

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**EMPREGO DE TÉCNICAS MECÂNICO-VEGETATIVAS EM RAVINAMENTO NO  
AREAL EM SÃO FRANCISCO DE ASSIS - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

**CARMEM LUCAS VIEIRA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO VERDUM**

**PORTO ALEGRE, JULHO DE 2012.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**EMPREGO DE TÉCNICAS MECÂNICO-VEGETATIVAS EM RAVINAMENTO NO  
AREAL EM SÃO FRANCISCO DE ASSIS - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

**CARMEM LUCAS VIEIRA**

**Orientador: Prof. Dr. Roberto Verdum**

**Banca examinadora:**

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Dirce Maria Antunes Suertegaray (PPG em Geografia/UFRGS)**

**Prof. Dr. Iraci Scopel (Curso de Geografia/UFG)**

**Prf<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ilsi Boldrini (PPG em Botânica/UFRGS)**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Geografia  
como requisito para obtenção do  
título de  
**Mestre em Geografia.**

**PORTO ALEGRE, JULHO DE 2012.**

V658 Vieira, Carmem Lucas  
Emprego de técnicas mecânico-vegetativas em ravinamento no areal em São Francisco de Assis - sudoeste do Rio Grande do Sul. / Carmem Lucas Vieira. – Porto Alegre : UFRGS/PPGea, 2012.  
163 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2012.  
Orientador: Prof. Dr. Verdum, Roberto

1. Geografia. 2. Arenização. 3. Ravinas. 4. Estabilização.  
5. Métodos Mecânico-Vegetativos. I. Título.

CDU 911.2

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

## A EROSÃO DO SOLO PELA ÁGUA

*“... a erosão do solo tem uma relação direta com a escassez de alimentos e a fome. As terras erodidas se tornam terras improdutivas e, por isso, em muitas regiões do mundo as lutas contra a erosão são fundamentais para manter a produtividade das terras agrícolas.*

*Entretanto, nos países em desenvolvimento, freqüentemente se designa a pessoas com pouco aporte de conhecimentos a tarefa de conservar o solo, a luta contra a erosão, a tarefa de iniciar programas destinados à solução destes problemas, a projeção de medidas para combater e prevenir a erosão e a condução de obras pertinentes”.*

*[La Erosion del Suelo por el Agua, FAO, 1967, Prologo, vi]*

## AGRADECIMENTOS

A finalização desta importante etapa em minha vida acadêmica simboliza não somente a conquista de mais uma qualificação, mas representa, sobremaneira, um imensurável crescimento pessoal e profissional, a consolidação de novas amizades e a concretização de um grande sonho galgado em grande esforço e determinação. Agradeço, primeiramente, a CAPES, ao CNPq e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, POSGEA, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por proverem todo o aporte técnico, logístico e financeiro indispensáveis na concretização deste projeto.

Em especial, devo meus sinceros agradecimentos ao Professor Dr. Roberto Verдум POSGEA/UFRGS, por sua orientação, paciência, sua enorme capacidade de transmitir conhecimentos, prontidão para soluções de demandas e questionamentos, além da amizade e confiança depositada ao longo de nosso convívio durante o período em que foi desenvolvido o projeto de mestrado. Muito obrigada.

Ao Professor Dr. Fabrício Jaques Sutili, CESNORS/UFSM, por suas críticas e sugestões que contribuíram no desenvolvimento e amadurecimento na condução do projeto de pesquisa e pelas contribuições anteriores.

À Professora Dr<sup>a</sup> Dirce Maria Antunes Suertegaray, POSGEA/UFRGS, pelos ensinamentos e bibliografias disponibilizadas além de sua inestimável contribuição anterior, como membro de banca examinadora em minha Qualificação.

Aos colegas do Departamento de Geografia: Geógrafo Luis Marcelo Bolo de Lima, pelas fotos tiradas a campo; Geógrafo MSc. José Carlos Correa pela contribuição teórica e grande esforço físico dispensado para meu auxílio a campo, e ao bolsista de Iniciação Científica Vagner Garcez Soares pelo seu fundamental auxílio a campo e contribuição teórica.

Aos ex-colegas e colaboradores do POSGEA: Biólogo MSc. Luis Alberto Pires da Silva pelo imensurável auxílio na implantação das estruturas na ravina e oportunas sugestões/críticas; Geógrafa MSc. Claudia Russo da Silva pela amizade, apoio e material teórico, oferecidos no início do curso.

À Bióloga Dr<sup>a</sup>. Elisete Maria de Freitas (UNIVATES) pela ajuda fundamental na identificação das espécies vegetais.

Ao amigo João Henrique Eboli/RJ pelo material teórico demonstrativo fornecido para confecção dos bioretentores de sedimentos além de todo apoio e confiança depositados em mim.

Ao Eng<sup>o</sup> Civil e Geotécnico MSc. Paulo R. Rogério/SC pelos livros presenteados e apoio ao projeto.

Ao meu ex-companheiro, querido amigo e pai de nossa amada filha Ana Luiza, Eng<sup>o</sup> Agrônomo Leonardo Medeiros de Jesus, por ter voluntariamente me auxiliado a campo.

A toda minha família e em especial à minha mãe, Isis Lucas de Oliveira Vieira, por seu exemplo de força, amor e apoio incondicional. Te amo muito.

Ao meu irmão Paulo Henrique por ter me auxiliado muitas vezes cuidando de minha filha, para que eu pudesse trabalhar.

Ao meu falecido pai, Gentil Rodrigues Vieira, pelo amor à natureza e ao campo, respeito ao próximo, valor à erudição e ao estudo, transmitidos em vida.

Aos familiares de Leonardo Medeiros de Jesus, especialmente ao meu ex-sogro, Celso Alves de Jesus, pela confiança, dedicação e respeito com que sempre me tratou, sendo fundamental não somente para a conclusão de minha graduação em Agronomia, como para efetivação de meu mestrado. Muito obrigada.

A Vinicius Martins Ferreira, Eng<sup>o</sup> Agrônomo MSc. do Projeto Maria de Barro – Nazareno/MG, pela sua solicitude e inspiração, fatores determinantes para a escolha da temática e desenvolvimento desta Dissertação.

A Diego Wilde, por sua amizade, carinho, apoio e parceria nos meses finais de escrita da Dissertação.

A todos os amigos e companheiros de jornada não citados nominalmente, mas que de uma forma ou de outra me incentivaram e foram importantes em minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

# **EMPREGO DE TÉCNICAS MECÂNICO-VEGETATIVAS EM RAVINAMENTO NO AREAL EM SÃO FRANCISCO DE ASSIS - SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Carmem Lucas Vieira

Orientador: Roberto Verdum

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo propor uma contribuição para geração de alternativa técnica destinada a estabilização de feições morfológicas do tipo ravinamento localizadas na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Nesta região se verifica a ocorrência de um processo denominado como arenização (SUERTEGARAY, 1987; VERDUM, 1997) em material oriundo do intemperismo de formações superficiais areníticas. O projeto foi conduzido em consonância com as pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa em Arenização do Departamento de Geografia da UFRGS/CNPq. Como objeto de estudo, selecionou-se uma ravina localizada de modo adjacente a uma escarpa arenítica denominada Cerro da Esquina em propriedade rural, no município de São Francisco de Assis/RS. A localidade está inserida na região da Campanha gaúcha cuja paisagem caracteriza-se, na fitofisionomia, pela predominância de espécies vegetais campestres, com destaque para as gramíneas (BOLDRINI *et al.*, 2010). O uso de técnicas mecânico-vegetativas com emprego de espécies nativas objetiva a estabilização de ravinamentos, associando a fácil difusão de tecnologia e a implantação a campo, o baixo custo, a minimização de impactos no ecossistema local e a possibilidade de resgate das funções ecológicas e estéticas da paisagem em uma área degradada. Para compreensão da dinâmica erosiva na área interna e superficial da ravina foram realizados monitoramentos periódicos por meio de estacas e aferições com fita métrica; a identificação botânica e os testes de propagação com espécies nativas e pesquisa do referencial teórico-metodológico. Como proposta técnica preliminar, foi idealizada a contenção de sedimentos e difusão de escoamentos concentrados por meio de um conjunto de paliçadas e retentores orgânicos (biorretentores), o reordenamento de escoamento superficial com a construção de barreiras de pedra e a inserção de espécies nativas em pontos de maior instabilidade de feição erosiva, em frente aos conjuntos de paliçadas.

**Palavras-chave:** arenização, ravinamento, estabilização, métodos mecânico-vegetativos

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Geografia – Análise Ambiental, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. (163 p.) Julho de 2012.

# USE OF MECHANICAL-VEGETATIVE TECHNIQUES INSIDE A RAVINE IN A SAND AREA AT SAINT FRANCIS OF ASSISI CITY - SOUTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

Autor: Carmem Lucas Vieira

Orientador: Roberto Verdum

## ABSTRACT

This paper aims to propose a contribution to the generation of an alternative technique for the stabilization of morphological features like ravines located in the southwest portion of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. In this region there is the occurrence of a process known as sandization (SUERTEGARAY, 1987; VERDUM, 1997) in material from the weathering of sandstone formations surface. The project was conducted in line with the research developed by the Research Group, Department of Geography sandization UFRGS/CNPq. As the object of study, we selected a ravine located adjacent to a sandstone bluff called Cerro da Esquina in a municipality of Saint Francis of Assisi. The town is part of the campaign in the region of the state whose landscape is characterized by the phytophysiological dominance of grassland plant species, especially grasses (BOLDRINI *et al.*, 2010). The use of mechanical-vegetative soil conservation techniques with native species, aims to promote the stabilization of ravines linking easy technology diffusion and field deployment, low cost, minimizing impacts on the local ecosystem and the possibility of redemption of ecological functions and aesthetics of the landscape in a degraded area. To understand the dynamics and erosive surface in the inner area of the ravine were performed periodic monitoring by cuttings and measurements with a measuring tape, the botanical identification and propagation tests with native species and research of theoretical and methodological research. As a preliminary technical proposal was idealized sediment retention and diffusion of concentrated flow through a set of fences and retaining organic (biorretentores), the reordering of runoff with the construction of stone barriers and insertion of native species in points of greater instability of the erosive feature, in front of the sets of fences.

**Key-words:** sandization, ravines, stabilization, mechanical-vegetative techniques

---

<sup>1</sup> Dissertation in Geography - Environmental Analysis, Department of Geography, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. (163 p.) July 2012.

## SUMÁRIO

	Página
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>pg 17</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>pg 20</b>
<b>1. Areais e Erosão Hídrica .....</b>	<b>pg 20</b>
1.1 Os areais e o processo de arenização no sudoeste gaúcho .....	pg 20
1.2 A ocorrência dos areais e a busca da compreensão de suas dinâmicas.....	pg 23
1.3 Fatores naturais predisponentes à arenização .....	pg 26
1.3.1 Fatores Climáticos .....	pg 26
1.3.2 Geomorfologia e substrato rochoso .....	pg 28
1.3.3 Fitofisionomia .....	pg 32
1.4 Componente edáfico e erosão hídrica .....	pg 36
1.4.1 Solo – conceitos gerais.....	pg 36
1.4.2 Solos suscetíveis ao processo de arenização.....	pg 38
1.4.3 Degradação .....	pg 42
1.4.4 Erosão .....	pg 44
1.4.5 Ravinas e Voçorocas .....	pg 51
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>pg 59</b>
<b>2. Estabilização de processos erosivos avançados .....</b>	<b>pg 59</b>
2.1 Relevância de uma intervenção técnica .....	pg 59
2.2 Intervenções realizadas previamente nos areais .....	pg 62
2.3 A vegetação nativa como ferramenta na estabilização de áreas instáveis .....	pg 65
2.4 Técnicas mecânico-vegetativas de estabilização do solo.....	pg 69
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>pg 72</b>
<b>3. Processo de ravinamento em Areal no município de São Francisco de Assis .....</b>	<b>pg 72</b>
3.1 Aspectos gerais .....	pg 72
3.1.1 Pedologia .....	pg 75
3.1.2 Florística e Fitossociologia em São Francisco de Assis.....	pg 79
3.1.3 Local de desenvolvimento do projeto .....	pg 83

3.1.4 Ravina em estudo .....	pg 84
3.2 Diagnóstico e Monitoramento da área interna e área de contribuição do processo erosivo .....	pg 92
3.2.1 Delimitação da área de estudo.....	pg 93
3.2.2 Vegetação na ravina e ao entorno.....	pg 96
3.2.3 Dinâmica Erosiva .....	pg 103
3.3 Resultados e Discussão .....	pg 107
3.4 Conclusões parciais .....	pg 118
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>pg 120</b>
<b>4. Proposições técnicas e implantação a campo .....</b>	<b>pg 120</b>
4.1 Intervenções técnicas na área de estudo.....	pg 120
4.1.1 Enrocamento.....	pg 120
4.1.2 Barreiras físicas estabelecidas na área superficial.....	pg 128
4.2 Análise quali-quantitativa da estabilização de processo erosivo.....	pg 130
4.2.1 Síntese dos experimentos aplicados a campo.....	pg 130
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>pg 140</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>pg 144</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA DE APOIO.....</b>	<b>pg 153</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>pg 156</b>

## RELAÇÃO DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Areais e focos de arenização no sudoeste do RS, incluindo as áreas de reduzida biomassa, ravinas e voçorocas.....pg 24
- Figura 2.** Unidades Geomorfológicas do RS.....pg 29
- Figura 3.** Fragmento de arenito Botucatu com sedimentos arenosos inconsolidados na base.....pg 30
- Figura 4.** Vegetação campestre nativa junto a um degrau de abatimento e próxima a um cerro arenítico com vegetação arbustiva e arbórea.....pg 33
- Figura 5.** Relevo de coxilhas, suavemente ondulado, com ocorrência do processo de arenização.....pg 40
- Figura 6.** Ravina de grandes dimensões em média vertente, município de Manoel Viana/RS.....pg 48
- Figura 7.** Deslizamento recente de material verificado no terço superior de um talude instável na ravina em estudo, margem esquerda.....pg 55

### CAPÍTULO II

- Figura 8.** Plantio comercial de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) em área com processo de arenização, no município de São Francisco de Assis/RS.....pg 65

### CAPÍTULO III

- Figura 9.** Município de São Francisco de Assis na região da Campanha Ocidental do RS.....pg 73
- Figura 10.** *Vernonia macrocephala* em areal no município de São Francisco de Assis, RS.....pg 81
- Figura 11.** Touceiras de *Elyonurus* sp. sobre afloramento de rocha.....pg 82
- Figura 12.** Vegetação de cactácea nativa sobre coxilha.....pg 82
- Figura 13.** Em segundo plano, Formação arenítica na forma de cerro, de topo plano silicificado. Em primeiro plano, ravinamento junto a face NW.....pg 84

<b>Figura 14.</b> Vista aérea da ravina em estudo, situada em vertente de morro de topo plano.....	pg 86
<b>Figura 15.</b> Detalhe da ravina, sentido montante (primeiro plano) – jusante, face NW.....	pg 86
<b>Figura 16.</b> Vista aérea da ravina e suas 3 seções: 1.Seção inicial junto a pedra referencial; 2. Seção com enrocamento; 3. Seção canal principal e taludes livres.....	pg 87
<b>Figura 17.</b> Detalhe interno da ravina, sentido montante – jusante, demonstrando os setores de Talude instável (Ti), Área de deposição (Ad) e Canal principal de escoamento da água (C).....	pg 88
<b>Figura 18.</b> Alcova de regressão gerada pelo escoamento superficial da água em filetes subverticais no talude.....	pg 89
<b>Figura 19.</b> Duto de convergência na 1ª seção da ravina, onde escoamento concentrado incide diretamente, vindo de montante.....	pg 90
<b>Figura 20.</b> Pedestais localizados no terço médio da ravina, em talude ensolarado, a cerca de 1,50m da superfície.....	pg 91
<b>Figura 21.</b> Ponto inicial de aprofundamento do sulco.....	pg 94
<b>Figura 22.</b> Vista montante-jusante da ravina, com dois níveis de enrocamento.....	pg 94
<b>Figura 23.</b> Detalhe esquemático da ravina com o posicionamento e numeração das estacas.....	pg 95
<b>Figura 24.</b> Bandejas com substrato de terra preta e semeadura de <i>Baccharis multifolia</i> e <i>Vernonia macrocephala</i> .....	pg 101
<b>Figura 25.</b> Mudanças de <i>Elyonurus</i> sp. e <i>Senecio cisplatinus</i> em estufa.....	pg 102
<b>Figura 26.</b> Mudanças de <i>Elyonurus</i> sp. estabelecidas em talude ensolarado da ravina – margem esquerda. ....	pg 102
<b>Figura 27.</b> Mudanças de <i>Elyonurus</i> sp. estabelecidas em talude sombreado da ravina - margem direita.....	pg 103
<b>Figura 28.</b> Croqui esquemático das aferições no canal da ravina com os degraus 1, 2, 3 e 4 formados por sedimentos arenosos depositados na base dos taludes.....	pg 106
<b>Figura 29.</b> Arquitetura do sistema radicular de mudanças de <i>Paspalum stellatum</i> , <i>Melinis repens</i> e <i>Axonopus argentinus</i> , propagadas em estufa.....	pg 117
<b>Figura 30.</b> Detalhe da inflorescência de <i>Melinis repens</i> .....	pg 117

