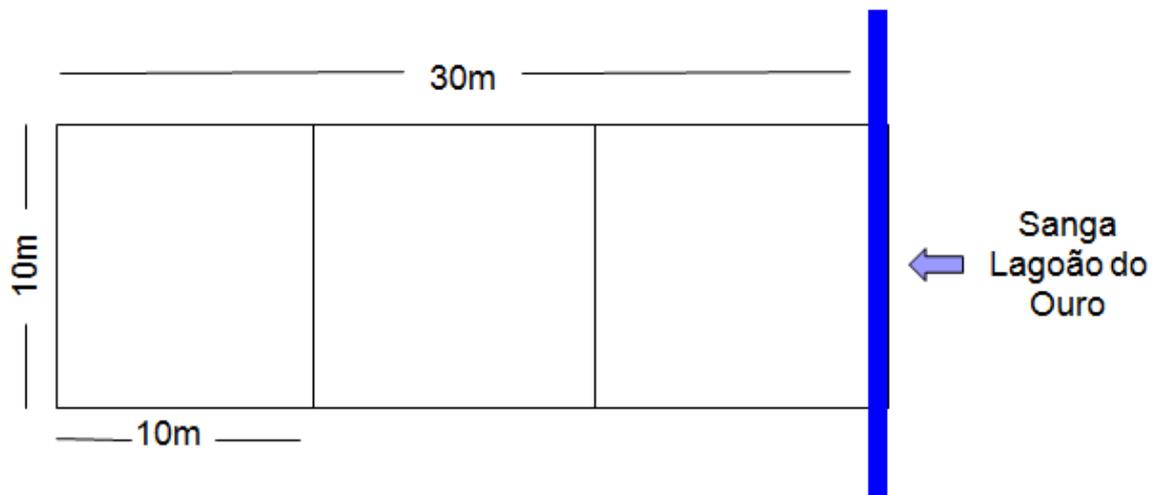
# APÊNDICES

**Apêndice 1** – Breve histórico dos estudos realizados no ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS.

*Atender as reais necessidades e problemas da sociedade, principalmente, do meio no qual estamos inseridos, deveria ser o objetivo principal de qualquer pesquisa. Felizmente, existem grupos de pesquisa que pensam e agem assim. Foi assim que surgiu o projeto “Monitoramento & gestão ambiental de um tributário urbano-rural do rio Vacacaí-mirim, Santa Maria – RS”, iniciado em janeiro de 2007. Este projeto, uma parceria entre o Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais e o Laboratório de Manejo e Conservação do Solo e da Água, do Departamento de Solos, ambos da UFSM, objetivava monitorar a qualidade da água ao longo da Sanga Lagoão do Ouro, visando dar subsídios à melhoria da qualidade de vida dos moradores; avaliar os impactos da pressão antrópica sobre a dinâmica do ecossistema ciliar do tributário, avaliando, principalmente, a vegetação remanescente, o banco de sementes, as características do solo e a erosão nas margens; realizar um programa de Educação Ambiental junto às comunidades urbanas no entorno do tributário e dos alunos do EJA (Educação de Jovens e Adultos) de uma escola local, a fim de sensibilizar os moradores e alunos quanto a problemas ambientais diversos (esgotos domésticos, destruição da mata ciliar, lixo nas margens, doenças advindas da água contaminada e principalmente da necessidade da preservação dos recursos hídricos urbanos); elaboração de um plano de revitalização da Praça do Conjunto Habitacional Fernando Ferrari e de revegetação das margens do tributário ao longo deste conjunto habitacional. Uma vez que os proponentes já possuíam diversas pesquisas em andamento na área de estudo, a comunidade poderia ser muito beneficiada. Cabe ressaltar que o projeto teve orçamento aprovado no Edital PROEXT 2006 - MEC/ CIDADES em novembro de 2006, os recursos advindos deste edital garantiram a plena execução das atividades propostas.*

*O projeto aprovado, no qual estava inserido o estudo que deu origem a presente tese, com título inicial de “Impacto da pressão antrópica sobre a dinâmica do ecossistema ciliar de um tributário urbano-rural na microbacia hidrográfica do Vacacaí-mirim, Santa Maria - RS”, enquadrava-se dentro das demandas propostas para o Edital PROEXT 01/2006. As ações deste projeto eram baseadas em um dossiê de ambiência urbano e rural, realizado na Sanga Lagoão do Ouro, tributário do Rio Vacacaí-mirim, por meio dos resultados baseados no estudo “Monitoramento ambiental e avaliação do uso do solo no entorno de um tributário urbano na Microbacia do Rio Vacacaí-mirim, Bairro Camobi, Santa Maria, RS”, aprovado na Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) através do Edital Procoredes II, Processo nº 05/19460, que se encontrava em andamento na área urbana do referido tributário. Onde foram estabelecidos, a partir do dossiê, metas prioritárias de recuperação. Estas metas seguiam a seguinte ordem para a área rural: baixa fertilidade do solo, erosões marcantes, retirada de mata ciliar, queimadas e fragmentos florestais degradados, entre outros. Para a área urbana a ordem era assim estabelecida: esgoto a céu aberto, urbanização em áreas inadequadas (inclusive muito próximo às margens do rio), lixo espalhado pela microbacia, retirada da mata ciliar, degradação de fragmentos de vegetação natural e erosões marcantes, entre outros como má arborização urbana, falta de praças, etc.*