## CAPÍTULO IV

- Figura 31.** Enrocamento com três conjuntos de paliçadas.....pg 121
- Figura 32.** Conjuntos de paliçadas confeccionados com bambu.....pg 121
- Figura 33.** *Bambusa taquara* – espécie nativa comum na região, e utilizada nas paliçadas.....pg 122
- Figura 34.** Paliçadas de bambu cobertas com manta de juta.....pg 123
- Figura 35.** Coleta de material orgânico e confecção de biorretentores.....pg 124
- Figura 36.** Exemplo de material orgânico coletado a campo para confecção dos biorretentores.....pg 124
- Figura 37.** Embalagem do material na forma de pacotes cilíndricos para confecção de um biorretentor de sedimentos.....pg 125
- Figura 38.** Embalagem do material, amarrado com cordão de sisal e fechamento nas extremidades e no centro.....pg 125
- Figura 39.** Muda de *Elyonurus* sp. a ser implantada em frente a uma paliçada.....pg 126
- Figura 40.** Conjunto paliçada nº 1 + biorretentores de sedimento + plantio de mudas de *Elyonurus* sp.....pg 127
- Figura 41.** Planta de *Lupinus* sp. (tremoço).....pg 127
- Figura 42.** Construção da Barreira 1 composta por fragmentos de rocha com folhas de capim-limão (*Elyonurus* sp.) intercaladas, e alocada junto ao vértice da ravina.....pg 129
- Figura 43.** Construção da Barreira 2 composta por fragmentos de rocha com fibra de juta intercalada, e alocada na margem esquerda da ravina.....pg 129
- Figura 44.** Construção da Barreira 3 composta por fragmentos de rocha e estabelecida na margem direita da ravina.....pg 130

## RELAÇÃO DE QUADROS

### CAPÍTULO III:

- Quadro 1.** Posicionamento das estacas em relação às margens da ravina e sobre a superfície, para monitoramento da erosão difusa na área de contribuição.....pg 95
- Quadro 2.** Relação entre estacas paralelas posicionadas em margens opostas para monitoramento da erosão nos taludes, e aumento da ravina em largura. Primeira tomada de medidas em Janeiro de 2011. ....pg 96
- Quadro 3.** Espécies vegetais coletadas para herborização, apresentando maior frequência de colonização no interior e área de contribuição superficial da ravina.....pg 97
- Quadro 4.** Comportamento quanto à floração de espécies vegetais de maior interesse no projeto a campo e em estufa.....pg 98
- Quadro 5.** Espécies monitoradas na área interna e de contribuição da ravina e algumas das características desejadas para sua possível utilização no projeto.....pg 99
- Quadro 6:** Medidas das estacas 1 a 13 em relação à margem adjacente para monitoramento da erosão lateral nos taludes da ravina, com variação acumulada entre os meses de Janeiro e Setembro de 2011.....pg 107
- Quadro 7:** Variação, acumulada entre janeiro e junho de 2011 (3 aferições) no canal da ravina (m), partindo-se do final do enrocamento (entre estacas 5 e 8) até o ponto final de avaliação, entre as estacas 1 e 13.....pg 108
- Quadro 8.** Variação de largura na margem em superfície, acumulada para os primeiros seis metros de sulco na ravina.....pg 109
- Quadro 9.** Variação em profundidade acumulada para os primeiros seis metros de sulco na ravina.....pg 110
- Quadro 10.** Variação acumulada na largura do canal, medida entre novembro 2010 e junho de 2011 (3 aferições) partindo-se do final do enrocamento (entre estacas 5 e 8) até a pedra referencial (sentido jusante-montante).....pg 111
- Quadro 11.** Avaliação do desenvolvimento de mudas de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude instável da ravina, margem direita (MD).....pg 115
- Quadro 12.** Avaliação do desenvolvimento de mudas de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude instável da ravina, margem esquerda (ME).....pg 115

## CAPÍTULO IV

**Quadro 13.** Descrição quali-quantitativa dos nove conjuntos de paliçadas estabelecidos nas seções 1 e 2 da ravina.....pg 131

**Quadro 14.** Descrição quali-quantitativa das barreiras de pedra posicionadas na seção 1 da ravina.....pg 137

## RELAÇÃO DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO III:

**Gráfico 1.** Variação da largura do canal da ravina considerando 28 metros a Partir do enrocamento.....pg 105

## INTRODUÇÃO

O processo de arenização no Rio Grande do Sul tem sua ocorrência verificada, predominantemente, na região sudoeste do estado, em áreas cujo substrato sedimentar constitui-se pelas Formações Guará e Botucatu. A compreensão da dinâmica de agentes erosivos hídricos e eólicos que atuam sobre depósitos arenosos de origem fluvial e eólica datados do Pleistoceno e Holoceno, e associados a fatores como topografia, clima, relevo e atividades agrícolas são pontos fundamentais para o entendimento do processo de arenização. Os estudos acerca de sua dinâmica, evolução, conceituação, formas erosivas associadas, possibilidades de intervenção e controle têm seu registro em diversos trabalhos de pesquisa, como aqueles publicados por Cordeiro e Soares (1975), Souto (1985), Suertegaray (1987; 1995; 1998), Verdum (1997; 2000; 2003; 2004) e Suertegaray *et al.* (2001). Visualmente, o processo de arenização se apresenta na forma de acúmulo de sedimentos inconsolidados depositados sobre a superfície, assim como, em áreas desprovidas de vegetação, manchas de areia, em campos outrora cobertos por espécies vegetais de porte herbáceo e arbustivo. A ocorrência de areais se faz comum nas médias colinas ou nas rampas em contato com escarpas de morros testemunhos (GUASSELLI *et al.*, 2009).

**Associado ao processo de arenização tem-se a ocorrência de ravinas e voçorocas** junto a cerros areníticos de topo silicificado ou de maneira isolada, nas cabeceiras de drenagem sobre terrenos suavemente ondulados. Estas feições erosivas desenvolvem-se por meio de erosão lateral e regressiva, promovendo o depósito de sedimentos carregados pela água escoada à jusante, na forma de leques, predispondo o material mineral ao retrabalhamento eólico (SUERTEGARAY, 1987; 1995; VERDUM, 1997; GUASSELLI *et al.*, 2009).

Desde a década de setenta do século XX, mais marcadamente, órgãos técnicos públicos, prefeituras, produtores rurais e universidades têm se dedicado ao tema da arenização no sudoeste no Rio Grande do Sul, com enfoque no controle de sua expansão sobre os campos da Campanha gaúcha. A partir da revisão bibliográfica, no entanto, percebe-se que a tentativa de controle de expansão dos areais esteve, de modo geral, associada ao termo desertificação e focada no controle dos processos erosivos causados pelo agente eólico. Isso se deve, em grande parte, aos resultados obtidos a partir do Plano Piloto de Alegrete desenvolvido em 1978 e implantado no deserto de São João, neste município, quando foram então avaliados o emprego e o cultivo de espécies arbóreas nativas e exóticas com potencial para produção de madeira, celulose e fruticultura, bem como espécies de leguminosas e gramíneas com potencial

forrageiro, utilizadas como cobertura do solo (SOUTO, 1985). O trabalho não atingiu os objetivos propostos, mas verificou-se que as plantações florestais de pinus e eucalipto demonstraram melhor adaptação às condições edafo-climáticas em relação às outras espécies arbóreas utilizadas no projeto. Posteriormente, verifica-se o estabelecimento de empresas direcionadas ao cultivo florestal, principalmente eucalipto, na região de ocorrência dos areais.

A mudança na paisagem com conversão de campo em áreas destinadas a florestamentos de arbóreas exóticas, cuja finalidade está centrada na produção de celulose e madeira, vai ao encontro de recomendações que têm como premissa básica o controle da dispersão de sedimentos pelo vento, principalmente com a ação de quebra-ventos. Este posicionamento norteou as intervenções técnicas, até então, promovendo uma grande carência quanto à geração de tecnologias destinadas ao controle da erosão hídrica e estabilização de ravinas em propriedades com ocorrência do processo de arenização.

Como premissa básica para o desenvolvimento das técnicas de estabilização neste trabalho, partiu-se do entendimento de que **os sedimentos arenosos são primeiramente disponibilizados para movimentação eólica após terem sido desagregados, transportados e depositados a jusante das ravinas pela ação de escoamentos concentrados** (SUERTEGARAY, 1987, 1995; VERDUM, 1997; VERDUM e BASSO, 2000).

Dessa forma, e como **argumento principal que justifica este projeto**, admite-se que se torna imperativo **desenvolver técnicas que evitem a mobilização de sedimentos pela ação da água da chuva em escoamento**, prevenindo-se que seja disponibilizado material para remobilização eólica e geração/expansão de areais sobre os campos. Como **hipótese fundamental** do trabalho, assume-se que a partir do **controle da ação erosiva do agente hídrico** pode-se, efetivamente, contribuir para a **estabilização de ravinas e reduzir a geração de novos focos de arenização**.

Como objetivo geral busca-se **propor uma tecnologia alternativa que contribua para a estabilização de um processo erosivo avançado do tipo ravina**, em uma propriedade rural no município de São Francisco de Assis, sub-bacia hidrográfica do arroio Inhacundá, **tendo como base o emprego de técnicas mecânico-vegetativas para a estabilização do solo**.

Como objetivos específicos, foram propostas três linhas de ações fundamentais:

1. Avaliar os fatores ambientais e agentes erosivos determinantes quanto à predisposição do meio à formação de feições morfológicas do tipo ravina em áreas que apresentam o processo de arenização;
2. Gerar um programa de monitoramento capaz de demonstrar a dinâmica erosiva e de colonização por espécies nativas nas áreas interna e superficial ao entorno da ravina, de

modo a contribuir para a elaboração de técnicas destinadas a estabilizar o processo erosivo avançado;

3. Desenvolver e implantar técnicas que demonstrem uma boa resposta no controle da erosão hídrica, e que se configurem como alternativas promissoras à proposta de estabilização de ravinas empregando-se uma tecnologia de baixo custo, rápida execução e fácil difusão local e regional, sendo viáveis técnica-ambiental-social e economicamente.

O referencial teórico está referenciado nos trabalhos desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Geografia da UFRGS, especialmente nas teses de Doutorado e publicações científicas posteriores de Dirce Maria Antunes Suertegaray e Roberto Verdum.

A metodologia de trabalho e desenvolvimento do projeto foi embasada no tripé: **caracterização da área e objeto de trabalho, diagnóstico e proposições.**

A presente Dissertação de Mestrado está organizada em quatro capítulos, sendo os três primeiros com enfoque teórico sobre o processo de arenização, os areais, as características edafo-climáticas e a fitofisionomia do sudoeste do Rio Grande do Sul, erosão hídrica, ravinas, degradação ambiental, no município de São Francisco de Assis e as técnicas mecânico-vegetativas. O último capítulo versa sobre o diagnóstico e o monitoramento da área selecionada para estudo, os resultados obtidos, as proposições técnicas e viabilidade destas, como ponto de partida para a estabilização de uma ravina localizada em uma área rural com ocorrência do processo de arenização.

A estabilização **de processos erosivos em áreas rurais e urbanas** pode, em um determinado contexto, assumir um caráter prioritário quanto à necessidade de uma intervenção técnica mais imediata, tanto pelo **aspecto de conservação da natureza** quanto pelo **fator social envolvido**. Dessa forma, pode-se prevenir não somente a ocorrência de desastres naturais, como a rápida e crescente perda de área agrícola em propriedades rurais. A estabilização das ravinas nos areais se configura como uma questão complexa que, obviamente, não pretende ser esgotada ao final deste trabalho. A geração de propostas exequíveis no contexto dos areais e viáveis à comunidade local deve ser sempre o objetivo principal e um ponto de partida aos outros trabalhos que sigam a este e que almejem aprimorar as técnicas aqui desenvolvidas.

## CAPÍTULO I

### 1. AREAIS E EROSÃO HÍDRICA

*“... se acrescentarmos a essa paisagem de céu azul, nuvens brancas, planície paleácea, horizontes abertos, rebanhos sem conta, as raras fazendas escondidas à sombra de cinamomos e casuarinas, teremos uma imagem tal ou qual completa do que é a campanha: um sentimento de solidão, um sentimento de liberdade, um sentimento de espaço ilimitado para todos os lados se engendra na alma de quem nasce e vive nestas paragens...”.*

*(RAMBO, 2000, pg. 146)*

#### 1.1 Os Areais e o processo de arenização no sudoeste gaúcho

O conceito de processo remete ao entendimento de uma série de fenômenos sucessivos, com nexo de causa e efeito ou mesmo os diversos períodos de evolução de um fenômeno. Como fenômeno, pode-se conceber qualquer modificação operada pela ação de agentes físicos, químicos e/ou biológicos atuando sobre um corpo de modo a alterar suas características originais, gerando um produto que difere deste em alguns aspectos e que mantém em maior ou menor grau as características do material de origem. Compreender o fenômeno dos areais ou o processo de arenização que ocorre no Sudoeste do Rio Grande do Sul (RS) envolve pensarmos na ação contínua de agentes de intemperismo atuando no tempo e no espaço sobre um substrato rochoso composto por Formações Areníticas, de modo a transformá-lo e gerar como produto final depósitos arenosos prontamente suscetíveis à erosão hídrica e à deflação. Não poderíamos falar sobre arenização e nos abstermos do conceito pioneiro desenvolvido por Suertegaray (1987) em sua tese de Doutorado, a partir de uma definição climática. Este conceito se encontra reproduzido também em trabalhos mais recentes:

*“A Arenização corresponde ao processo de formação dos areais, ou seja, é o retrabalhamento por processos hídricos e eólicos de depósitos areníticos pouco consolidados ou arenosos não-consolidados, o que acarreta dificuldade na fixação da vegetação, em função da intensa mobilidade dos sedimentos”.*

*(Suertegaray, 2008. p. 86)*

Segundo a autora, a dinâmica morfogênica destas áreas está associada à variação sazonal das estações do ano quando se verifica, ora o predomínio da ação eólica (primavera-verão), ora do escoamento hídrico (outono-inverno), na transformação da paisagem.

A arenização no sudoeste do RS destaca-se como um processo para o qual fatores naturais como temperatura, precipitação, vegetação, solo, substrato rochoso, relevo e depósitos arenosos recentes contribuem de forma determinante para o desencadeamento e o avanço deste fenômeno sobre a Campanha gaúcha. A uma condição recente de maior umidificação do clima (AB'SABER, 1995; SUERTEGARAY, 1987, 1995, 1998; VERDUM, 1997; 2003) associou-se a exposição do substrato arenítico pouco consolidado alçado pela neotectônica, o que engendrou uma condição favorável à instalação de processos erosivos hídricos e eólicos na região (FUJIMOTO *et al.*, 2010). Dessa forma, houve uma denudação sucessiva da superfície soerguida, com retrocesso das escarpas, rebaixamento da superfície regional com formação de pediplano e feições residuais (KLAMT & SCHNEIDER, 1995). Os relevos residuais são compostos por Basalto ou escarpas Areníticas de topo silicificado ou cobertos por carapaças ferruginosas. Nas encostas destes relevos observam-se depósitos coluviais areníticos e nas planícies sedimentos arenosos não consolidados, do período Holocênico, altamente suscetíveis à erosão e arenização.

De acordo com Suertegaray (1995; 1998), a heterogeneidade dos arenitos da região constitui os diferentes graus de susceptibilidade à erosão. As ações humanas associadas às atividades agrícolas sobre áreas ambientalmente frágeis, somadas a um substrato fortemente suscetível à arenização, podem potencializar os fatores que dão início e contribuem à evolução deste processo (SUERTEGARAY, 1987, 1995, 1998; VERDUM, 1997; 2003).

No que diz respeito às ravinas e voçorocas, Verdum (1997), Verdum (2003), em seu estudo preliminar do potencial climático do sudoeste (SW) riograndense destaca para o fato da região apresentar uma precipitação média anual de 1400 mm, com episódios de chuva intensa e concentrada em determinadas épocas do ano (de até 150 mm/dia e até 400 mm/mês), o que contribui de forma conclusiva para a geração de processos erosivos oriundos do escoamento concentrado da água. Segundo o mesmo autor, a ação do pisoteio do gado associada ao uso e ao preparo inadequado do solo para atividades agrícolas pode intensificar o processo de arenização na região. Ou seja, o impacto do uso e manejo do solo com emprego de novas tecnologias, inadequadas para os frágeis solos da Campanha, pode se constituir como um dos principais fatores de contribuição para o surgimento de novos focos de arenização no contexto atual do sudoeste do RS.

Bellanca (2002) contribui, em sua Dissertação de Mestrado, com a argumentação de que os areais teriam sua gênese relacionada, mormente, a fatores naturais do que pela ação antrópica, como as monoculturas e super pastoreio. Essa contribuição se dá através da análise de dados arqueológicos, que comprovam a existência de povos caçadores-coletores vivendo em locais com ocorrência de areais, antes mesmo da ocupação européia na região.

O interesse em estudar as áreas com ocorrência do processo de arenização no estado se intensificou a partir da década de setenta do século XX, devido à associação do fenômeno regional ao processo de desertificação e ao crescente enfoque de organizações internacionais como FAO/ONU quanto à problemática do uso, da ocupação, da erosão e da degradação dos solos agrícolas. Desde então, a temática da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul tem sido abordada por diferentes enfoques em Instituições de ensino e pesquisa, destacando-se a diferenciação entre os processos de arenização e desertificação com objetivo de elucidar a existência ou não de desertos no Rio Grande do Sul (SUERTEGARAY, 1987; 1995; 1998; VERDUM, 1997); o contexto sócio-econômico e as mudanças na paisagem (MÓSENA, 2006; VERDUM, 2004); a dinâmica erosiva, expansão dos areais e formas superficiais associadas (VERDUM, 1997; 2004; SUERTEGARAY, 1987; 1995; 1998; GUASSELLI *et al.*, 2009; FUJIMOTO *et al.*, 2010); características de fauna e vegetação e alternativas de contenção dos areais (SUERTEGARAY *et al.*, 2001; TRINDADE 2003; FREITAS 2006; FREITAS *et al.*, 2009; FREITAS *et al.*, 2010; ROVEDDER, 2007; SOUTO, 1985; MARCHIORI, 1995); a atividade antrópica como fator contribuinte na formação e/ou expansão dos areais (CORDEIRO & SOARES, 1975; VERDUM, 1997; VERDUM, 2004; BELLANCA, 2002); características pedológicas e dinâmica geomorfológica (AB'SABER, 1995; KLAMT & SCHNEIDER, 1995; VERDUM, 1997; ROBAINA, 1995) entre outros. Os autores e trabalhos mencionados em cada enfoque são apenas algumas das principais referências, havendo um grande conjunto de trabalhos não mencionados aqui, e que se encontram referenciados, por exemplo, na obra de Suertegaray (1998) página 17. Diversas Instituições de Pesquisa como UFRGS, UFSM, EMATER, FEPAGRO, Secretaria da Agricultura do Estado do RS, entre outras, tem se dedicado ao assunto. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos há mais de vinte anos pelo Grupo de Pesquisa em Arenização do Instituto de Geociências, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/CNPq, com a geração de diversos artigos, publicações, Teses e Dissertações sobre os areais e demais temas relacionados.

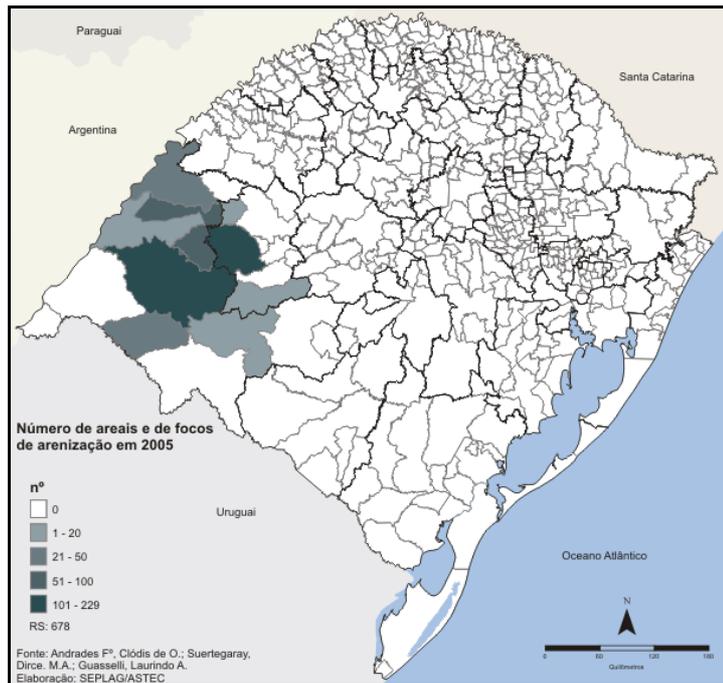
Questões bastante exploradas na bibliografia especializada como a distinção entre arenização e desertificação e a ocorrência efetiva de desertos no estado não serão foco de detrimento neste trabalho, salvo a comparação entre dados e conceitos que venham a enriquecer

o estudo e a compreensão dos tópicos aqui abordados. Fatores característicos de áreas com desertificação, como: o predomínio do escoamento superficial sobre a infiltração, o progressivo aumento da erosão, a deterioração do balanço hídrico, a salinização dos solos, o raleamento e o empobrecimento da cobertura vegetal, a perda da produtividade agrícola, os impactos sócio-econômicos regionais negativos e a alteração dos valores sócio-culturais, por exemplo, não correspondem às áreas com areais no sudoeste do Rio Grande do Sul. Faz-se necessário, no entanto, realizar uma breve revisão bibliográfica acerca do tema da arenização e de alguns elementos relacionados, antes de aprofundarmos a abordagem sobre a erosão hídrica e as ravinas.

## **1.2 A ocorrência dos areais e a busca da compreensão de suas dinâmicas**

A sudoeste do estado do RS, entre as latitudes 29° 00' S e 31° 00' S e as longitudes de 54°30' W e 58°45'W, registra-se a ocorrência de manchas no terreno onde a cobertura vegetal se faz ausente e locais onde se acumulam deposições de material mineral inconsolidado com textura predominantemente arenosa (Figura 1). Estes depósitos resultam de um processo de *arenização* cuja forma ou produto denomina-se *areal*, para o qual o relevo, o material de origem do substrato e a interferência das ações humanas no ambiente são elementos fundamentais ao início do processo de arenização (SUERTEGARAY, 1987; \_\_\_\_\_ *et al.*, 2001). Quanto aos municípios de maior importância em relação ao registro e ao estudo do processo de arenização, têm-se: Alegrete, Cacequi, Itaqui, Livramento, Maçambará, Manoel Viana, Quaraí, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda. A ocorrência da arenização no sudoeste do estado envolve áreas inseridas nas Bacias Hidrográficas dos rios Ibicuí e Quaraí.

De acordo com Suertegaray (1987), a dinâmica de surgimento e expansão dos areais existe desde um período anterior à colonização humana da região, estando condicionada pela fragilidade natural do meio. Como agentes fundamentais do processo de arenização destacam-se os elementos hídrico e eólico atuando com frequência, velocidade, direção e intensidade variáveis no tempo e no espaço. O potencial erosivo do vento e da chuva, na região de ocorrência dos areais, é ampliado fortemente por duas condições naturais: o substrato rochoso, composto por depósitos areníticos fracamente consolidados das Formações Guará e Botucatu e a cobertura vegetal de evolução recente cujo predomínio se dá por espécies vegetais de hábito rasteiro e tipo herbáceo.



**Figura 1.** Areais e focos de arenização no sudoeste do RS, incluindo as áreas de reduzida biomassa, ravinas e voçorocas.  
Fonte: SEPLAG/ASTEC, 2005.

O clima, especificamente, com suas variações de temperatura e precipitação, é o principal fator determinante da vegetação em um ecossistema, seguido das características do solo como fator limitante. As flutuações sazonais de espécies animais e vegetais nos dão uma indicação da estabilidade em um determinado ecossistema. Trindade (2003) menciona ser o núcleo a porção de destaque em um areal, e que a relação da vegetação natural submetida a interferências antrópicas com o entorno e o núcleo de arenização deve servir como base para percepção de um areal:

*“... O núcleo pode ser caracterizado pela extensão de areia com cobertura vegetal incipiente ou inexistente e o constante transporte pluvial e eólico de substrato arenítico avançando sobre o manto de vegetação e o entorno. O entorno do areal e o núcleo de arenização são de extensão variável e apresentam vegetação com uma composição de espécies bem característica”.*  
(Trindade, 2003, p. 5)

A definição e a caracterização do que vem a ser o núcleo e os fatores determinantes a sua existência difere entre os autores, principalmente devido ao seu posicionamento quanto ao processo, sendo este definido ora como desertificação e, mais atualmente, como arenização.

Isto fica evidente em Souto (1985), o qual se refere ao processo como desertificação, e afirma que o núcleo tem início por vários fatores, tais como a localização geográfica e o relevo; a intensidade de precipitação e o lapso da superfície; a escassez da cobertura vegetal, a fragilidade pedológica e a ocorrência de ventos dominantes com grande potencial erosivo. Ambos os autores supracitados mencionam fatores em comum, como a vegetação, precipitação, substrato e vento em sua definição de núcleo. Estes elementos também serão tratados neste trabalho como de maior relevância em relação ao estudo dos areais e dos processos erosivos avançados associados.

Há diversos enfoques e posicionamentos quanto aos fatores predisponentes ao processo de arenização, bem como, as causas de sua expansão sobre os campos da campanha gaúcha.

Suertegaray (1998) conclui, sobre a existência dos areais no município de Quaraí, a sudoeste do estado, que estas áreas remontam a períodos anteriores à distribuição de sesmarias, que a expansão destas áreas de manchas arenosas se daria de modo independente à ação da atividade humana e que a criação de novos areais se daria em função da incorporação ao processo produtivo de novas áreas agrícolas. Corroborando com essas afirmações Bellanca (2002) propõe, a partir da análise da coexistência dos paleo-indígenas com os areais, que o conjunto dos dados considerados favorece o reconhecimento dos areais como um processo geneticamente natural, sendo agravado, atualmente, devido às novas formas de ocupação e uso do solo.

Verdum e Basso (2000) ressaltam que entre os anos de 1950 e 1985, nos municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis o aumento da superfície cultivada ocasionou um decréscimo de cerca de 30 mil hectares de área pastoril. Esse fato contribuiu para a degradação dos solos, contaminação das águas superficiais e geração de novos areais na região. Segundo os autores, mapeamentos mais recentes demonstram que o processo de arenização atinge cerca de quatro mil hectares na porção sudoeste de Rio Grande do Sul.

Partindo do enfoque para o qual a ação humana é fator desencadeante dos areais, Marchiori (1995) afirma que as atividades agropecuárias agravam os efeitos advindos da erosão, o que termina por ampliar gradativamente os campos de areia.

Nos itens destacados a seguir, procura-se detalhar elementos sobre os quais o ser humano tem pouca ou nenhuma capacidade de modificação e intervenção, como a componente climática e a litologia. Da mesma forma a cobertura vegetal original, e o solo serão abordados segundo suas características originais pretéritas e atuais. Esta abordagem se faz procedente porque a área de trabalho dessa Dissertação tem nestes elementos os principais agentes do

processo de arenização, sendo o pisoteio do gado bovino um fator secundário, e restrito a uma possível colaboração no aumento de ravinas e voçorocas, somente. Ou seja, o uso e o manejo do solo para a atividade pecuária não configura causa primordial ao desencadeamento e à expansão de areais e processos erosivos, para fins desta Dissertação, em relação ao recorte espacial e temporal adotados para a área de estudo.

### **1.3 Fatores naturais predisponentes à arenização**

#### *1.3.1 Fatores Climáticos*

O intervalo de tempo correspondente ao Quaternário é caracterizado, basicamente, por um padrão climático de ciclos glaciais-interglaciais, assinalados por grande amplitude e periodicidade das oscilações climáticas registradas inicialmente em ciclos de 41 mil anos e, a partir de 1.2 ma – 800 ka AP, de 100 mil anos (LOPES, 2010). De acordo com o autor, a instável climatologia do Quaternário, caracterizada pela alternância de períodos glaciários e interglaciários, favoreceu o surgimento dos chamados desertos, ou melhor, das condições de semi-aridez na região da Campanha gaúcha.

Bellanca (2002), em seu estudo acerca de povos primitivos e sítios arqueológicos na região dos areais, estabeleceu um recorte temporal partindo dos 13.000 A.P. até o presente. Este período de 13.000 anos foi dividido em 4 subperíodos principais destacando-se, para cada um deles, as transformações climáticas pretéritas mais determinantes na diferenciação da paisagem, como: final do último período seco e início do clima úmido com ocorrência de regressão e transgressão marinha (1º período, de 13.000 - início do Holoceno - a 6.500 A.P.); transgressão do nível do mar a cerca de 5 metros de elevação em relação ao nível atual (2º período, de 6.500 anos até 3.500 anos A.P.); período seco cujas transformações dão origem aos areais do SW/RS (3º período, de 3.500 anos até 2.400 A.P.); e umidificação do ambiente com o nível do mar tendendo ao atual (4º período, de 2.400 A.P. até os dias atuais). A partir de seu recorte temporal, o autor analisa o padrão de transgressões marinhas, períodos de seca e maior umedecimento ambiental, relacionando estes fatores à predisposição do meio para ocorrência do processo de arenização. Segundo Bellanca (2002), as intensas variações climáticas do Quaternário contribuíram de modo determinante para que houvesse a predominância de um substrato altamente suscetível à erosão, em uma condição atual de maior umidade do meio, sendo os areais um processo natural, desenvolvido anteriormente à colonização e a intervenção moderna sobre o uso e ocupação do solo.

Partindo de uma análise paleoclimática, Suertegaray (1987) identifica para região de Quaraí/RS duas diferentes unidades litológicas 'A e B', relacionadas a um ambiente de maior umidade - Pleistocênico e a um ambiente de maior ressecamento ambiental - Holocênico. A primeira, unidade A, estaria caracterizada pela ação fluvio-lacustre enquanto a segunda, a unidade B, estaria caracterizada pela ação eólica. O arenito Botucatu, substrato litológico datado do período Mesozóico - Jurássico, se configura como altamente suscetível à ação de agentes erosivos, o que predispõe à formação de areais em um período recente de maior umidificação do meio (SUERTEGARAY, 1987; 1998). A análise dos índices pluviométricos registrados para a região de ocorrência dos areais permite assegurar não ser verídica uma relação entre a denominação de desertos e/ou processo de desertificação em relação ao fenômeno de expansão dos areais. Segundo a autora (1987; 1995) a abundância, e não a escassez hídrica na região, se configura como um dos elementos chave que condicionam ao processo de arenização e à geração de formas erosivas avançadas, como as ravinas e voçorocas. O debate em relação à diferenciação e conceituação dos processos de arenização e desertificação, bem como sobre a existência ou não de desertos no Brasil, sustenta ainda muitas discussões. A esse argumento se soma o fato mencionado por Araújo *et al.* (2002), quando afirmam haver discordâncias significativas em relação às diferentes bases conceituais que procuram definir o processo de desertificação. Isso reflete direta e/ou contrariamente, nos resultados das pesquisas e nas correlações entre as escalas temporais e espaciais dos estudos baseados em indicadores de naturezas distintas.

Tomando-se como referência o ponto de vista climático, a região de ocorrência dos areais no sudoeste do RS estaria em seu clímax florestal. Entretanto, este ambiente apresenta características edáficas que configuram o solo como o fator impeditivo e/ou o elemento de maior limitação ao estabelecimento de uma cobertura vegetal florestal.

Estudos acerca do potencial climático no município de São Francisco de Assis, conduzidos por Verдум (1997), demonstram a ocorrência de precipitações anuais em torno dos 1400 mm e temperaturas médias que variam de 14,3° no inverno a 26,3° no verão, não sendo verificada qualquer tendência climática para o ressecamento e tampouco um processo recente de desertificação para a região. Da mesma forma, o autor verifica a ocorrência de episódios irregulares e torrenciais concentrados, com precipitações diárias em torno de 145 mm durante a primavera (set, out, nov), outono (março, abril, maio e junho) e inverno (julho, apenas), o que se torna um agravante quanto à geração de processos erosivos por escoamento da água proveniente das chuvas. Suertegaray (1998) relaciona os meses de outubro (primavera), janeiro

(verão) e abril (outono) como de ocorrência concentrada dos picos de chuva e episódios chuvosos.

Verdum (1997) ao analisar a série de dados de precipitação obtidos num período de 30 anos, afirma que a sua dinâmica caracteriza, fundamentalmente, um clima subtropical úmido. Segundo o autor, somente os meses de agosto, dezembro, janeiro e fevereiro, apresentam baixa taxa de precipitação. Os meses com menores taxas de precipitação estão concentrados no período de dezembro, janeiro e fevereiro.

Como precipitação, tem-se toda a forma de água que cai na superfície terrestre, podendo ocorrer em forma de chuva, geada, neve ou granizo ou, até mesmo, mudar de um estado físico para outro durante a queda. A precipitação em forma de gotas é denominada como nevoeiro quando as gotas são menores do que 5 mm e como chuva quando o diâmetro das gotas ultrapassa esta medida. O diâmetro de gota tem relação direta com sua massa, a velocidade com que atinge a superfície do solo e, de modo relacionado à temática desta Dissertação, com a energia erosiva capaz de desagregar, transportar e depositar partículas minerais em superfície.

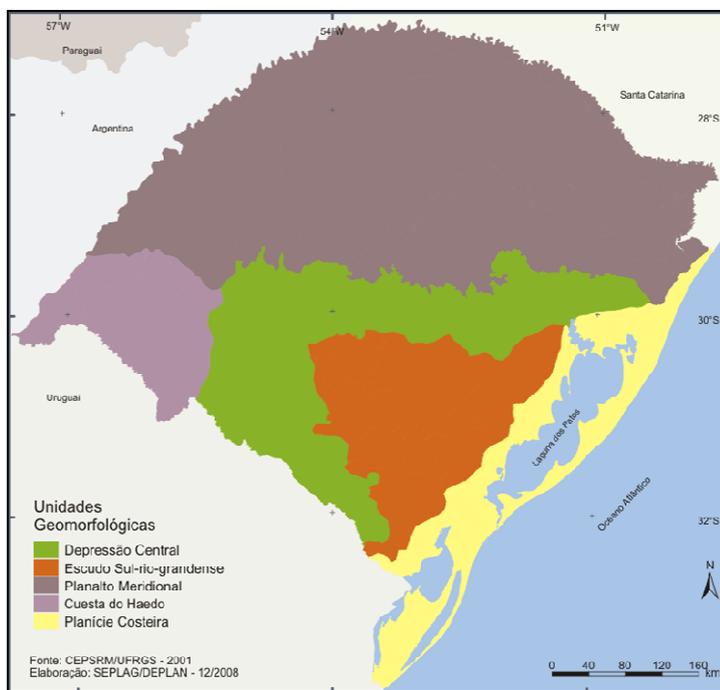
Quanto ao agente eólico, na primavera e verão há a ocorrência de ventos com maior potencial erosivo, com direção predominante de SE, podendo ventar ao longo do dia e no período da noite. Nesta época, os ventos secos vindos do norte são mais fortes havendo, inclusive, a época da ocorrência das nuvens de areia suspensas. Ab'Saber (1995) relaciona como ventos de principal ocorrência na região do pampa aqueles provenientes do quadrante NO-NE e S-SO. Nos meses de outono-inverno é registrado um período de menor velocidade dos ventos, com direção predominante do quadrante Sul.

É nesta época também que o balanço hídrico do solo apresenta maior armazenagem, em função de uma menor evapotranspiração e demanda atmosférica. Ao longo do ano verifica-se um excedente variável na quantidade de água armazenada no solo (SUERTEGARAY, 1998).

### *1.3.2 Geomorfologia e substrato rochoso*

A região-sudoeste do RS apresenta como unidades geomorfológicas principais o Planalto Meridional, a Depressão Periférica e a Cuesta do Haedo (Fujimoto *et al.*, 2010), (Figura 2). A Campanha do sudoeste rio-grandense está inserida na Bacia do Uruguai e tem como principais contribuintes de sua malha os rios Ibicuí e Quaraí.

A Cuesta do Haedo se delimitada ao norte pelo rio Ibicuí e ao sul pelo rio Negro, situado no Uruguai, e corresponde a uma sequência homoclinal, caracterizada e sustentada pelas litologias das formações Botucatu e Serra Geral (SUERTEGARAY, 1998).