*Os aspectos qualidade e quantidade da água são indissociáveis e são satisfeitos quando as nascentes e margens do rio principal da microbacia e de seus afluentes são protegidas contra a ação de impactos decorrentes principalmente da atividade antrópica. Para que isso ocorra da maneira correta, a realização de pesquisas e ações de extensão que venham a dosar o impacto existente e averiguar e apresentar medidas para a melhoria de sua qualidade e da população que a usufrui, é de fundamental importância, uma vez que a metodologia usada em um tributário poderá ser experimentada também nos demais, assim como as medidas de mitigação, compensação e recuperação propostas.*



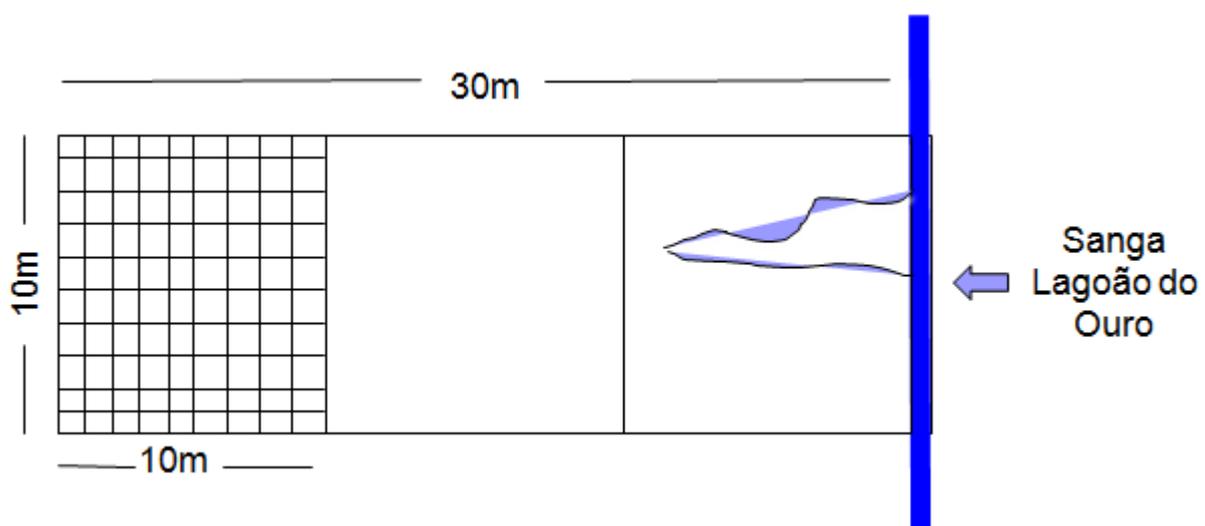
**Apêndice 2** – Demarcação das parcelas 10 x 30 m (300 m<sup>2</sup>) nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



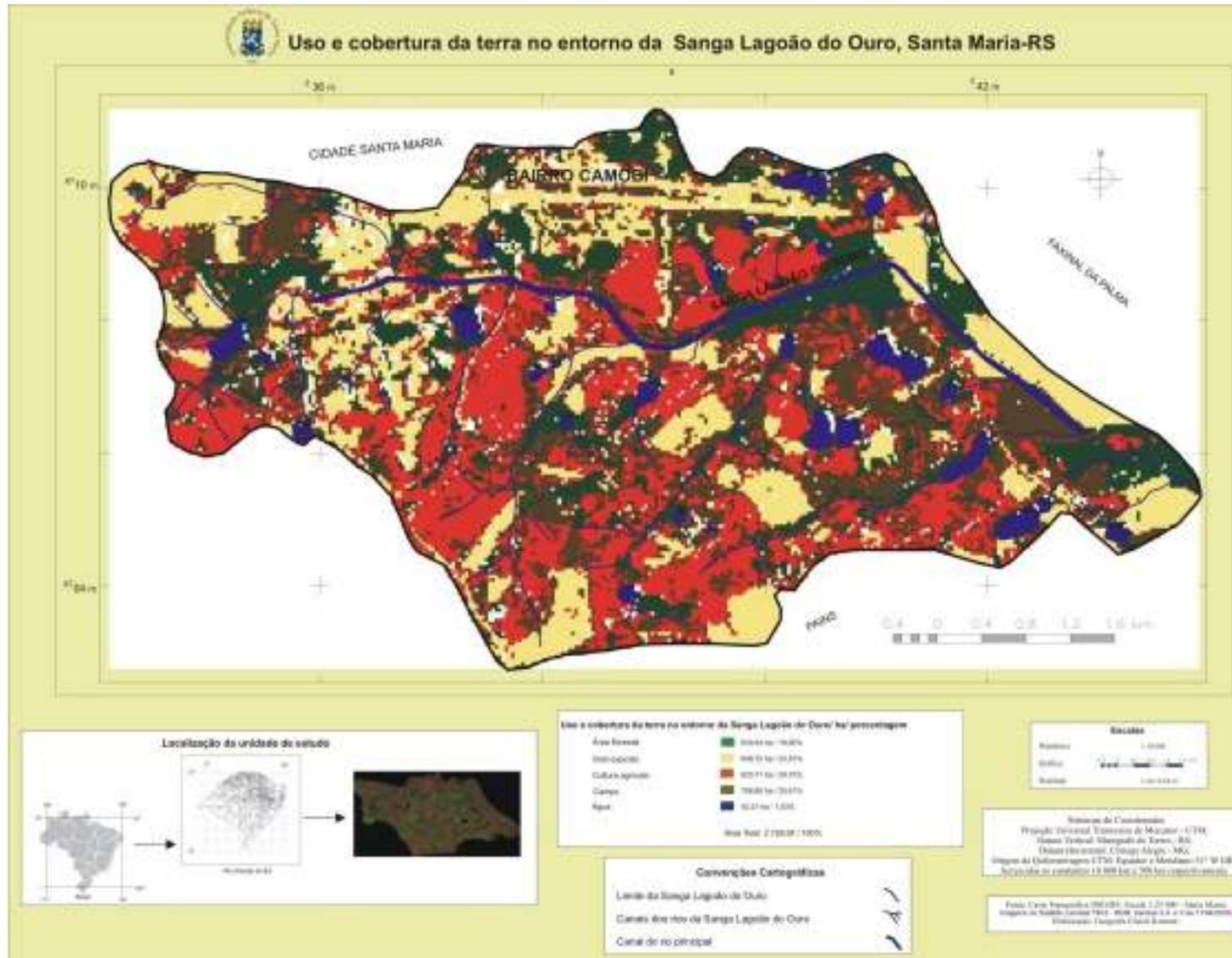
**Apêndice 3** – Coleta do material para avaliação do banco de sementes do solo nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS, com moldura de 0,25 x 0,25 m (0,0625 m<sup>2</sup>) e deposição do material em caixas de madeira de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>) para avaliação da germinação.



**Apêndice 4** – Banco de sementes do solo das duas épocas de coleta cobertos com sombrite e caixas de madeira com plantas germinadas antes de serem avaliadas.



**Apêndice 5** – Esquema de avaliação da erosão atual, com representação de uma voçoroca próxima ao curso d'água e do potencial erosivo, pela cobertura do solo (através da avaliação da porcentagem da parcela coberta por espécies arbóreas e não arbóreas), nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



#### Caracterização do uso e cobertura da terra:

Na classificação do uso da terra identificada na imagem de satélite de acordo com os elementos de interpretação (forma, tonalidade, textura e tamanho), a classe cultura caracterizou áreas destinadas ao cultivo, principalmente, da soja e do arroz representadas em vermelho. A classe campo consistiu em áreas com vegetação rasteira destinadas a pecuária (cor dourado escuro). A classe solo exposto apresentou áreas em pousio destinadas às atividades agrícolas e áreas urbanizadas, mostradas em amarelo. A classe da área florestal englobou as florestas nativas, plantadas, matas ciliares e capoeirões (cor verde). E por fim, a classe água identificou lâminas de água de rios e açudes (cor azul).

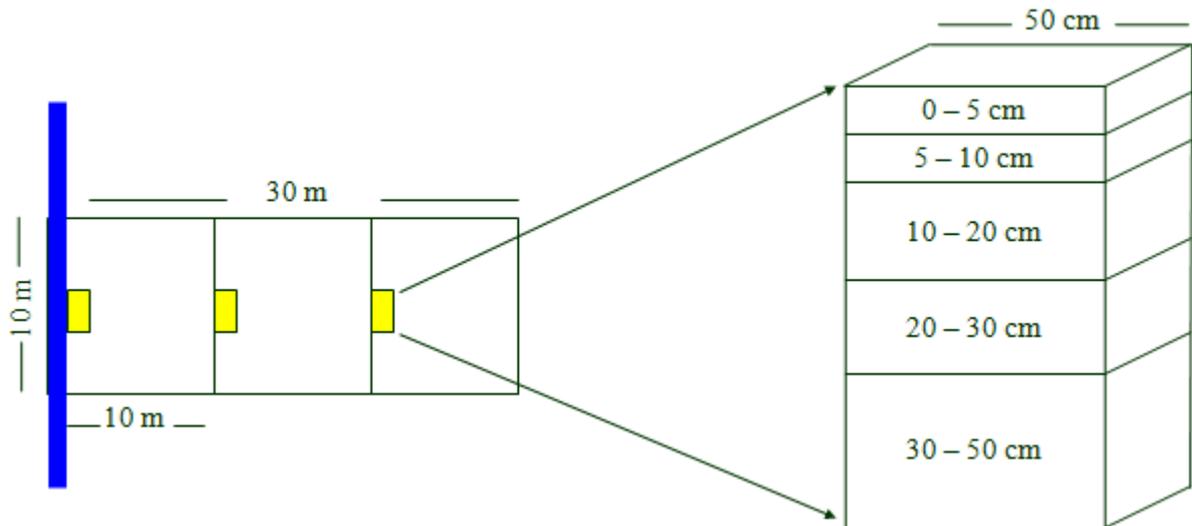
A classificação do uso e cobertura da terra realizada para este período teve desempenho médio de 99,60% e 0,40% de confusão média. A confusão média ocorreu porque as amostras da classe cultura agrícola apresentaram similaridade espectral com as amostras da classe área florestal. O mesmo sucedeu com as amostras das classes solo exposto em relação ao campo. Além disso, a imagem de satélite utilizada apresentou cobertura de nuvens devido à aproximação de uma frente fria.