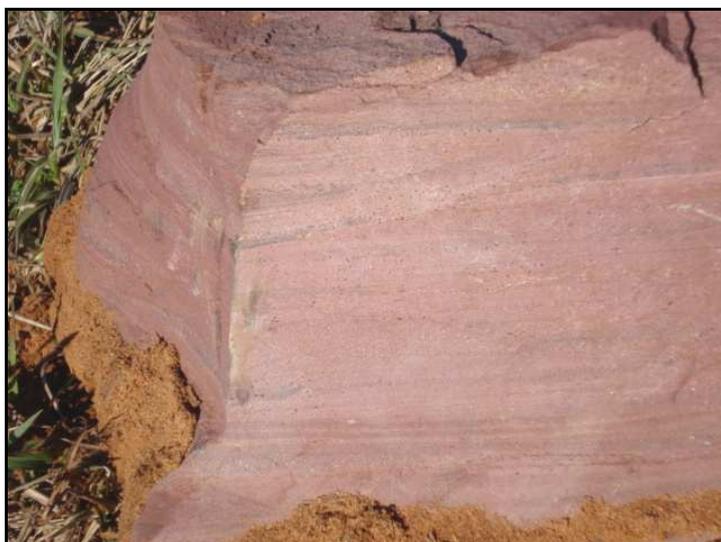
**Figura 2.** Unidades Geomorfológicas do RS.  
Fonte: SEPLAG/SEPLAN, 2006.

A Formação Botucatu, formação geológica da Bacia do Paraná, data do Mesozóico – deposições eólicas do Jurássico ao Cretáceo - e corresponde a depósitos de extensos campos de dunas do paleodeserto do Botucatu, como resultado da grande desertificação ocorrida à época do Gondwana. Estes depósitos dunares deram origem a espessos pacotes de arenito, rocha de origem sedimentar, por meio da compactação dos sedimentos na medida em que eram enterrados sob sucessivas camadas de sedimentos, além de sua cimentação promovida pelos minerais precipitados. Toda a região arenítica rio-grandense se constitui como um vasto cenário de dunas triássicas ‘fossilizadas’ pela solidificação da areia (RAMBO, 2000). A formação Botucatu é constituída por arenitos feldspáticos finos e médios, foscos, com estratificação eólica típica e coloração rósea ou avermelhada (Figura 3). Segundo Rambo (2000), os elementos do arenito, em escala decrescente, são: areia de quartzo, cimento ferruginoso e minerais acessórios. Relevos residuais areníticos presentes na região na forma de cerros tabulares com topos planos apresentam diferente resistência quanto à sua alteração e erosão.

Isso se deve em função das diferentes características de cimentação promovida por materiais, como silicatos ou óxidos de ferro (PAULA e ROBAINA, 2003).

Segundo Verdum e Basso (2000), os materiais finos, como silte e argila, estão presentes em uma proporção de aproximadamente 10% em formações superficiais nos municípios de Manuel Viana e São Francisco de Assis. Quanto maior o teor de silte, relacionado a uma redução ou baixo teor de matéria orgânica e ao inadequado uso e manejo agrícola, maior será a predisposição de um solo aos processos erosivos (GUERRA *et al.*, 1999).

A textura predominantemente arenosa nos produtos oriundos do intemperismo do substrato sedimentar favorece o desencadeamento de processos erosivos superficiais do tipo ravinas e voçorocas, quando sobre ação de eventos pluviométricos torrenciais.



**Figura 3.** Fragmento de arenito Botucatu com sedimentos arenosos inconsolidados na base.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

A Formação Serra Geral, por sua vez, decorre de sucessivos derrames de lavas ocorridos no Jurocretáceo e está representada pelos seus componentes básicos (SUERTEGARAY, 1998). Esta composição básica está relacionada ao basalto, rocha de cor preta onde predominam os minerais ricos em ferro e magnésio. Segundo a autora, nas áreas da Cuesta capeadas pela Serra Geral ocorrem afloramentos da formação Botucatu, as chamadas ‘janelas de Botucatu’, sobre as quais recai a ocorrência de muitos areais mapeados na região.

Verdum (1997; 2004) elabora uma Carta Geo-ecológica para a região dos areais e identifica três unidades principais de relevo ou conjuntos de paisagens, denominados “terroirs”. De acordo com sua análise, pode-se distinguir três recortes na paisagem de estudo:

- I. o *terroir* dos campos limpos do alto Planalto, entrecortados pelos valões e pelos vales encaixados;
- II. o *terroir* dos rebordos inclinados e florestados do Planalto;
- III. o *terroir* e dos campos limpos da Depressão Periférica, de colinas (coxilhas) e de morros testemunhos, entrecortados por valões e vales aluviais.

Evers (2010) identifica quatro padrões de vertentes para a ocorrência de areais: 1. planar retilínea e/ou divergente-retilínea para areais formados em encostas de morros testemunhos a partir da média vertente; 2. convergente retilínea para areais formados em encostas de morros testemunhos a jusante do ravinamento; 3. convergente-côncava e/ou convergente-retilínea para areais instalados em colinas de média vertente e 4. divergente-convexa para areais formados em colinas instaladas no topo da vertente. Vertentes côncavas se caracterizam por um afastamento gráfico entre as curvas de nível, aumentando a distância entre elas na medida em que as altitudes decrescem. Já as vertentes convexas se caracterizam por uma redução no afastamento entre as curvas de nível de acordo com o decréscimo em altitude. As vertentes retilíneas apresentam um afastamento igual entre as curvas de nível.

O estudo dos areais no sudoeste gaúcho relacionando distintos, porém estritamente vinculados, aspectos da Geomorfologia e Pedologia se torna absolutamente procedente. Apesar de o relevo e o solo estarem sujeitos aos mesmos fatores ambientais de formação, a Geomorfologia e a Pedologia têm diferentes raízes e são desenvolvidas com base em diferentes linhas de pesquisa, como: a resposta do solo aos processos erosivos, o desenvolvimento do solo e a formação dos relevos, tipos de solo e de relevo, a época de formação de um determinado solo ou relevo, entre outras (DRESCHTER *et al.*, 1998). Dessa forma, se torna possível confrontar e relacionar informações que atuarão de modo complementar a um entendimento mais abrangente do processo de arenização.

Suertegaray (1998), em sua análise a partir de estudo comparativo entre os areais de São Francisco de Assis e Quaraí, conclui: a ocorrência de areais ocorre de forma predominante nos setores médios das vertentes das colinas e/ou morros testemunhos; há o predomínio espacial do arenito inconsolidado; a litologia é de origem eólica em grande parte, sendo o vento o elemento fundamental de transporte; as ravinas e voçorocas, escoamentos concentrados, são processos comuns nessas áreas; não há deficiência de água no solo na maior parte do ano, o que

se constitui fator fundamental na formação de voçorocas. Da mesma forma, a autora relacionou a maior ocorrência de areais em duas bacias Hidrográficas, Caraguataí e Miracatu, localizadas na região de São Francisco de Assis e Manuel Viana. Chama a atenção o fato de que a maior presença de areais foi verificada na Bacia do Miracatu, onde predominam as áreas agrícolas e de campo.

### 1.3.3 Fitofisionomia

De acordo com Verdum *et al.* (2004) há a ocorrência de três diferentes formações vegetais no setor de estudo entre São Francisco de Assis e Manuel Viana, sendo caracterizados como os campos limpos do alto Planalto e das colinas suaves da Depressão Periférica, a mata galeria dos vales úmidos da Depressão Periférica e os remanescentes florestais dos vales e sobre as bordas do Planalto e dos relevos tabulares da Depressão Periférica.

Segundo Boldrini *et al.* (2010) predomina a vegetação campestre na fisionomia dos campos com arenização, destacando-se as gramíneas *Paspalum leptum*, *Axonopus argentinus* e *Elyonurus* sp. Os ecossistemas campestres – campos limpos, campos sujos com vegetação arbustiva – cobrem uma área aproximada de 13.656.000 ha nos três estados da região sul do Brasil, sendo 62,2% do território do estado, ou seja, 174.000 km<sup>2</sup> (BOLDRINI *et al.* 2010). Ab'Saber (1995) refere-se à vegetação da Campanha gaúcha como das Pradarias mistas, ou seja, grandes extensões de campinas alternadas por galerias de florestas subtropicais. Rambo (2000) afirma que ao considerarmos todas as regiões naturais do Rio Grande do Sul, a Campanha do Sudoeste é a que mais ostenta o caráter de campo sul-brasileiro tomando-se como base o predomínio da flora graminácea, e que este não se configura em uma sociedade uniforme, de modo algum, (Figura 4). Citando Lindman (1906), o autor menciona fatores naturais aos quais a vegetação nativa campestre desta região é adaptada, como lugar de crescimento desabrigado, terreno quente e pobre em água e precipitação parca. Estas afirmações, no entanto, não condizem em sua totalidade à condição do meio, verificada na Campanha rio-grandense na atualidade. Em verdade, a taxa média da precipitação anual é bastante elevada e há grande quantidade de água disponível em subsuperfície, mesmo nas épocas mais quentes. Estratégias adaptativas condizentes aos fatores relacionados por Lindman (acima citado) são claramente observados em várias espécies campestres desta região, como densa pilosidade, característica coriácea, posição das folhas em relação à incidência direta de radiação solar, tamanho ou presença de folhas rudimentares, produção de óleos voláteis, órgãos

subterrâneos espessos, inflorescências muito unidas, entre outras. A vegetação campestre na região de ocorrência dos areais é descrita, grande parte, como uma vegetação relictiva, testemunha de um período de ressecamento ambiental anterior ao atual, de maior umedecimento (SUERTEGARAY, 1987; SILVA, 2009) configurando-se, algumas destas espécies vegetais, como bioindicadores paleoclimáticos. Seguindo a análise paleoclimática associada às formações vegetais nos setores com ocorrência do processo de arenização, têm-se em Verdum *et al.* (2004):

*“A partir das hipóteses sobre a origem dos campos limpos do Rio Grande do Sul, estes corresponderiam a uma formação herbácea dos estoques de vegetação do período geológico terciário (cerca de 65 milhões de anos até 1 milhão de anos A.P.). Entre o terciário e o Quaternário (cerca de 1 milhão de anos A.P. até os dias de hoje), essa vegetação aberta, submetida às mudanças paleoclimáticas, seguem fases alternativas de expansão e retração. Essa vegetação caracteriza-se pela predominância de campos limpos e sujos.”*  
(Verdum *et al.* 2004, pg. 44)



**Figura 4.** Vegetação campestre nativa junto a um degrau de abatimento e próxima a um cerro arenítico com vegetação arbustiva e arbórea. Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

A maior parte das estratégias adaptativas supracitadas teriam se desenvolvido no período de ressecamento, e perduram até os dias atuais por ser uma formação vegetacional ainda recente, considerando-se as mudanças climáticas e a escala evolutiva das espécies. Da

mesma forma, características do meio como ocorrência de seca, substrato arenoso e incidência de ventos com grande potencial erosivo contribuem para a permanência destas características na vegetação local. Suertegaray (1987) relaciona a vegetação atual dos areais como sendo uma cobertura vegetal mais próxima daquela característica dos Períodos Glaciais do Quaternário, com domínios de paisagens vegetais abertas e espécies vegetais xerófilas, além de áreas sem cobertura vegetal como as dunas, provavelmente vivas àquela época.

Freitas (2006; 2010) identificou 102 espécies nativas distribuídas em 25 famílias botânicas em levantamento florístico e fitossociológico nos areais de São Francisco de Assis e Alegrete. Predominam organismos vegetais pertencentes à família das Asteráceas e Poáceas, sendo a família das gramíneas predominante na estrutura horizontal dos campos com areais (TRINDADE, 2003). Marchiori (2004) caracteriza as gramíneas como organismos vegetais especialmente adaptados às regiões secas ou de solo arenoso, fato este comprovado pela arquitetura do seu sistema radicular, intensivo e ramificado, que ocupa um volume de distribuição no solo relativamente pequeno, com baixa densidade. Segundo o autor, os campos precedem as florestas no espaço sul-riograndense na escala evolutiva da vegetação, tendo sofrido profundas alterações florísticas e estruturais em função de maior umidificação e aquecimento ambiental verificados no Holoceno. O clima frio e seco ao final do Pleistoceno propiciou o desenvolvimento de características de estepe à vegetação dominante nos campos sulinos, enquanto que o aquecimento e a umidificação verificados no Holoceno deram condições a uma “savanização da paisagem” (MARCHIORI, 2004). Nos campos com areais, no sudoeste do RS, observa-se a ocorrência atípica de mirtáceas com porte reduzido e estruturas adaptativas especiais como xilopódios, o que caracterizaria um campo sujo (MARCHIORI, 1995). A presença de palmeiras-anãs como *Butia lallemantii* caracterizaria, segundo o autor, um ambiente típico de savana, havendo estreita relação entre sua ocorrência e o solo. Muitas espécies apresentam adaptações morfofisiológicas características de climas mais áridos como xeromorfismo, o que as configura como bioindicadores paleoclimáticos (SILVA, 2009). Ou seja, estes vegetais são testemunhas de uma condição de maior ressecamento ambiental ocorrida em tempos pretéritos, demonstrando capacidade de colonizar a região dos areais, mesmo sob uma recente condição de maior umidificação do meio. Marchiori (2004) afirma que em áreas com precipitação anual abundante, a existência de um período de déficit hídrico suficientemente longo basta para determinar aos órgãos aéreos vegetais um caráter xerófito.

De modo diverso, ao longo de cursos de água e, sobre as escarpas areníticas, predomina a cobertura por espécies arbustivas e arbóreas de pequeno e médio porte. Trindade

(2003) define o processo de arenização pela morte de plantas com consequente substituição por material morto e substrato exposto, caracterizando o areal em três áreas distintas de acordo com a cobertura vegetal existente. Segundo o autor, um dos mecanismos que determinam a expansão do processo de arenização é o soterramento de espécies vegetais. A primeira área seria então classificada como o núcleo de arenização, onde a vegetação se apresenta de maneira rara ou mesmo inexistente. A segunda área se caracteriza pela presença de uma vegetação campestre no entorno do núcleo. A terceira área seria considerada a zona de transição entre o núcleo e a vegetação campestre do entorno.

As espécies vegetais nativas que colonizam áreas com arenização são resistentes a diferentes condições edafo-climáticas, demonstrando mecanismos de adaptação e variações em sua dinâmica populacional de acordo as alterações naturais do ambiente. De acordo com Marchiori (2004), as diferenças florístico-estruturais dos campos sulinos refletem muito mais as variantes edáficas e as ações antrópicas do que os efeitos climáticos, e dessa forma, alternam-se em mosaicos na paisagem da campanha gaúcha.

Características físico-químicas dos solos, como o nível de acidez, textura, estrutura, consistência, permeabilidade, capacidade de retenção de água, fertilidade, bem como variações no relevo, altitude, precipitação, umidade do ar e temperatura, são alguns dos principais parâmetros que condicionam a adaptação e evolução de organismos vegetais no tempo e espaço. Da mesma forma, a vegetação que cobre uma determinada área interage com os fatores climáticos e pedológicos e modifica o ambiente ao seu entorno, absorvendo luz, minimizando o calor, regulando a umidade e temperatura do solo. Partindo desta interação vegetação-meio, observa-se que as gramíneas demonstram grande capacidade de retenção de água no solo e alteram a constituição de nutrientes, permitindo que espécies do próximo estágio sucessional possam colonizar a área posteriormente.

A ação modificadora dos produtores rurais sobre a paisagem e os organismos vivos, especialmente no que diz respeito ao uso, manejo e ocupação do solo para fins agropecuários, pode gerar impactos decisivos sobre a fauna e a flora nativas. A poluição de recursos naturais, supressão de comunidades inteiras e inserção de espécies exóticas pode ocasionar o desaparecimento de espécies locais, levando à deriva genética e extinção de organismos fundamentais ao equilíbrio de um ecossistema original. Rambo (2000) em sua descrição sobre a paisagem da Campanha, já mencionava a presença de espécies exóticas em fazendas da região, como as casuarinas (*Casuarina equisetifolia*) e os ciprestes (*Tamarix gallica*) assim como plantações de milho e mandioca.

Atualmente, se faz muito mais significativa quanto à mudança na paisagem campestre da Campanha, a introdução em grande escala de plantio das espécies exóticas de Pinus (*Pinus elliotti*) e eucalipto (*Eucalyptus spp.*), que têm se configurado como uma alternativa de renda extra a muitos proprietários rurais na região.

Marchiori (1995) chama atenção para a ação homogeneizadora da paisagem campestre pelo pastoreio do gado, havendo favorecimento de espécies estoloníferas, redução no número de espécies nativas, queda na complexidade estrutural e diminuição da diversidade florística. Corroborando com estes últimos argumentos, Boldrini *et al.* (2010) afirmam que os campos do RS são os que se encontram em melhor estado de conservação da região sul do Brasil, mas que sofrem um processo histórico e ininterrupto de descaracterização, com um percentual de cerca de 51% da vegetação campestre original nesta situação de degradação.