#### Interpretação da imagem de satélite do dia 11-04-2009:

O mapa do uso e cobertura da terra corresponde a 2.759,04 hectares. Uma extensa área, correspondente a 29,75% está ocupada com culturas agrícolas, 25,61% com campo, 23,51% com solo exposto ou com urbanização e 19,60% com área florestal (exótica e/ou nativa). A água apresentou 1,53%. A classe de uso cultura agrícola apresentou área classificada superior às demais classes. Essa questão é justificada pelo fato de que no mês de abril – época da imagem de satélite Landsat TM 5 utilizada para a classificação – grande parte das terras ainda encontram-se cobertas principalmente com o cultivo da soja e do arroz. Com a presença dos cultivos agrícolas o solo exposto é reduzido nessa época.

Por também apresentar atividades de pecuária na área de estudo, observa-se extensos campos. Contudo, onde há o predomínio de um relevo com pouca inclinação que favorece o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, as áreas florestais reduzem-se a capões isolados de vegetação e florestas plantadas.

**Apêndice 6** – Mapa de uso e cobertura da terra no entorno da Sanga lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 7** – Localização das minitrincheiras e das profundidades de coleta do solo para análises químicas e físicas, nas margens da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Planilha de avaliação do experimento de recuperação do ecossistema ciliar da Sanga Lagoão do Ouro.**

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Parcela: Com Bioengenharia (  ); Sem Bioengenharia (  )

Espécies/Variável	REPETIÇÃO														
	1			2			3			4			5		
	H	D	AG	H	D	AG	H	D	AG	H	D	AG	H	D	AG
Angico-vermelho															
Timbó															
Chá-de-bugre															
Cerejeira-do-mato															
Açoita-cavalo															
Maria-preta															
Ipê-roxo															
Aroeira-vermelha															
Grápia															
Pitangueira															
Canafistula															
Tarumã-de-espinho															
Catiguá															
Timbaúva															
Camboatá-vermelho															
Cedro															
Clal-chal															
Pessegueiro-do-mato															
Canjerana															

H: Altura (cm)  
 D: Diâmetro (mm ou cm)  
 AG: Aparência Geral ( 0 = morta; 1 = regular; 2 = excelente (bom crescimento, folhas vistosas, verdes, etc.)

**Apêndice 8** – Planilha de campo usada nas avaliações das espécies nativas empregadas na revegetação da mata ciliar nas margens da Sanga lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 9** – Obtenção da altura das mudas com régua de 50 cm (A) e do diâmetro do colo com paquímetro (B), nas parcelas com revegetação na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 10** – Muda de Ipê-roxo que recebeu nota 2 na sintomática geral (A) e muda de Ipê-roxo que recebeu do nota 1 na sintomática geral (B), nas parcelas com revegetação na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 11** – Detalhes da construção da esteira viva com uma parede-Krainer (29 e 30 de agosto de 2009) na margem da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Apêndice 12** – Espécies herbáceas invasoras e/ou espontâneas encontradas na avaliação do banco de sementes da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

<b>Nome científico</b>	<b>Nome comum</b>
<i>Achyrocline satureioides</i> Lam.	Marcela
<i>Acroceras munroanum</i>	Acrocera
<i>Adiantopsis chlorophylla</i> (Sw.) Fée	Samambaia
<i>Adiantum raddianum</i> Presl.	Avenca
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Picão-roxo
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Erva-de-jacaré
<i>Amaranthus deflexus</i> L.	Bidão-branco, Caruru
<i>Andropogon bicornis</i> (L.)	Capim-rabo-de-burro
<i>Anredera cordifolia</i>	Cipó-carnoso
<i>Apium graveolens</i> L.	Aipo-bravo
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) Beauv.	Gramma
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P.Beauv.	Gramma-sempre-verde
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	Carqueja
<i>Begonia cuculata</i> Willd.	Begônia
<i>Bidens pilosa</i> L.	Picão-preto
<i>Bowlesia tenera</i> Spreng.	Erva-salsa
<i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitchc.	Papuã
<i>Brachiaria</i> sp.	Braquiária
<i>Brisa minor</i> L.	Capim-treme-treme
<i>Caleosthus myconis</i> (L.) Reichenb. f.	Calêndula
<i>Centella asiatica</i> L. (Urb.)	Pata-de-cavalo
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill	Orelha-de-rato
<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Milisp.	Quebra-pedra-rasteiro
<i>Chaptalia nutans</i> (L.) Polak.	Costa-branca
<i>Chloris retusa</i> Lag.	Capim-coqueirinho
<i>Ciccyos polyacanthus</i> Cogn.	Cipó-de-mico
<i>Commelina nudiflora</i> L.	Erva-de-santa-luzia
<i>Conyza bonaerensis</i> (L.) Cronq.	Buva
<i>Coronopus didymus</i> (L.) Smith.	Mastruço
<i>Cuphea cathagenesis</i>	Cuphea (rasteira)
<i>Cuphea fruticosa</i> Spreng.	Erva-sete-sangrias
<i>Cuphea glutinosa</i> Cham. & Schltld.	Sete-sangrias-do-campo
<i>Cuphea gracilis</i> Kunth	Cuphea (de pezinho)
<i>Cuscuta racemosa</i> Mart. et Humb.	Cuscuta
<i>Cyperus acicularis</i> (Schrud.) Steud.	Junquinho
<i>Cyperus brefolius</i> (Rottb.) Hassk.	Capim-de-uma-cabeça
<i>Cyperus difformis</i> L.	Junquinho
<i>Cyperus distans</i> L.f.	Junquinho
<i>Cyperus entrerianus</i> Boeckeler	Junquinho
<i>Cyperus eragrostis</i> Lam.	Junquinho
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Tiriricão
<i>Cyperus ferax</i> L.C.Rich.	Junquinho
<i>Cyperus flavus</i> (Vahl) Nees	Junquinho
<i>Cyperus haspan</i> L.	Junquinho
<i>Cyperus iria</i> L.	Junquinho
<i>Cyperus lanceolatus</i> Poiret	Junquinho
<i>Cyperus sesquiflorus</i> (Torrey) Mattf. & Kük.	Capim-santo
<i>Cyperus</i> spp.	Junquinho
<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	Junquinho
<i>Cyperus virens</i> Michx.	Junquinho
<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	Desmodium
<i>Desmodium incanum</i> DC.	Pega-pegã
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Milhã
<i>Drimaria cordata</i> (L.) Willd.	Cordão-de-sapo
<i>Eclipta alba</i> Hassk.	Erva-de-botão
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.	Cebolinha
<i>Elephantopus mollis</i> H.B.K.	Erva-grossa

---

**Apêndice 12 – Continuação...**


---

<b>Nome científico</b>	<b>Nome comum</b>
<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) P. Beauv.	Capim-barbicha-de-alemão
<i>Eragrostis plana</i> Nees	Capim-anoni
<i>Erechtites hieracifolia</i>	Erva-gorda
<i>Erechtites valerianefolia</i> DC.	Carurú
<i>Erigeron bonariensis</i>	Rabo-de-raposa
<i>Eryngium</i> spp.	Caraguatá
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Leiteira
<i>Eupatorium purpureum</i> L.	Mata-campo
<i>Facelis apiculata</i>	Facelis
<i>Fimbristylis autummalis</i> (L.) Roem. & Schult.	Falso-alecrim-da-praia
<i>Fimbristylis diphylla</i> (Retz.) Vahl	Falso-alecrim
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Picão-branco
<i>Gallium circaezans</i> Michx.	Trevo-de-quatro-folhas
<i>Gallium pilosum</i>	Trevo-de-quatro-folha-piloso
<i>Geranium dissectum</i> L.	Gerânio
<i>Glandularia dissecta</i>	Glandularia
<i>Gnaphalium pensylvanicum</i> Willd.	Macela (não pezinho)
<i>Gnaphalium spicatum</i> Lam.	Macela (de pezinho)
<i>Hydrocotyle</i> sp.	Hydrocotyle
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	Hydrocotyle
<i>Hypochoeris brasiliensis</i> Griseb.	Almeirão-do-mato
<i>Hypochoeris radicata</i> L.	Almeirão-do-campo
<i>Hypoxis decumbens</i> L.	Falsa-tiririca
<i>Hyptis mutabilis</i> (A. Rich.) Briq.	Hortelã-bravo
<i>Ipomoea alba</i> L.	Corda-de-viola-alba
<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet.	Corda-de-viola
<i>Ipomoea</i> sp.	Corda-de-viola
<i>Ipomoea triloba</i> L.	Corda-de-viola
<i>Juncus bufonis</i> L.	Capim-pelo-de-porco (sem rizoma)
<i>Juncus capillaceus</i>	Junquinho
<i>Juncus capillaceus</i> Lam.	Capim-pelo-de-porco (com rizoma)
<i>Lepidium</i> sp.	Lepidium
<i>Lobularia marítima</i>	Flor-de-mel
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Azevém
<i>Ludwigia elegans</i> (Camb.) Hara	Ludwigia
<i>Mikania micranta</i> H.B.K.	Corda-de-água-hexa
<i>Mikania scandens</i> L. (Willd.)	Corda-de-água
<i>Nicandra physaloides</i>	Balão
<i>Oplismenus compositus</i> (L.) P. Beauv.	Oplismenus
<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	Azedinha
<i>Oxalis martiana</i> Zucc.	Azedinha
<i>Oxalis refracta</i> A.St.-Hill.	Azedinha
<i>Paspalum conjugatum</i>	Paspalum
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Capim-de-guiné
<i>Paspalum</i> sp.	Paspalum
<i>Paspalum urvillei</i> Steud.	Capim-das-estradas
<i>Phyllanthus corcovadensis</i> Muell.	Quebra-pedra
<i>Physalis viscosa</i> L.	Balãozinho
<i>Pithecoctenium crucigerum</i> (L.) A. H. Gentry	Pente-de-macaco
<i>Plantago tomentosa</i> Lam.	Tanchagem
<i>Polygonum persicaria</i> L.	Erva-de-bicho
<i>Pontederia cordata</i> L.	Ponederia
<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	Couvinha
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Onze-horas
<i>Pterocaulon virgatum</i> (L.)	Branqueja
<i>Raphanus sativus</i> L.	Nabiça
<i>Richardia brasiliensis</i> Gomez.	Poaia-branca
<i>Rottboelia exaltata</i> L.f.	Rotbelia