## **1.4 Componente edáfico e erosão hídrica**

### *1.4.1 Solo – conceitos gerais*

O solo pode ser entendido como um corpo natural, lentamente renovável, tridimensional e dinâmico, constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas. Fatores como o material de origem (rochas, sedimentos), o clima (temperatura, precipitação), a vegetação (cobertura da superfície, adição de matéria orgânica), o tempo (vento, umidade do ar), o relevo (insolação, penetração de água), a ação de microrganismos e a ação antrópica (uso, manejo e ocupação), desencadeiam processos pedogenéticos, contribuem para sua formação e o configuram como um sistema aberto capaz de efetuar trocas de energia e matéria com o ambiente. Em climas mais secos há o predomínio da dissecação da superfície, e maior produção de sedimentos. De modo contrário, em climas mais úmidos têm-se uma elevada taxa de processos pedogenéticos atuando na formação do solo, caracterizando um período de maior estabilidade em termos pedogenéticos (KLAMT & SCHNEIDER, 1995). Pode-se conceber o solo como um organismo vivo que recicla elementos químicos e orgânicos, promove o crescimento de espécies vegetais, retém e filtra a água, realiza trocas gasosas com o meio, além de ser fundamental para a vida de grande parte dos seres vivos no planeta. Como recurso natural, encontrado em diferentes posições na paisagem, serve de sustentação para a flora e fauna, armazenamento de água, planejamento de áreas urbanas, desenvolvimento de atividades agropecuárias, exploração de fontes minerais, além de criar condições para o estabelecimento e

sobrevivência de comunidades humanas sobre a superfície do manto terrestre. A formação de um solo admite diferentes estágios de evolução, permitindo sua caracterização em solos jovens, incipientes ou pouco evoluídos, com características que se assemelham à rocha matriz; solos maduros ou evoluídos, quando o perfil demonstra pleno desenvolvimento com distinção nítida dos horizontes e solos pobres e pouco férteis.

Para identificação e interpretação de suas características, o solo é examinado a partir da superfície realizando-se um corte vertical ou abertura de uma trincheira. Esta intervenção permite que sejam observadas seções paralelas dispostas como sequências organizadas em camadas verticais e ordenadas em maior ou menor grau de forma paralela à superfície do solo. Denominam-se, a esta sequência vertical, de perfil do solo, e às camadas paralelas de horizontes pedogenéticos. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - SiBCS (EMBRAPA, 2006) o corpo tridimensional que representa o solo é chamado de pedon e o perfil do solo, unidade básica de estudo do SiBCS, é representado pela face do pedon que vai da superfície ao contato com o material de origem. Os horizontes do solo resultam da ação dos processos pedogenéticos atuando no tempo e espaço sobre o material de origem, distinguindo-o deste como produto de adições, perdas e translocações de energia e matéria. Streck *et al.* (2002) relacionam os principais horizontes que podem ser verificados no perfil de um solo:

- H ou O: relacionados a ambientes de várzea ou com boa drenagem respectivamente; situados na camada mais superficial;
- A: presença de matéria orgânica intimamente misturada com o material mineral;
- E: apresenta perda de argila, óxidos de ferro ou matéria orgânica (materiais cimentantes que promovem a formação de agregados);
- B: apresenta cor mais viva, agregados estruturados bem desenvolvidos;
- C: rocha alterada e pouco afetada por processos pedogenéticos;
- R: material inconsolidado.

As diferenças verificadas entre os horizontes resultam de características morfológicas visíveis a olho nu, perceptíveis pela manipulação e que os distingue a campo, como espessura, cor, textura, estrutura, presença de raízes e matéria orgânica, porosidade, cerosidade, superfícies foscas, superfícies de fricção (*slickensides*), superfícies de compressão, nódulos e concreções minerais (STRECK *et al.*, 2002).

Como textura compreende-se a proporção das partículas de areia, silte e argila que compõe a fração mais fina do solo, < 2 mm, sendo agrupadas em 13 classes texturais principais para fins de classificação. A estrutura refere-se à maneira como estas partículas estão dispostas e organizadas, associadas à matéria orgânica e formando agregados no perfil do solo. A consistência de um solo reflete-se na sua maior ou menor resistência quanto à deformação e ruptura, estando condicionada por forças de coesão, adesão e conteúdo de água presentes na massa do solo.

De acordo com Galetti (1984) a composição volumétrica ideal do solo, em percentual seria de: 45% de material mineral, 5 % de matéria orgânica, 33,5 % de microporos (retenção de água por capilaridade) e 16,5 de macroporos (preenchidos por ar).

A atmosfera, os corpos de água superficiais, as rochas, o gelo, os materiais detriticos inconsolidados e os depósitos tecnogênicos constituem alguns elementos físicos de limitação dos solos no ambiente. Superficialmente, o limite do solo com outros corpos naturais se torna mais facilmente perceptível, o que não acontece com a definição de seu limite em profundidade, ou seja, seu limite inferior. Para determinação do limite inferior do solo avaliam-se, ao longo de sua transição gradual em profundidade, critérios como: aumento na quantidade de material mineral com características similares ao material de origem, redução da atividade biológica, menor grau de decomposição da rocha dura, maior acúmulo de materiais saprolíticos, aumento na quantidade de sedimentos nos quais não se verifica atividade biológica e a reduzida ou quase ausente presença de matéria orgânica, entre outros indicativos.

De acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2006) para as condições de clima tropical úmido, prevalentes no Brasil, a expressão da atividade biológica e os processos pedogenéticos comumente ultrapassam profundidades maiores que 200 cm.

#### *1.4.2 Solos suscetíveis ao processo de arenização*

As áreas com ocorrência dos areais têm os núcleos de arenização inseridos, mais significativamente, na unidade de mapeamento de solo Cruz Alta, representada por Latossolos Vermelho escuro com presença de Areias Quartzosas (AZEVEDO & KAMINSKI, 1995). Os areais, de acordo com os autores, também seriam registrados sobre os solos Podzólicos (Argissolos) das unidades São Pedro a Santa Maria. De acordo com os mesmos, as classes de solo mais significativas da região de ocorrência dos areais seriam representadas por: Latossolo Vermelho escuro, Argissolo Vermelho escuro, Neossolo Quartzarênico, pela associação

Cambissolos-solos Litólicos, além dos Planossolos e Gleissolos. Paula e Robaina (2003) mencionam, haver duas unidades de Latossolos para a região dos areais, formados a partir da intemperização de substrato rochoso da Formação Serra geral e do Arenito Botucatu.

A matriz de solo neste contexto apresenta, de modo geral, baixos teores de argila e matéria orgânica, elevada acidez, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa saturação por bases, baixa fertilidade natural e como fração textural predominante a areia média (SUERTEGARAY, 1987; VERDUM, 1997; VERDUM, 2004). Os Latossolos do SW/RS são encontrados em relevos ondulados e/ou suave ondulados (Figura 5). Os solos de textura arenosa, < 15 % argila, sobre os quais estão assentados predominantemente os areais, são classificados como Neossolos Quartzarênicos órticos típicos (RQ) cujo mineral predominante é o quartzo, oriundo da meteorização de rochas areníticas. São solos novos, pouco evoluídos que apresentam pouco desenvolvimento genético e teores de areia em torno dos 85% ou mais. Não há desenvolvimento de um horizonte B diagnóstico definido, com pouca variação de textura verificada até 1,20 m de profundidade no perfil. Estes solos encontram-se em processo de formação devido a uma reduzida ação de processos pedogenéticos, ou por características inerentes ao material originário. A taxa de infiltração e permeabilidade de solos arenosos é muito rápida, > 250 mm/h, sendo o percentual de macroporos determinante quanto à porosidade total. A infiltração da água nestes solos, em comparação aos solos argilosos, se faz de modo mais vertical, com pouca dispersão lateral, atingindo maiores profundidades em menor unidade de tempo. Como taxa de infiltração depreende-se o fluxo máximo que o solo pode absorver através de sua superfície, quando a água é aplicada sobre pressão atmosférica.

De acordo com Verdum *et al.* (2004) no *terroir* dos campos limpos da Depressão Periférica, onde se insere a área de estudo, o substrato arenítico é o mais representativo, em termos geológicos, exceto nas condições em que os relevos tabulares apresentam topos preservados pelo basalto ou pelo arenito silicificado. Os solos deste setor, formados a partir da decomposição do arenito Botucatu, de condição mais pobre em toda a região, apresentam textura silte-arenosa, acidez e elevados teores de Alumínio além da expressiva carência em macronutrientes como o fósforo e o potássio (VERDUM, 2004).



**Figura 5.** Relevo de coxilhas, suavemente ondulado, com ocorrência do processo de arenização.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

Segundo Klamt (1994):

*“...os solos arenosos, suscetíveis à erosão hídrica e eólica, apresentam perfis profundos; com boa drenagem; com horizontes superficiais de cor bruno a bruno-avermelhado; textura areia e areia-franca; estrutura fraca-pequena-granular e grãos simples; consistência solta, não plástica e não-pegajosa; estas características se mantêm constantes no perfil de Areia Quartzosa distrófica...”*  
(Klamt, 1994, p. 24)

A areia Quartzosa, segundo Klamt & Schneider (1995) se desenvolve a partir da alteração de arenitos, apresenta textura arenosa à franca em todo o perfil e susceptibilidade à erosão hídrica e eólica. Geralmente são utilizadas para pastoreio extensivo, com baixa pressão de pastejo na região dos areais.

Devido às suas características físicas, os solos arenosos permitem que a água que chega à superfície percole rapidamente no perfil do solo, alimentando diretamente o lençol freático. Dessa forma, espécies vegetais que desenvolvem um sistema radicular profundo e eficiente na captação da água em subsuperfície tendem a levar vantagem sobre outras espécies menos adaptadas.

Os solos arenosos, em relação à sua aptidão agrícola, se caracterizam pela forte limitação de fertilidade, limitação de água muito forte no período seco e moderada no período úmido, forte propensão à erosão em relevos com declividades maiores do que 10% e grau de

limitação muito forte em relevo ondulado Da mesma forma, se configuram como classe inapta às lavouras e regular ou restrita para lavouras semi-perenes, pastagens ou exploração florestal segundo o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, SAAAT, (SCOPEL *et al.*, 2011).

Alterações nas características naturais de porosidade e estrutura do solo, ocasionadas pela ação do homem, podem assumir importância muito maior do que a coesão e massa específica das partículas minerais (D'AGOSTINI, 1999). Este mesmo autor faz uma colocação bastante procedente, quando discorre acerca da importância relativa do escoamento superficial e sua contextualização, chamando atenção para a necessidade de se reconhecer e valorizar a natureza antropológica cultural do problema erosão:

*“... O grau de adequação da relação que viermos a manter com o meio é de nossa inteira responsabilidade, independentemente de quais sejam as características da extensão do meio que decidimos afetar.”*  
(D'Agostini, 1999, p. 98)

E contextualizando o problema aos solos arenosos, o autor afirma:

*“... É necessário ter claro, assim, que se um eventual escoamento sobre um solo arenoso pode implicar maiores riscos de erosão, e também é verdade que esse solo mais arenoso pode facilitar os procedimentos que reduzem os riscos de escoamento superficial. Enfim, o risco não está no meio, mas na qualidade da ação circunstancialmente desenvolvida sobre o meio, cujas características são dadas desde o início”.*  
(D'Agostini, 1999, p. 98-99)

Os processos naturais que predominam quanto à mobilidade dos sedimentos nas áreas arenosas são a deflação, o escoamento superficial e o escoamento concentrado sob a forma de voçorocamento, atuando de forma concomitante ou independente em função das condições ambientais (SUERTEGARAY, 1987).

### 1.4.3 Degradação

O termo 'degradação' admite diferentes concepções, de acordo com o contexto ao qual se refere. Observa-se, entretanto, na produção teórica com enfoque ambiental, que a aceção do termo degradação muitas vezes se faz de modo superficial ou utilizando-o de modo generalizado.

De acordo com a Lei nº 6.938 de 31 de Agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, a degradação da qualidade ambiental define-se, em seu Art. 3º, como a alteração adversa das características do meio ambiente. A degradação dos solos e recursos hídricos, da vegetação e biodiversidade e a redução na qualidade de vida das populações afetadas são elementos que configuram a degradação do ambiente. Soma-se, à noção de alteração adversa e degradação ambiental, o conceito de impacto ambiental. Segundo a Resolução Normativa CONAMA 001/86, o impacto ambiental se define como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas e, que, direta ou indiretamente, afetam”:

1. A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
2. as atividades sociais e econômicas;
3. a biota;
4. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
5. a qualidade dos recursos ambientais.”

A mudança de um estágio de maior energia para um estágio de menor energia, onde houve perda de qualidade nos processos biológicos e do equilíbrio físico-químico no sistema natural de um solo caracterizam, por exemplo, sua degradação. Erosão laminar, erosão em sulcos, excessiva e inadequada exploração agrícola, ausência de cobertura vegetal, baixo rendimento agropecuário, entre outros, caracterizam fatores de degradação de um solo. Segundo Guerra & Marçal (2009), adotar uma abordagem sistêmica quanto aos processos de degradação permite que se tenha uma melhor compreensão, organização e inter-relação dos sistemas naturais, sociais e econômicos na análise ambiental. De acordo com Paula e Robaina (2003) as áreas degradadas envolvem aquelas onde ocorrem problemas relacionados ao ambiente e/ou ao homem devido ao desenvolvimento de processos geodinâmicos. Medeiros *et al.* (1995) consideram como indicativo de degradação o transporte de partículas do solo pela água precipitada, com conseqüente deposição em áreas de cotas mais baixas e soterramento da

vegetação. O termo degradação, além de evocar uma acepção negativa, está geralmente associado a uma modificação das características naturais do solo e da vegetação em um ecossistema, sob ação direta ou indireta de fatores naturais e/ou da atividade humana.

Robaina *et al.* (1995) se refere aos campos de areia do sudoeste do RS como áreas totalmente degradadas, inseridas dentro de uma grande área de risco. Em outro trabalho, o autor menciona os areais e as áreas com processo de arenização como importantes feições da paisagem, devido ao grau de degradação ambiental que representam (PAULA e ROBAINA, 2003). Da mesma forma, Klamt & Schneider (1995) referem-se aos areais da Campanha gaúcha como áreas degradadas, sujeitas à erosão eólica.

Verdum (1997) realiza uma análise geomorfológica dos areais analisando o processo de degradação dos solos em um recorte espacial a partir da década de 1970, tendo como base as atividades de cultivo agrícola e a criação animal, praticadas sobre as áreas suscetíveis ao processo de arenização. A associação de determinados processos produtivos às práticas agrícolas e fenômenos naturais específicos contribuem para a geração de processos morfogenéticos com diferentes dinâmicas e interações/relações com as fragilidades do meio (VERDUM *et al.* 2004). Segundo o autor, estas atividades podem vir a contribuir com o surgimento e expansão dos areais no sudoeste do estado se somadas às outras condicionantes naturais, como o potencial climático regional, objeto maior de sua análise. De acordo com Verdum (1997), em ecossistemas áridos e semi-áridos a degradação das terras se caracteriza pelo declínio das colheitas, pela deterioração da cobertura vegetal, pela degradação dos solos através da intensificação da mecanização e pelo decréscimo quantitativo e qualitativo das fontes de água.

Relacionando arenização com degradação, têm-se a seguinte afirmação:

*“A arenização vista como um processo de contínua degradação da cobertura vegetal é inusitado, mas natural na percepção das pessoas que convivem com a arenização, pois a dinâmica de um areal é determinada pela resistência/tolerância da relação entre substrato e das comunidades vegetais aos processos erosivos hídrico e eólico”.*

*(Trindade, 2003, p. 85)*

Casagrande & Soares (2011) afirmam que o teor de matéria orgânica no solo tem relação estreita com atributos deste corpo natural, como a estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade e diversificação da atividade biológica, capacidade de troca de cátions, lixiviação e disponibilidade de nutrientes.

Segundo os autores, o teor de matéria orgânica do solo se mantém estável sob uma condição de vegetação natural. Dessa forma, quando há alteração na qualidade e quantidade de espécies vegetais que cobrem a superfície do solo devido à ação antrópica, há uma mudança no estado de equilíbrio original, o que configura um dos principais fatores indicativos de degradação do solo. Os processos de degradação são tomados também como sinônimos de dano ambiental.

De acordo com Guerra & Marçal (2009) a Geomorfologia, como ramo da ciência Geográfica que se ocupa do estudo do relevo terrestre, dos processos e dinâmicas associados, tem um papel fundamental na relevância na recuperação de áreas degradadas. O objeto das obras de recuperação, segundo os autores, é uma parte do relevo terrestre, com diferentes características de solo, substrato rochoso, formações rochosas superficiais, forma, largura, profundidade e presença ou não de água em excesso. Projetos de recuperação de áreas degradadas com embasamento nos estudos Geomorfológicos devem contemplar a necessidade de conhecimento dos efeitos *onsite* e *offsite*. Como efeito *onsite* é definido aquele que se manifesta no próprio local onde se verificam os danos ambientais, e por efeito *offsite* concebe-se aqueles que se manifestam em locais mais afastados da área em que ocorreu o dano ambiental (GUERRA & MARÇAL, 2009).

#### 1.4.4 Erosão

A erosão, do ponto de vista da Geologia, configura-se como um processo geológico de desgaste da superfície terrestre. Para que ocorra o desgaste da superfície terrestre o processo de meteorismo ou intemperismo das rochas em superfície ou próxima desta deve ocorrer. O intemperismo como processo natural, pode ser superficial ou atuar em pequenas profundidades, e apresentar caráter químico, físico ou biológico, de acordo com o elemento predominante no processo de desintegração mecânica e decomposição química da rocha. O tipo de rocha e as características climáticas são fatores determinantes quanto à forma e intensidade do intemperismo que irá predominar em um determinado local e disponibilizará material para ser remobilizado por meio da erosão. Ou seja, agentes erosivos como a água da chuva, água dos rios, ventos, variações bruscas de temperatura, gelo, correntes, a cristalização de sais e a ação águas marítimas podem atuar de modo a retirar, transportar e depositar material na forma de fragmentos, soluções e colóides até o nível de base de erosão. O nível de base representa o ponto menor energia e sítio transitório ou definitivo de acúmulo do material mobilizado pelos agentes erosivos, sob ação da gravidade. O transporte de sedimentos de um local original para

outro ocasiona não somente a perda de material mineral, mas também, a perda de nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, como cálcio e fósforo, além do aumento nos níveis de acidez do solo, com conseqüente redução no crescimento de espécies vegetais nativas ou exóticas.