---

**Apêndice 12 – Continuação...**

<b>Nome científico</b>	<b>Nome comum</b>
<i>Rumex pulcher</i> L.	Língua-de-vaca
<i>Scoparia dulcis</i> L.	Vassourinha-doce
<i>Senecio brasiliensis</i> Less.	Maria-mole
<i>Sesbania virgata</i>	Quebra-pedra
<i>Setaria geniculata</i> (Lam.) Beauv.	Capim-rabo-de-gato
<i>Setaria</i> sp.	Capim-rabo-de-raposa
<i>Setaria</i> sp.	Setária
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Guaxuma
<i>Sida urens</i> L.	Cipó-urtiga
<i>Smilax brasiliensis</i> Spreng.	Japecanga
<i>Solanum aculeatissimum</i>	Joá
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Maria-pretinha
<i>Solanum</i> sp.	Solanum
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Batatinha
<i>Soliva pterosperma</i>	Roseta
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Serralha
<i>Stellaria media</i> L.	Tripa-de-galinha
<i>Synedrella nodiflora</i> Gaertn	Botão-de-ouro
<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn.	Maria-gorda
<i>Tecoma stans</i> (L.) ex. Kunth	Carobinha
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Pau-de-pólvora
<i>Verbena bonariensis</i> L.	Erva-ferro
<i>Vicia sativa</i> L.	Ervilhaca
<i>Wedelia paludosa</i> DC.	Margaridão
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Gengibre

**OBS:** além das espécies acima listadas, mais de 30 ainda estão em processo de identificação no laboratório de Biologia e Controle de Plantas Daninha, do Departamento de Defesa Fitossanitária/UFSM.



**Apêndice 13** – Geadas observadas em 16/07/2010 que acabaram afetando negativamente a sintomatologia geral de algumas espécies usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

**Apêndice 14** – Altura média observado nas mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

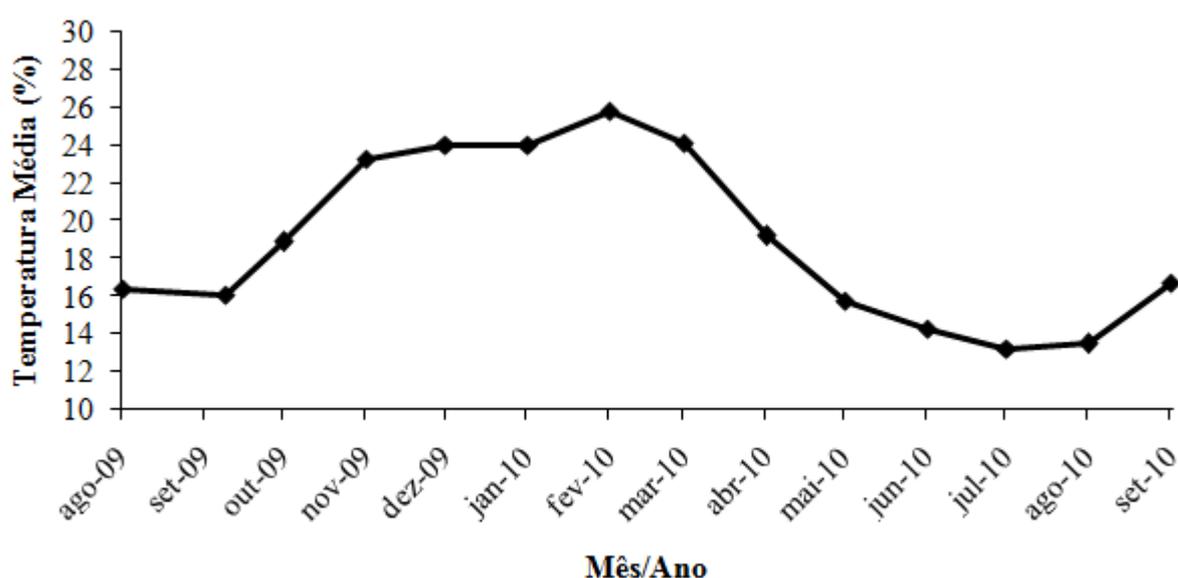
Espécie / nº avaliação	Altura (cm)						
	1	2	3	4	5	6	7
Angico-vermelho	22,60	24,75	23,95	30,50	31,10	31,65	32,48
Timbó	41,50	45,65	50,80	66,30	68,70	69,70	70,75
Chá-de-bugre	20,45	22,90	26,25	28,35	29,05	29,40	20,55
Cerejeira-do-mato	24,40	26,00	25,70	24,65	24,85	24,05	24,75
Açoita-cavalo	29,65	33,00	37,85	47,70	48,96	49,31	51,51
Maria-preta	10,15	10,90	11,00	11,55	12,25	12,35	13,00
Ipê-roxo	10,45	14,00	18,70	27,10	28,10	27,75	28,20
Aroeira-vermelha	38,10	44,65	53,35	63,20	64,45	64,25	68,70
Grápia	27,30	29,36	28,54	31,58	33,17	36,25	41,88
Pitangueira	27,20	30,20	34,00	36,10	36,40	36,55	37,95
Canafístula	19,40	21,51	23,30	31,39	34,20	35,38	34,31
Tarumã-de-espinho	27,20	32,90	38,05	48,00	50,95	51,55	59,98
Catiguá	14,00	15,50	16,40	17,20	18,14	18,38	17,76
Timbaúva	25,00	28,79	35,18	58,20	64,39	66,09	70,25
Camboatá-vermelho	6,80	7,21	7,13	7,08	8,46	8,75	8,63
Cedro	27,65	29,69	30,75	32,88	32,88	32,88	26,63
Clal-chal	28,60	31,25	32,80	37,31	37,92	38,17	40,50
Pessegueiro-do-mato	29,50	31,85	31,50	34,50	23,50	28,00	26,50
Canjerana	12,15	14,19	14,69	16,73	16,92	17,08	13,00

**Onde:** 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são as avaliações realizadas nas seguintes datas: 1 (23/10/2009), 2 (17/12/2009), 3 (30/01/2010), 4 (17/03/2010), 5 (08/05/2010), 6 (16/07/2010), 7 (26/09/2010).

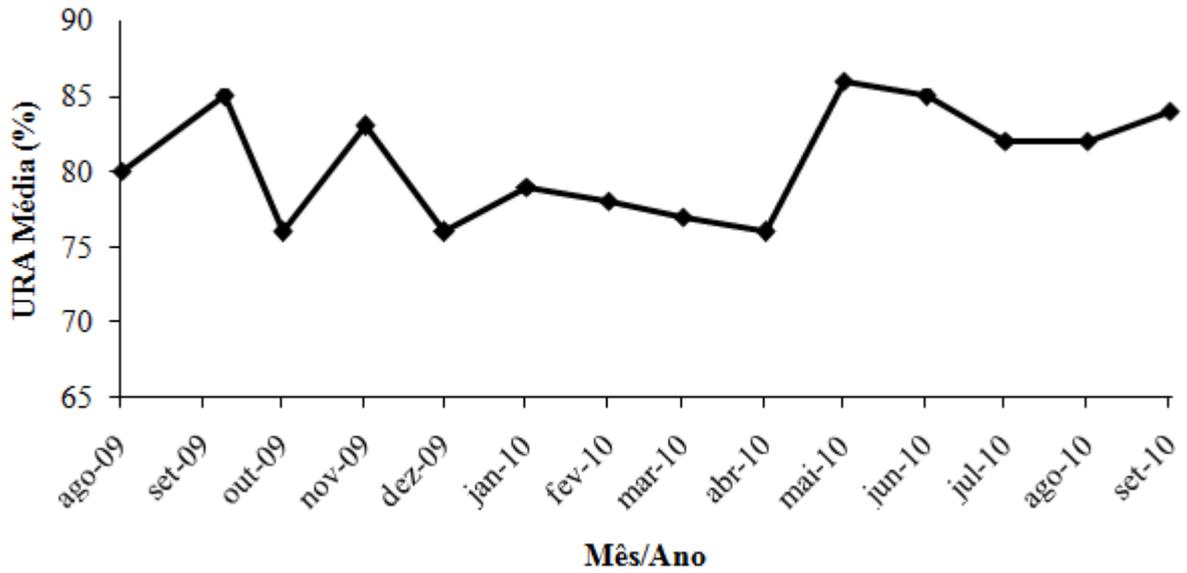
**Apêndice 15** – Diâmetro do colo médio observado nas mudas de espécies nativas usadas na recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.