Os processos de formação do relevo continental são produto da dinâmica externa e interna de diferentes elementos e forças atuando sobre a superfície terrestre, exemplificada em processos como intemperismo, corrosão, infiltração, deflação, corrasão, lixiviação, ablação, escoamento, abrasão, erosão, assoreamento, movimentos de massa, colmatagem, arenização e solapamento, por exemplo. Como dinâmica interna, entende-se o conjunto de processos associados ao movimento e à transformação da crosta terrestre, e como dinâmica externa se depreende o conjunto de processos que promovem a esculturação da superfície da Terra. Associados a estes processos estão a variabilidade e a complexa interação entre elementos da atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera e tecnosfera (SUERTEGARAY *et al.*, 2008). O relevo terrestre passa por constantes transformações endógenas e exógenas, com soerguimentos e desgastes da superfície que alteram seu equilíbrio, gerando processos e dinâmicas Geomorfológicas.

O significado do que vem a ser erosão está constantemente relacionado a termos como corrosão lenta, desgaste, destruição, solapamento, consumir pouco a pouco, escavar, destruir, desgastar, entre outros. Associado ao termo erosão tem-se a erodibilidade de um solo, que pode ser entendida como o potencial que este corpo natural apresenta para sofrer destacamento, transporte e deposição/sedimentação de suas partículas. Ou seja, a erodibilidade indica o potencial ou grau com que um solo pode ser erodido, e é uma característica intrínseca do mesmo. A capacidade de transporte e taxa de sedimentação estão relacionadas à carga de sedimentos e à capacidade de desagregação de partículas não havendo, necessariamente, correspondência direta entre o comportamento de uma e de outra. Dessa forma, pode-se ter uma situação real em que a capacidade de desagregação seja atingida, sem que a capacidade de transporte de sedimentos seja da mesma forma alcançada (D'AGOSTINI, 1999). Desagregação e transporte de partículas do solo são elementos fundamentais de um processo de erosão hídrica, para o qual a energia cinética da água precipitada incidente somada à energia cinética da água escoada superficialmente se torna conclusiva.

Quando um regime pluviométrico ultrapassa a capacidade de campo, ou a capacidade do solo em reter água em sua matriz, tanto no tempo quanto no espaço têm-se a ocorrência de formação de poças na superfície, com subseqüente escoamento da água acumulada. Um mau manejo da água que escoada na superfície do solo pode causar formação de ravinas e voçorocas

até mesmo em áreas de campo nativo, com boa cobertura vegetal. Geralmente, o material transportado pela água escoada é mais rico em fertilidade do que o material que permanece na lavoura, apresentando parâmetros desejáveis ao cultivo agrícola, como: pH mais básico, e altos teores de cálcio, magnésio, fósforo, molibdênio e potássio.

A erosão hídrica se configura como um trabalho mecânico resultante, principalmente, da interação entre a energia incidente (energia erosiva da chuva, comprimento do declive, declividade e inclinação do terreno) e os fatores de dissipação dessa energia (susceptibilidade do solo à erosão, manejo do solo e manejo de culturas e práticas conservacionistas do solo) expressos na Equação Universal de Perda do Solo ou USLE (*Universal Soil Loss Equation*).

A energia cinética da chuva pode ser entendida como uma relação entre o componente energético vertical, o produto do impacto da gota da chuva na superfície, e o componente energético horizontal, produto do cisalhamento e do movimento de escoamento. Deve-se atentar para o fato de que diferentes tecnologias e formas de abordagem se fazem necessárias para prevenir os danos oriundos de cada componente energética.

Massa e velocidade são duas grandezas que se relacionam diretamente e determinam a intensidade da energia erosiva da chuva ( $E_k = \frac{1}{2} m.v^2$ ). Quanto maior a massa (kg) de água e a velocidade de seu deslocamento ( $m.s^{-1}$ ), maior será seu potencial de desagregação e deslocamento de partículas. A energia potencial de um corpo (posição da massa em um campo gravitacional) está relacionada a uma coordenada de posição que ao ser alterada para uma coordenada de velocidade pela ação gravidade, por exemplo, pode se converter em energia cinética e gerar trabalho erosivo. Este trabalho erosivo, no entanto, também vai estar relacionado a condições de relevo (inclinação e comprimento de rampa), presença de cobertura vegetal, massa de água que interage com um determinado volume de solo em um determinado tempo, bem como a taxas de dissipação e perda de energia com potencial para gerar trabalho (infiltração), evidenciadas ao longo do deslocamento desta massa. Desagregação, transporte e deposição de sedimentos em sulcos de erosão estão sujeitos, primeiramente, à ação da gravidade (D'AGOSTINI, 1999). Segundo o autor, não se pode considerar desagregação e sedimentação como fisicamente opostas, pois que ambas são características de um trabalho mecânico cuja força envolvida está igualmente encerrada na energia gerada a partir da aceleração gravitacional. A água, como principal agente externo modelador do relevo, tem a capacidade de atuar de maneira destrutiva, desagregando partículas, assim como realizar um trabalho construtivo, depositando material sólido, em um mesmo evento. Partículas maiores são transportadas por arrastamento, partículas médias por saltamento e salpicamento, enquanto partículas menores são transportadas por suspensão. De acordo com Oliveira (1999) citando

Selby (1994), a maior parte da energia cinética da chuva é dissipada no atrito entre as partículas desagregadas e deslocadas, restando cerca de 2% de energia para o trabalho erosivo. Da mesma forma, a rugosidade do terreno e a rota que o escoamento da água da chuva irá percorrer em superfície ou no interior de um canal contribui para a redução de sua energia. Esta consideração já nos dá um indicativo quanto à eficiência de técnicas baseadas em barreiras físicas e reordenamento do escoamento superficial, para a dissipação da energia cinética da chuva e o controle de processos erosivos.

Rambo (2000), ao final do capítulo em que trata da transformação geológica da região da Campanha do Sudoeste, conclui que a região é um clássico para verificar a ação erosiva do agente hídrico atuando sobre rochas sedimentares. O autor complementa a argumentação afirmando que a gravidade é a força física determinante de todos os movimentos, procurando levar toda a matéria o mais perto possível do centro da Terra. Guerra & Marçal (2009) mencionam a impossibilidade de diagnosticar e prognosticar a erosão dos solos sem considerar os estudos de Geomorfologia, com base nas formas de relevo e processos associados.

A partir de uma abordagem da Física, mais especificamente com base em conceito da Termodinâmica, pode-se conceber a erosão como um processo de conversão de parte da energia mecânica da água em trabalho de remoção do solo. Dessa forma, a produção de turbulência, o trabalho de desagregação e o transporte de partículas de solo seriam uma das principais formas de conversão da energia de velocidade da água quando em escoamento superficial.

A ação antrópica pode assumir papel decisivo na eficiência de conversão da energia mecânica em trabalho, daí a necessidade de se pensar no desempenho do homem dentre os diferentes agentes do processo erosivo (D'AGOSTINI, 1999). Este autor também aborda uma questão muito relevante no contexto atual com enfoque em conservação ambiental, em que o homem sai de uma posição observadora, para assumir seu papel protagonista como agente causador do processo erosivo.

O movimento da água sobre a superfície da Terra tem como elementos motores a energia proveniente da radiação solar e da força gravitacional, regulando o ciclo hidrológico e podendo desencadear processos de erosão fluvial, pluvial, marinha ou glacial. Fatores naturais como cobertura vegetal, substrato litólico, comprimentos de rampa, declividade do terreno, temperatura, intensidade e duração das chuvas, profundidade do solo, manejo e ocupação definem a ocorrência, dinâmica e magnitude de processos erosivos hídricos. Estes processos caracterizam-se pela ação direta da água na desagregação, transporte e deposição de partículas minerais. Toda vez em que a capacidade de armazenagem de água pelo solo é

superada pela quantidade de água precipitada em um determinado lapso, o excedente hídrico se desloca pela superfície do terreno na forma de escoamentos superficiais.

De modo geral, quanto maior a rugosidade superficial e porosidade de um solo haverá maior retenção de água, com menor escoamento, e maior taxa de infiltração e percolação no perfil. Partindo da perspectiva da Geomorfologia, os escoamentos superficiais classificam-se em laminares, difusos e concentrados (em sulcos). Como escoamento laminar define-se um contínuo filme de água que ao escoar sobre a superfície do solo se assemelha a um fino lençol de água a cobri-la uniformemente, sem formar canais definidos, se configurando com uma feição erosiva planar. Este tipo de escoamento geralmente disponibiliza um grande aporte de material fino a ser depositado em cursos de água em pontos mais a jusante causando assoreamento, além de se apresentar como um processo erosivo lento, e de difícil percepção imediata.

Os escoamentos difusos ou lineares se caracterizam por escoamentos que adquirem trajetória de linhas anastomosadas, formando pequenos canalículos efêmeros. O escoamento concentrado ou sulco se forma a partir de uma trajetória preferencial da água escoada sobre a superfície, escavando canais que podem evoluir de pequeno porte a processos erosivos avançados de grandes dimensões, como ravinas e voçorocas (Figura 6). Os escoamentos do tipo difuso e laminar geram processos de desgaste mais lentos da superfície, em relação ao escoamento concentrado. Quando a água escoar de modo concentrado em filetes seguindo pequenos canalículos sobre o terreno denomina-se erosão em sulcos.



**Figura 6.** Ravina de grandes dimensões em média vertente, município de Manoel Viana/RS.

Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

A erosão em sulcos pode evoluir desde o escoamento sobre pequenos canais gerados a partir de trilhas de formigas e macroporos biogênicos, por exemplo, até canais com grande profundidade que impedem o tráfego de máquinas agrícolas. Nesse estágio os processos erosivos já se encontram bastante avançados, sendo conhecidos por ravinas e/ou voçorocas. Falhamentos de encosta, trilha do gado, abertura de estradas, atividade de mineração, remoção da cobertura vegetal original e cultivos em relevos íngremes sem curvas de nível são alguns dos agentes condicionadores de processos erosivos avançados, degradação dos solos e dos recursos hídricos.

Com o objetivo de expressar matematicamente as relações existentes entre diferentes variáveis ambientais a foi desenvolvida na primeira metade do século XX pelo governo dos Estados Unidos da América (USA) a Equação Universal de Perda do Solo – *Universal Soil Loss Equation* (USLE), de modo a permitir a quantificação e predição da perda de solo pela ação da água sobre o substrato. A USLE é definida por:  $A=R.K.L.S.C.P$ , sendo que o termo A se refere ao solo perdido por erosão (t/ha/ano); R representa a erosividade da chuva (MJ.mm) ha/h/ano; K expressa a erodibilidade do solo (t.ha.ano) h/MJ.mm); L representa o comprimento de rampa; S representa a inclinação da rampa; C refere-se à cobertura e manejo do solo (0,0001 a 1,0 – que representa a erosão máxima, um solo totalmente descoberto) e P representa as práticas conservacionistas ou complementares de controle à erosão (0,25 a 1,0). De maneira geral, concebe-se que quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior a capacidade erosiva da massa de água em movimento. Da mesma forma, admite-se que quanto maior for o comprimento de rampa, maior será a superfície disponível para erosão. Como comprimento de rampa tem-se a medida da extensão entre a crista das vertentes e o talvegue. Em relação a estes dois parâmetros, experimentos e verificações a campo tem comprovado que a inclinação do terreno tem maior efeito sobre o potencial erosivo do que o comprimento de rampa. Esta informação se torna fundamental quando se pensa em fatores prioritários para projeto e dimensionamento de intervenções mecânicas destinadas ao controle de processos erosivos.

O enfoque na quantificação da perda de solo por meio de equações não se constitui como principal objetivo neste projeto e, sim, o entendimento de sua dinâmica, fatores envolvidos, a postura do homem e seu papel perante o processo erosivo, além das possibilidades de intervenção com baixo impacto ambiental. A ação de elementos externos e internos sobre a dinâmica dos recursos naturais gera desequilíbrio e a necessidade de se estabelecerem novos pontos de estabilidade. Daí a ocorrência de desastres naturais, como os processos erosivos. É claro que, em se tratando de estabilizar uma ravina em área agrícola, a

quantificação da perda de solo se mostra como argumento muito importante ou até definitivo no convencimento do produtor rural quanto à adoção de práticas conservacionistas e/ou mitigadoras.

O projeto desenvolvido para esta Dissertação, no entanto, pretende se constituir como um ponto de partida com indicadores preliminares bastante positivos, que possam servir de estímulo a um posterior desenvolvimento e emprego de técnicas avançadas de estabilização de áreas instáveis e controle de processos erosivos, como aquelas empregadas pela Bioengenharia de Solos (DURLO & SUTILI, 2005) e pela Geotecnia. Para adoção destas técnicas se faz necessário seguir um protocolo de trabalho das Engenharias, como elaboração de projeto e a realização de cálculos detalhados para mensuração e projeção das obras e/ou estruturas biotecnológicas. Devido ao curto período de desenvolvimento deste trabalho e limitações pessoais quanto ao domínio teórico-prático, não seria possível realizar todas as aferições e cálculos necessários ao correto dimensionamento de estruturas projetadas pela Bioengenharia de Solos ou pela Geotecnia, apesar de admiti-la como uma referência ideal no controle da erosão hídrica. Dessa forma, uma estimativa local obtida por meio de aferições a campo e baseada nos monitoramentos simples em São Francisco de Assis será apresentada no capítulo III. A escolha de uma metodologia mais ‘artesanal’ se comparada àquela empregada na Geotecnia e na Bioengenharia de Solos vai ao encontro da proposta em desenvolver ao longo deste trabalho uma metodologia de aferição e intervenção técnica acessível a pessoas sem qualificações técnicas específicas, que apresente um baixo custo de implantação, uma fácil apreensão e difusão local.

D’Agostini (1999) aborda a questão da erosão a partir de um novo enfoque, e afirma que não basta somente saber explicar as implicações do processo erosivo sobre a agricultura, mas, que se faz necessário compreender o papel da agricultura nas relações de valores e na escala de prioridades do homem atual. Seguindo sua lógica, o autor coloca que transcendendo a questão da dificuldade na descrição do processo erosivo e na predição dos seus resultados, surge a complexa questão das relações que determinam o grau de efetividade no combate à erosão do solo, como um problema científico mais antropológico cultural do que físico.

Em se tratando de processos erosivos associados às encostas, a taxa de erosão pode estar fortemente associada a fatores como declividade e comprimento de rampa, contribuindo tanto para o acúmulo como para a velocidade de escoamento da água precipitada. A disponibilidade de material prontamente disponível à mobilização, transporte e deposição em áreas de encostas, no entanto, é muito variável e irá ser determinante quanto a uma maior ou menor erodibilidade do meio (GUERRA & MARÇAL, 2009). Quanto à forma das encostas e

sua influência nos processos erosivos por escoamento da água, têm-se que a concavidade, em relação à forma convexa, promove maior concentração de água e, dessa forma, favorece a ocorrência de processos erosivos.

Os solos arenosos são fortemente suscetíveis ao solapamento, erosão em subsuperfície e desbarrancamento em função de sua fraca coesão. A característica de baixa coesão em solos arenosos se origina da inexpressiva presença de materiais cimentantes, elementos capazes de unir as partículas minerais por meio de relações físico-químicas-biológicas. A erosão hídrica em sulcos não é ocasionada pelo selamento e formação de crosta superficial e tampouco pela umidade anterior a um evento de grande precipitação com saturação destes solos. Neste contexto, o acúmulo da água precipitada em irregularidades da superfície e o escoamento concentrado são mormente um produto de chuvas torrenciais, combinadas a um substrato fracamente consolidado, em um curto período de tempo.

Os trabalhos desenvolvidos por Cordeiro & Soares (1975) em meados da década de 70 do século XX tinham como objetivo traçar um diagnóstico da região dos areais e propor técnicas para preservação do solo. O fator antrópico, o manejo agrícola inadequado e a presença do gado (bovino, ovino) foram apontados pelos autores como aqueles elementos de maior importância no desencadeamento e ampliação do processo de arenização.

Azevedo & Kaminski (1995) afirmam que, em síntese, o solo pode ser entendido como um sistema aberto que troca energia e matéria com o meio e, tanto mais sujeito a perturbações quanto menor a capacidade de seus subsistemas em compensar as flutuações. Segundo os mesmos, este seria o caso dos campos de areia no SW/RS, onde a baixa capacidade de compensar as perturbações nos fluxos de troca com o ambiente caracteriza a fragilidade dos subsistemas (mineral, biológico, físico-químico).

#### *1.4.5 Ravinas e Voçorocas*

As ravinas e voçorocas podem ser entendidas, de maneira simples, como processos originados pela mobilização parcial da energia dinâmica da água que flui no ciclo hidrológico em trabalho de desagregação, transporte e deposição de material mineral fora de seu local de origem (D'AGOSTINI, 1999). Oliveira (1999) também parte do enfoque sobre o acréscimo de energia e sua dissipação em um sistema para definir as ravinas e as voçorocas. Segundo o autor:

“As ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da  
tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e  
eficiência do sistema em dissipar energia”.

(Oliveira, M.A.T. ; 1999, pg 58.)

Segundo Ferreira e Ferreira (2009), estas feições do relevo são erosões em sua fase mais avançada, complexa e destrutiva, oriundas da ação combinada das águas e sedimentos escoando em superfície sobre o solo desprotegido e seguindo canais preferenciais de porte médio a grande. Seguindo a mesma linha conceitual, Galetti (1984) afirma que a voçoroca pode ser também um produto das águas em profundidade, que após infiltrarem-se e percorrerem o perfil verticalmente, encontram uma camada impermeável e passam a desenvolver uma trajetória horizontal, provocando arrastamento de partículas e processos erosivos pela dinâmica da água em subsuperfície.

Primavesi (2002), em seu trabalho sobre manejo ecológico do solo, menciona a erosão com um processo que se instala onde houver terra desnuda, em função da intervenção humana no manejo do solo com fins agropecuários. Corroborando com este argumento, Fengler *et al.* (2011) afirmam, em seu trabalho de determinação da perda de solo com vistas à restauração da superfície, que as atividades humanas aceleram os processos erosivos provocando uma modificação do ambiente natural em uma velocidade que supera em muito a capacidade de resiliência do meio. De acordo com os autores, as áreas degradadas pela erosão hídrica se transformam, muitas vezes, em locais com características inóspitas, que não suportam mais a manutenção da biodiversidade natural.