Espécie / nº avaliação	Diâmetro do colo (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
Angico-vermelho	4,08	4,20	4,57	5,36	5,88	5,88	5,94
Timbó	8,00	8,96	11,30	13,89	16,23	16,75	17,00
Chá-de-bugre	3,74	4,26	4,82	5,30	6,19	6,53	6,83
Cerejeira-do-mato	5,43	5,78	6,02	6,11	6,34	6,40	6,29
Açoita-cavalo	5,52	5,96	6,93	8,28	10,14	10,64	11,71
Maria-preta	4,74	4,81	5,36	5,66	5,92	6,13	6,43
Ipê-roxo	3,58	4,03	4,83	5,59	6,28	6,43	6,94
Aroeira-vermelha	6,27	7,00	7,60	8,18	9,57	9,87	10,84
Grápia	3,45	3,53	3,69	4,13	4,37	4,62	4,85
Pitangueira	4,65	5,24	5,70	6,10	6,44	6,44	6,67
Canafístula	5,69	5,91	6,53	7,67	10,08	10,45	10,33
Tarumã-de-espinho	5,80	6,30	6,89	7,27	7,96	8,12	9,75
Catiguá	3,55	3,37	3,49	3,41	3,35	3,55	3,57
Timbaúva	5,13	6,94	9,73	12,61	15,55	16,38	20,05
Camboatá-vermelho	3,30	3,28	3,40	3,58	3,66	3,73	3,83
Cedro	7,25	7,99	9,26	9,65	10,10	10,40	10,40
Clal-chal	3,54	3,77	4,36	4,92	5,03	5,47	5,63
Pessegueiro-do-mato	3,63	3,63	4,10	4,00	4,30	4,70	4,70
Canjerana	5,18	5,19	5,29	5,31	5,50	5,71	5,55

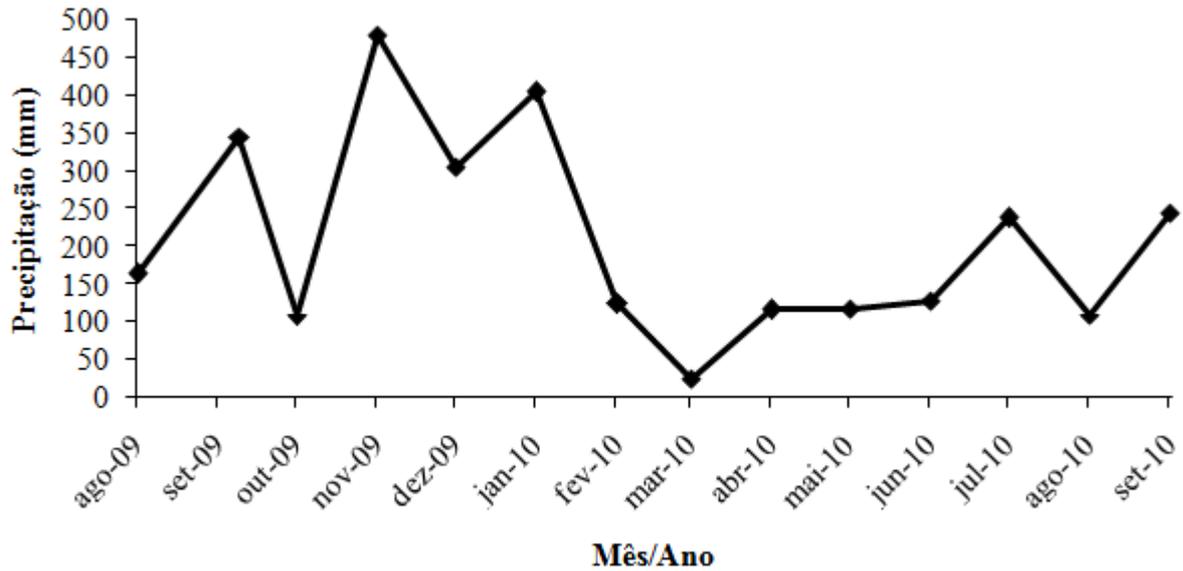
**Onde:** 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são as avaliações realizadas nas seguintes datas: 1 (23/10/2009), 2 (17/12/2009), 3 (30/01/2010), 4 (17/03/2010), 5 (08/05/2010), 6 (16/07/2010), 7 (26/09/2010).



**Apêndice 16** – Temperatura média observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 17** – Umidade Relativa do Ar (URA) média observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.



**Apêndice 18** – Precipitação observada na região para o período de avaliação do experimento de recuperação da Sanga Lagoão do Ouro, Santa Maria – RS.