No contexto dos areais no estado do Rio Grande do Sul, no entanto, as ravinas, voçorocas e os areais podem se originar naturalmente em áreas onde não se verifica a ação antrópica direta. O substrato desempenha papel preponderante neste processo devido à predominância de quartzo e quase ausência de elementos cimentantes, como argila e matéria orgânica. Esta condição predispõe, principalmente, à erosão em sulcos e é responsável pelo aparecimento de grandes sistemas e voçorocas (ROBAINA *et al.* 1995).

Guerra *et al.* (1999), Guerra & Marçal (2009), ao discorrerem sobre a erosão hídrica do solo, citam como sequência de ocorrência dos fatores contribuintes ao processo erosivo causado pela água das chuvas: o efeito *splash* iniciado quando do impacto da gota de chuva nas partículas minerais e ruptura dos agregados do solo, a formação de crosta e selamento da superfície, a formação de poças, progressiva saturação do solo, início no escoamento

superficial difuso (erosão em lençol ou *sheetflow*), seguindo pela concentração dos fluxos (erosão em sulcos ou *flowline*), podendo evoluir para um escoamento mais concentrado e daí para uma voçoroca (incisões mais profundas no solo), quando pode haver afloramento do lençol freático.

Segundo os autores, o risco de erosão aumenta se associado, por exemplo, ao bordo de uma chapada com mais de 3° de declividade, quando podem ser formadas voçorocas de grandes dimensões e com grande área mobilizada. O fator de maior preocupação ambiental, neste contexto, seria o recuo das cabeceiras das voçorocas situadas nas suas vertentes em direção ao topo das chapadas. Quanto ao estágio de evolução no processo de formação de ravinas, Guerra *et al.* (1999) lista em sequência lógica de acontecimento: o escoamento em lençol (*Sheetflow*), o desenvolvimento de fluxo linear (*Flowline*), o desenvolvimento de microrravinas (*Micro-rills*), a formação de microrravinas com cabeceiras (*Headcuts*) e o desenvolvimento de bifurcações através dos pontos de ruptura (*Knickpoints*).

De acordo com o IPT, as classes de declividade do relevo estão divididas em < 2%, 2,5%, 5-15% e > 15%. Relevos com < 2% a 2,5% de declividade se apresentam muito planos e pouco sujeitos à erosão; relevos com 5% de declividade apresentam baixa declividade com registro de processos deposicionais, sendo o limite para o início de processos erosivos significativos; relevos com 15% definem a faixa de limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura, sendo propícias à ocorrência de processos de movimentação de massa e escorregamentos.

As ravinas e voçorocas podem ser originadas a partir de diferentes dinâmicas erosivas como, por exemplo, através da reativação de antigas paleodrenagens pela ação da água que precipita e escoar de forma concentrada ao longo de falhamentos de encosta e forma sulcos ao atingir uma superfície descoberta, originando processos erosivos avançados. Nos areais, as ravinas e voçorocas, podem estar associadas às cabeceiras de drenagem e também podem ocorrer juntos aos cerros, associados às linhas de pedra. Estas linhas de pedra representam zonas de contato entre o arenito silicificado mais impermeável e o arenito friável na base (PAULA e ROBAINA, 2003).

O colapso da superfície causado pela remoção de materiais por meio de fluxos de escoamento subsuperficiais pode, por exemplo, originar sulcos que serão o embrião de ravinas e voçorocas. Os sulcos são fruto de escoamento superficial linear, quando grande parte da água precipitada não infiltra no perfil do solo e desloca sobre a superfície de forma concentrada. Nesta situação, o fluxo de água adquire maior competência, fixa leito e deixa marcas na superfície topográfica como as ravinas e voçorocas. A água que escoar superficialmente exerce

maior importância quanto à dinâmica de ravinamentos, ao passo que em um processo de voçorocamento o escoamento superficial tem grande influência, mas o escoamento em subsuperfície com afloramentos de água no sopé do talude será muito mais significativo na dinâmica erosiva interna (*pipping*).

A erosão hídrica pode provocar assoreamento de corpos de água e barragens, enchentes, mortalidade de espécies da fauna e flora aquáticas, perda da biodiversidade terrestre, redução dos teores de matéria orgânica, redução das funções alimentares biológicas e dos filtros das coberturas pedológicas, reduzindo paulatinamente a quantidade de terras agricultáveis (FERREIRA e FERREIRA, 2009).

De acordo com os autores, a evolução dos processos de erosão hídrica causados por escoamentos concentrados iniciam, de modo geral, com a abertura de sulcos de secção transversal em 'V', com pouca profundidade e alargamento; passam pelo alargamento e aprofundamento dos canais com solapamento de taludes e evolução regressiva dos sulcos e finalizam com a estabilização do processo erosivo, quando este atinge o nível de base, apresenta secção em 'U' bem como a presença significativa de espécies vegetais colonizando o interior da feição erosiva.

Durlo & Sutili (2005) classificam o tipo de movimento de massa que dá origem às ravinas e voçorocas como um entalhamento, oriundo de movimentos complexos e produto de movimentos do tipo Deslizamentos. Após iniciado o entalhamento do relevo, seguem-se os deslizamentos e os desmoronamentos dos taludes pela remoção do material no sopé provocado pelo escoamento concentrado de água no canal (Figura 7). O entalhamento do relevo corresponde à erosão em sulco, e está normalmente associado a precipitações intensas, ao substrato, à topografia, presença de cobertura vegetal e ao movimento da água em superfície e subsuperfície.



**Figura 7.** Desmoronamento recente de material verificado no terço superior de um talude instável na ravina em estudo, margem esquerda. Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

Há, na literatura especializada nacional e mundial, diferentes critérios quanto à definição de ravinas e voçorocas, de acordo com a abordagem dada pelas diversas áreas do conhecimento, como Ciências Agrárias, Ciências Biológicas, Engenharia Civil (Geotecnia) e Geociências. Tanto as ravinas quanto as voçorocas constituem-se como feições morfológicas resultantes de processos erosivos avançados, mas em diferentes estágios evolutivos. Guerra *et al.* (1999) definem ravinas como aquelas depressões escavadas pelo movimento da água sobre a superfície do solo cujas dimensões não ultrapassem os 50 cm de profundidade. Medidas mais profundas caracterizariam o sulco escavado na superfície do solo como voçoroca.

Flores *et al.* (2007) fazem referência à denominação de voçoroca quando tratam da erosão em sulcos e relacionam a as voçorocas a existência de sulcos muito profundos que não podem ser cruzados por máquinas agrícolas e que já atingiram o Horizonte C.

Não fica claro, consultando a bibliografia especializada, e muito menos há um consenso quanto aos limites dimensionais e conceituação teórica que poderiam caracterizar e tornar clara a distinção entre sulcos, canais, ravinas e voçorocas.

Para fins deste trabalho, no entanto, será denominada como ravina uma forma erosional produto de um canal de drenagem e que antecede a voçoroca, esta sim considerada como o estágio final de erosão hídrica por escoamento concentrado. Em processos de ravinamento há a formação de taludes íngremes, retrabalhamento de material pelo escoamento efêmero da água e impedimento de tráfego de máquinas agrícolas, sem haver, como nas

voçorocas, o afloramento de água e erosão hídrica interna, *pipping*, no canal onde preferencialmente escoam as águas derivadas das chuvas.

As voçorocas são representadas por feições erosivas de grandes dimensões e profundidade, com uma dinâmica erosiva hídrica interna oriunda do afloramento de lençol freático em subsuperfície, denominado '*pipping*' ou '*pipe erosion*' (FERREIRA & FERREIRA, 2009) ou, então, '*tunnel scour*' segundo Dunne (1990), mencionado por Oliveira (1999).

A dinâmica erosiva envolvida em processos como os ravinamentos é regida por diversos fatores como: a desagregação, o transporte e a deposição de partículas sólidas pela ação da água (escoamento, encharcamento); pequenos movimentos de massa com transporte coletivo de solo/rocha/material orgânico e provenientes do solapamento da base dos taludes, onde a ação da gravidade apresenta papel preponderante.

O salpicamento de pequenas partículas desagregadas pelo impacto das gotas de chuva pode ocasionar o selamento da camada superficial do solo, conduzir a um aumento de sua densidade, redução na quantidade de poros, compactação e conseqüente queda na taxa de infiltração da água precipitada. Esta condição contribui para o aumento do escoamento superficial, gerando uma situação em que a capacidade de percolação da água no perfil do solo será inferior a taxa de precipitação, aumentando o potencial erosivo da chuva em uma determinada área. Em taludes onde se verifica diferentes camadas de deposição sedimentar pretérita, pode haver a formação de diferentes planos de fratura, cada qual com sua maior ou menor susceptibilidade à erosão pela água.

Para muitos pesquisadores dos areais no sudoeste do RS, o processo de arenização tem seu ponto de maior expressão através de ravinamento e/ou voçorocamento. Ou seja, é através destas feições erosivas que temos a real percepção da problemática que envolve o processo de arenização. Suertegaray (1995) afirma que os processos de ravinamento e voçorocamento são os elementos desencadeadores de formação de um areal e a eles se associam áreas de diferente contato litológico como entre o Arenito Botucatu e os depósitos areníticos recentes. A autora também menciona, em seu trabalho sobre os areais de Quaraí/RS, que os processos de ravinamento e voçorocamento são comuns nas médias colinas, onde também se formam os areais, bem como a grande incidência de voçorocas sobre as unidades litológicas A e B descritas em Quaraí.

Menções aos processos erosivos nos areais são também encontrados em Rambo (2000) em seu capítulo sobre a Campanha do Sudoeste, no tópico relacionado à vegetação, quando afirma que o tapete campestre situado nos flancos era rasgado pelos sulcos da água da chuva

escoada e pelos valos dos cursos de água. De fato, a água se constitui como principal agente modelador exógeno o relevo. Ferreira e Ferreira (2009) chamam atenção para um fator importante:

*“... A diversidade de espécies no interior das voçorocas sugere um enriquecimento em nutrientes, dada à variabilidade e adaptabilidade delas. O ambiente torna-se mais dinâmico em comparação com o exterior da voçoroca, em razão de fornecer condições de constante ciclagem de nutrientes e possuir o fator água em disponibilidade satisfatória. Portanto, apesar do solo ser pobre em nutrientes, observa-se nas voçorocas, considerável diversidade florística, em parte pela melhoria na disponibilidade de água, mas sem excesso em partes das baixadas.”*

*(Ferreira e Ferreira, 2009, p. 8)*

Na percepção de produtores rurais que habitam há mais tempo na região dos areais, as ravinas e voçorocas são um problema muito mais preocupante do que as áreas cobertas por areias soltas, efetivamente. Durlo & Sutili (2005) chamam a atenção para os solos arenosos, sem coesão interna entre as partículas. Para estes solos, os autores afirmam que o ângulo natural dos taludes depende quase que exclusivamente do ângulo de atrito interno do material, sendo sempre igual, independentemente da altura do mesmo. Da mesma forma, de acordo com os autores, estes solos só começam a deslizar após a sua total saturação pela água.

Verdum (1997) argumenta que a ocorrência de chuvas torrenciais (>100 mm/h), com distribuição concentrada no tempo e no espaço, atuando sobre um substrato de grande fragilidade estrutural e com escassa cobertura vegetal constitui fator determinante no desencadeamento dos processos de ravinamento e voçorocamento nos areais.

Paula e Robaina (2003) dividiram uma área com ocorrência de arenização no município de Alegrete e delimitada por uma bacia hidrográfica em dois compartimentos: o compartimento de dissecação e o compartimento de deposição. O compartimento de dissecação estaria associado às unidades das colinas de arenito e das colinas de basalto, onde podem ser verificadas subunidades geológicas-geomorfológicas e feições de terreno com dinâmica superficial, como os cerros de arenito, os morrotes, os areais e as áreas em processo de arenização, as linhas de matações de arenitos, as ravinas e as voçorocas. Nas linhas de matações, associadas à média encosta de algumas colinas e vertentes dos cerros, os processos erosivos estariam sendo acentuados em função da diferença na velocidade de escoamento da água sobre um substrato rochoso silicificado (menos friável) em contato com afloramentos rochosos mais friáveis.

Até o final do capítulo um priorizou-se o traçado de um panorama geral com a apresentação de temas pertinentes à compreensão da arenização e dos processos erosivos associados na região de ocorrência dos areais. No capítulo dois parte-se para uma abordagem mais prática, com enfoque nas técnicas e metodologias que já são ou foram utilizadas, bem como naquelas que poderão contribuir para a estabilização da ravina selecionada para desenvolvimento deste trabalho.

## CAPÍTULO II

### 2. ESTABILIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS AVANÇADOS

*“... Conservation has been defined in various and conflicting ways according to the purpose of those who have defined it”.*  
(FAO Soils Bulletin, 1972, p. 2)

#### 2.1 Relevância de uma intervenção técnica

A recuperação de áreas degradadas, em ambiente rural ou urbano, não deve atender somente a segmentos científicos e tecnológicos, instituições universitárias, pesquisadores e empresas privadas. Para que haja um envolvimento efetivo da comunidade em torno da questão é imperativo que as propostas estejam aliadas a decisões políticas, bem como a integração, capacitação e participação popular.

Mesmo que o tema desse estudo não discorra sobre as discordâncias conceituais entre arenização e desertificação para caracterizar os processos identificados no sudoeste do estado, destacam-se as afirmações de Araújo *et al.* (2002), ao se referir sobre o tema da desertificação. Em seu trabalho, os autores asseveram que as ações de uma política de controle do processo devem contemplar medidas voltadas à caracterização e ao monitoramento do processo, assim como medidas de combate e mitigação dos efeitos e medidas preventivas, com a proposição e as alternativas apropriadas e legitimadas através da participação popular. Estas considerações também se fazem procedentes para os areais localizados no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, primeiramente associados, a um processo de desertificação e posteriormente definidos como áreas em processo de arenização.

Na escala do Brasil, nas regiões central e centro-oeste, pode-se dar destaque ao desenvolvimento do processo de arenização em áreas agricultáveis, fruto de um manejo incorreto, com uso intensivo e ocupação inadequada de solos arenosos de constituição naturalmente bastante frágil. Scopel *et al.* (2011) atentam para o fato de a recuperação de solos arenosos ser difícil e cara, porém possível. Esta afirmação, no entanto, está focada na recuperação de solos arenosos degradados pela exploração agrícola e sobre os quais se pretende continuar produzindo alimentos e/ou matéria prima em grande escala.

No contexto dos areais no sudoeste gaúcho, o manejo dos solos arenosos para fins agrícolas em grande escala também exigirá altos investimentos. A estabilização e a recuperação de processos erosivos nos areais, no entanto, podem requerer baixos custos de implantação com resultados bastante satisfatórios, especialmente se realizadas as intervenções técnicas no período inicial de desenvolvimento da erosão.

Entre as técnicas empregadas no controle da erosão, as práticas vegetativas se encontram em destaque, pois se utilizam, principalmente, da vegetação para proteger o solo da erosão hídrica e eólica. Quanto maior a densidade de cobertura vegetal que cobre o solo, menor a taxa de erosão. Estas práticas podem ser implantadas em vários locais, como em taludes, estradas, campos, áreas urbanas, entre outros.

Intervenções técnicas em processos erosivos hídricos têm como premissa básica limitar a velocidade da água que incide, assim como da água que escoia sobre a superfície do solo (D'AGOSTINI, 1999). Este objetivo pode ser alcançado por meio da implantação de barreiras físicas, mecânicas e/ou vegetativas que diminuam o comprimento de rampa, promovam a retenção de sedimentos, auxiliem na difusão de fluxos concentrados e permitam o reordenamento da drenagem superficial. Entretanto, a recuperação de áreas degradadas deve considerar as relações entre o sistema solo-planta-atmosfera, bem como, a atuação de equipes multidisciplinares (CASAGRANDE & SOARES, 2011) no planejamento e execução das intervenções técnicas.

De acordo com Galeti (1984), além das intervenções em superfície destinadas à retenção de sedimentos e redução na velocidade da água da chuva que escoia, tais como cercamento e isolamento da área, construção de paliçadas, construção de terraços e barragens de terra, deve-se realizar intervenções para estabilização do processo erosivo dentro da voçoroca, como: construção de anteparos para retenção de sedimentos e dissipação de energia no canal escoado, além do estabelecimento de vegetação nos taludes, sempre que possível.

Os estudos desenvolvidos até o momento sobre a temática da arenização se constituem como uma fonte de dados fundamental ao estabelecimento de indicadores ambientais, e como base teórico-prática ao desenvolvimento de planos para o monitoramento ambiental e as intervenções técnicas na região. Fatores como a declividade do relevo e o comprimento de rampa são elementos que contribuem, mas não determinam o desencadeamento do processo de erosão, exceto quando se têm a força da gravidade como único elemento físico presente e capaz de imprimir movimento e velocidade de deslocamento a uma massa de água que escoia sobre a superfície do solo.

Klamt & Schneider (1995) listam uma série de considerações a serem feitas, quando de um projeto para controle de processos erosivos, como: manutenção da cobertura vegetal nas encostas, revegetação de áreas sem cobertura vegetal, construção de canais divergentes e escoadouros das águas precipitadas, isolamento das áreas a serem recuperadas, aumento de infiltração em áreas degradadas pela compactação do solo, construção de quebra-ventos, utilização de espécies vegetais adaptadas às condições de estresse do ambiente, manejo e uso adequado do solo.

Ferreira e Ferreira (2009) afirmam que em um projeto de contenção de grandes voçorocas, > 4 ha, deve ser contemplado o disciplinamento das águas superficiais e subsuperficiais, a estabilização dos taludes e a reabilitação do ecossistema florestal. Dando prosseguimento à sua argumentação, os autores afirmam que a partir do momento em que se faz o cercamento para proteção da voçoroca contra o gado e as queimadas, bem como, para o controle e o disciplinamento das águas, já se começa um processo de estabilização natural. Dessa forma, a proteção da área, o controle da água, a implantação de estruturas de contenção de encostas, o manejo da vegetação e a divulgação das técnicas e metodologias conservacionistas envolvidas são ações decisivas a um projeto de estabilização de ravinas e voçorocas.

O manejo e a recuperação de áreas degradadas por ravinas e voçorocas, no entanto, têm sido uma questão bastante problemática no contexto brasileiro. Parte disso se dá em função da falta de informação, conhecimento e envolvimento da população com as dinâmicas do meio. Muitas vezes, a falta de conexão da população com os recursos naturais, as dinâmicas do meio e a paisagem acaba por gerar descaso e/ou ações que potencializam a degradação. Bononi *et al.*, (2011) descrevem o estudo de caso de uma voçoroca localizada em área urbana cujas medidas mitigatórias envolveram a implantação de estruturas subestimadas e a autorização pelo poder público de preenchimento da feição erosiva com entulhos, resíduos de construção civil. Como resultado, o processo erosivo não foi estabilizado e as estruturas de contenção não resistiram a um evento de intensa precipitação.

De modo complementar em relação a intervenções para Recuperação de Áreas Degradadas, tem-se a metodologia para interpretação geomorfológica elaborada por Ross (1994) que propõe um planejamento ambiental, através de uma classificação taxonômica por meio da análise de diferentes formas de relevo e dos padrões de drenagem, da identificação de litologias presentes, da caracterização dos solos e dos processos de dinâmica superficial, entre outros elementos.

Paula e Robaina (2003) afirmam que o mapeamento e geração de zoneamentos geológico-geomorfológicos constituem ferramenta indispensável para planejar e gerenciar intervenções necessárias em áreas de erosões aceleradas, como em areais do município de Alegrete, no sudoeste riograndense.

## **2.2 Intervenções realizadas previamente nos areais**

Trindade (2003) destaca o fato de que o desconhecimento dos potenciais da vegetação natural presente nas áreas com ocorrência de areais, bem como, o desprezo ao conhecimento local são referências fundamentais quando se pensa em técnicas de controle do processo de arenização. Ele afirma que a exclusão do pastoreio temporariamente ou por tempo definido faz parte de tecnologias locais conhecidas que não precisam ser adaptadas e as quais se dispõe para a prevenção da arenização e a revegetação nos areais. Segundo o autor, esta alternativa de manejo estaria embasada nas sugestões e no uso da técnica por proprietários locais que apresentam áreas em processo de arenização, bem como, no senso comum da região.

Apesar deste projeto de mestrado não estar fundamentado em entrevistas e aplicações de questionários foi possível, ao longo de um ano e meio de desenvolvimento do trabalho, ter contato com produtores rurais e pesquisadores diretamente envolvidos com o processo de arenização em São Francisco de Assis e Manoel Viana. Em Manoel Viana, por exemplo, testemunhou-se o caso de uma propriedade rural altamente produtiva, com base econômica em lavouras de arroz, soja, além da pecuária de corte, onde uma área com 15 ha de areal fora abandonada depois de diversas tentativas de contenção do processo por meio de terraços, plantio de eucalipto e espécies exóticas para cobertura do solo. Apesar do cercamento da área e do isolamento do acesso animal, o areal continuou se expandindo para além dos limites da cerca.

A exclusão do acesso animal em áreas onde já fora desencadeado o processo de arenização é uma das ações determinantes, mas deve estar associada a outras tecnologias, dependendo do estágio em que se encontra o processo e da área mobilizada. De acordo com Marchiori (1995) o gado homogeniza a estrutura fitossociológica de um campo através da seleção e contínuo pastoreio, reduzindo a diversidade de espécies vegetais ao longo do tempo. Isso pode levar à perda, justamente, das espécies mais aptas à estabilização e colonização de areais, tornando estas áreas mais suscetíveis ao processo de arenização.

Ainda que não haja um estudo específico que determine o grau de evolução de um processo de arenização (baixo, médio, severo), a compreensão de sua dinâmica evolutiva, dos fatores e dos agentes causais permitem que se individualize cada situação, o que requer ações mitigadoras e preventivas caso a caso. O conhecimento local deve ser valorizado com certeza, mas, sobretudo, deve contribuir no desenvolvimento de novas tecnologias em cooperação com órgãos públicos, instituições de pesquisa e empresas privadas.

Suertegaray (1987) relaciona algumas das alternativas apontadas pelos proprietários rurais para a resolução do problema dos areais, como: silvicultura, implantação de pastagens cultivadas, correção da fertilidade e acidez do solo, construção de barreiras mecânicas com pedras, fiscalização das áreas na forma de lavração, cercamento e plantio de aveia e azevém, necessidade de uma iniciativa governamental, proteção eólica contra a erosão por meio de quebra-ventos, entre outras técnicas.

Como projeto precursor na estabilização e contenção dos areais Souto (1985) menciona aquele idealizado em 1976 pela equipe de Tramandaí (Centro de Materiais Vegetais do Litoral – CMVL) e implantado nos municípios de São Francisco de Assis, Alegrete e Itaqui. Os procedimentos fundamentais adotados pela equipe foram a interdição da área em tratamento e o uso de anteparos físicos para controle, principalmente, da erosão eólica. As principais técnicas empregadas para controle da ação do vento sobre os sedimentos inconsolidados e a superfície do solo foram: esteiras confeccionadas com *Juncus* spp. e estacas de bambu; fardos de resteva de soja; cobertura do solo com resíduos vegetais; o plantio e a semeadura de espécies florestais exóticas.

Apesar de todos os esforços, o projeto não foi bem sucedido devido à grande mortalidade das espécies e a pouca efetividade na ação dos anteparos contra a erosão eólica, além do alto custo das técnicas idealizadas pela equipe. Este projeto serviu como ponto de partida para o desenvolvimento do Plano Piloto do Alegrete, firmado em 1977 mediante convênio entre a Secretaria da Agricultura e o Ministério da Agricultura. Como premissa básica, o Plano Piloto do Alegrete deveria desenvolver uma tecnologia objetiva, prática e acessível (SOUTO, 1985).

O Plano Piloto do Alegrete, desenvolvido para combate à desertificação, teve como recorte espacial o areal conhecido como “Deserto de São João”, por ser definido como uma área que refletia uma situação de extrema degradação do solo e reunia em um mesmo local o maior número possível de casos (SOUTO, 1985). Em um primeiro momento, optou-se pelo isolamento da área e num segundo momento pela contenção da erosão eólica por meio de esteiras de junco e bambu atuando como quebra-vento e anti-dunas. Na sequência, optou-se

pelo plantio de diversas espécies vegetais, como plantas arbustivas; árvores frutíferas; espécies arbóreas lenhosas e não lenhosas; plantio de leguminosas e gramíneas de porte herbáceo e rasteiro; plantio de eucalipto, pinus e acácia-negra por serem mais resistentes às condições edafo-climáticas com diferentes arranjos, entre outras. Quanto aos resultados alcançados pelo Plano Piloto, Souto (1985) faz a seguinte ressalva:

*“... Devemos salientar que o nosso objetivo baseou-se em medidas práticas visando à reintegração destas áreas, até então marginalizadas do processo produtivo”.*

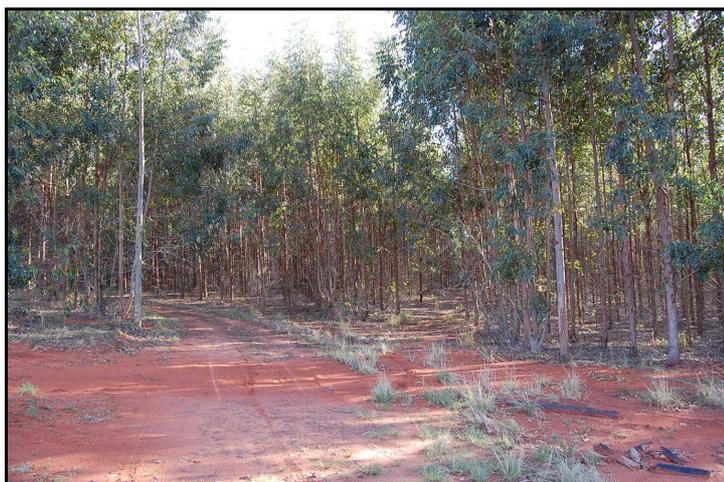
E segue em sua argumentação:

*“... projetamos e executamos um plano em que seus resultados fossem utilizados, de forma imediata, pelos produtores na recuperação destas áreas, buscando-se sua utilização de forma racional, compatível com os propósitos conservacionistas”.*  
(Souto, 1985.)

O projeto não alcançou o resultado esperado, efetivamente, concluindo-se que a espécie com melhor adaptação e desenvolvimento sobre os areais foi o *Eucalyptus* sp. (SOUTO, 1985; SUERTEGARAY, 1998).

A partir da década de 1990, houve uma retomada do Plano Piloto do Alegrete para a região dos areais, com enfoque no controle da dispersão dos areais pelo vento e na intervenção técnica com plantio de eucalipto. Esta orientação do controle favorece a instalação de empresas estrangeiras produtoras de celulose e madeira, como a Finlandesa Stora Enso, que passam a adquirir extensas áreas para plantação de espécies florestais sobre os areais da campanha gaúcha (Figura 8).

O Projeto FLORAM idealizado em âmbito nacional no ano de 1990 (AB' SABER, 1990) preconizava incorporar ao processo produtivo, áreas já desmatadas ou pobres para a atividade agrícola, por meio de (re)florestamentos comerciais. O argumento principal fundamentava-se na contribuição para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> e no alívio de pressões ambientais geradas pela redução da vegetação nativa.



**Figura 8.** Plantio comercial de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) sobre área com arenização, no município de São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

Bellanca e Suertegaray registraram prioridade de patente para um plano de manejo de áreas arenosas desenvolvido, em âmbito universitário, para a recuperação de áreas arenosas com plantio de gramíneas, espécies nativas e frutíferas cítricas (SUERTEGARAY, 1998).

Também em âmbito acadêmico, Suertegaray *et al.* (2001) apresentam os resultados preliminares de intervenções mecânicas em ravinas nos areais do sudoeste do Rio Grande do Sul, onde anteparos confeccionados com madeira foram colocados em sentido transversal ao escoamento principal no canal de uma ravina, promovendo grande acúmulo de sedimentos e o desenvolvimento de espécies nativas junto aos anteparos. O tipo de intervenção e os resultados bastante animadores apresentados de modo preliminar neste trabalho anterior foram tomados como uma das referências básicas para o desenvolvimento de uma proposta técnica nesta dissertação, para a qual o uso de barreiras vegetativas associadas a anteparos físicos, constitui o principal foco de atuação.

### **2.3 A vegetação nativa como ferramenta na estabilização de áreas instáveis**

Trindade (2003) aponta a vegetação natural como um elemento importante na reversão e prevenção ao processo de arenização, controle de sua expansão, prevenção ao surgimento de novos focos de arenização e revegetação nos areais. Daí o trabalho de reconhecimento da diversidade e das potencialidades biológicas das comunidades vegetais no entorno, no núcleo e na borda dos areais, realizado pelo autor em sua Tese de Doutorado. Depreende-se, de sua

leitura, que a geração de um programa de revegetação dos areais deva valorizar as alternativas locais a partir da identificação de espécies vegetais nativas, das comunidades que persistem na colonização dos areais e do papel que estas desempenham na dinâmica do processo de arenização e no sistema de produção.

O processo de arenização, contudo, se apresenta de forma complexa e envolve diversos fatores naturais inter-relacionados e interdependentes e que variam de um local a outro. A ação isolada de organismos vegetais ainda não se consolidou como conclusiva na reversão do processo, com base nos estudos apresentados até o momento. O aproveitamento de algumas características da vegetação nativa, associado a técnicas mecânico-vegetativas, pode se configurar como estratégia fundamental quanto à prevenção na geração de novos focos bem como à expansão dos núcleos de arenização. A cobertura vegetal contribui para redução da taxa de escoamento da água precipitada tanto na forma de serrapilheira como na forma de cobertura viva, reduzindo o impacto direto da chuva e a desagregação de partículas sobre a superfície de erosão. Da mesma forma, a presença de cobertura vegetal sobre solo contribui para uma condição de infiltração mais efetiva e mais lenta ao longo do perfil do solo, tanto pela barreira física, quanto pela retenção de partículas minerais e infiltração de água pelas raízes.

Durlo & Sutili (2005), tratando da estabilidade de taludes fluviais, afirmam que as plantas geralmente atuam de modo a interceptar a água das chuvas, aumentam a evapotranspiração, adicionam peso, ancoram o talude, produzem o efeito alavanca sobre este e promovem aumento progressivo na cobertura do solo pelo acúmulo de serrapilheira na superfície. Algumas destas características podem ser positivas e similares no contexto dos areais, como a interceptação da água das chuvas, cobertura por serrapilheira e ancoragem (reforço mecânico por meio o sistema radicular) do talude. A adição de peso e o aumento da evapotranspiração, no entanto, não seriam desejáveis em uma área com arenização, pois colaborariam para a instabilidade do substrato e a uma maior susceptibilidade deste à ação erosiva das águas escoadas sobre a superfície.

Quanto aos critérios para uso de vegetação em obras de estabilização, Durlo & Sutili (2005) listam quatro critérios principais: o critério sociológico, o critério ecológico, aspectos reprodutivos e aptidão biotécnica. Quanto à aptidão biotécnica, os autores enfatizam a necessidade das espécies a serem escolhidas para integrarem o projeto de estabilização de áreas instáveis, de apresentarem duas características fundamentais: a capacidade de sobreviver ao local de implantação e a capacidade de solucionar o problema técnico existente.

Torna-se imperativo o monitoramento e a compreensão da dinâmica erosiva previamente a uma intervenção técnica que preconize o emprego de organismos vegetais. Da

mesma forma, o conhecimento mais amplo acerca das espécies nativas que englobe a composição florística, a dinâmica fitossociológica, os hábitos de crescimento, as características reprodutivas, os limites de tolerância a fatores de estresse ambiental, a arquitetura do sistema radicular, o potencial para propagação vegetativa, a atração de avifauna, a presença de óleos essenciais, entre outros são de extrema relevância quanto à seleção e ao emprego de espécies vegetais para estabilização de áreas instáveis e a proposição de práticas conservacionistas ou de estabilização do solo. A recomendação de emprego de espécies vegetais com potencial ornamental, medicinal ou com presença de óleos essenciais consorciadas àquelas que comprovadamente demonstrem potencial para a estabilização e controle de processos erosivos pode ser um argumento determinante junto ao produtor rural. Isto se justifica pela possibilidade de retorno econômico a médio e longo prazos, ao se investir na recuperação de uma área degradada.

Freitas *et al.* (2006) sugere algumas espécies com potencial para utilização na recuperação de áreas atingidas por areais, com base em características como: maior ocorrência e cobertura de areais, potencial ornamental e medicinal, adaptação às condições de estresse local, entre outras. Entre as espécies relacionadas, se destacam: *Paspalum nicorae*, *Paspalum stellatum*, *Acanthospermum australe*, *Portulaca* sp., *Portulaca grandiflora*, *Echinopsis oxygona* e *Parodia ottonis*.

Neste sentido, Souto (1985) faz uma afirmação de modo bastante apropriado:

“... É importante o restabelecimento dos solos dessas áreas através da reconstituição de uma flora vegetal específica, própria para esses sítios, considerando a flora natural como um sistema ecológico e o solo como um dos componentes deste sistema”.

(Souto, 1985.)

Shirasuna & Filgueiras (2011) ressaltam a importância da utilização de gramíneas nativas para restauração de áreas degradadas, especialmente no Brasil, onde o grande número de espécies (c. 1.401 spp.) as tornam candidatas em potencial para esta finalidade. Segundo os autores, a invasão de gramíneas exóticas impede a regeneração autóctone e alóctone da flora nativa local.

Diversas técnicas estão sendo desenvolvidas e implementadas para estabilização de áreas instáveis, prevenção e recuperação de áreas degradadas associando o uso da vegetação.

Entre essas novas tecnologias destaca-se a Bioengenharia de Solos, também denominada por Engenharia biológica, Engenharia biotécnica, Construção verde ou Construção viva, definida por Durlo & Sutili (2005) como: o uso isolado ou combinado de vegetação com obras de engenharia extremamente simples ou tipos especiais de obras, sendo imperativo o conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação, assim como, de sua capacidade para solução de problemas técnicos de estabilização de margens e encostas.

Lucena (2010) afirma que, segundo definição moderna, a Bioengenharia de Solos é uma integração de elementos inertes e vivos em obras de proteção e recuperação do solo. O autor também esclarece que, considerando técnicas de Bioengenharia de Solos, os microorganismos, também, são considerados como elementos vivos, principalmente no que diz respeito àqueles que se relacionam diretamente com a vegetação ou alteram as qualidades físico-químicas do solo. Dando prosseguimento, Lucena (2010) atenta para o cuidado ao se utilizar organismos vivos, como espécies vegetais, tanto pelo seu impacto como espécie exótica em um ambiente natural, quanto pelo seu emprego inadequado, podendo levar a uma nova situação de instabilidade do solo.

Este mesmo autor faz uma ressalva bastante procedente, ao afirmar que os efeitos do uso da vegetação na estabilidade de taludes e encostas devem ser considerados e tecnicamente analisados, por sua possível influência negativa sobre a estabilidade e sua interação com os demais efeitos. Entre os efeitos físicos, que podem ter resultado positivo ou negativo, de acordo com o contexto ambiental, o autor lista: a ancoragem do solo pelo sistema radicular, a sobrecarga pontual gerada por espécies de grande porte e a penetração radicular no substrato.

Como efeitos hidrológicos o autor menciona: a depleção da umidade pela vegetação, a interceptação da chuva, o retardamento no escoamento superficial (interferência na rugosidade hidráulica), o aumento na infiltração e o aumento da drenagem sub-superficial.

Como efeitos biológicos indesejáveis do emprego de vegetação em técnicas vegetativas ou associadas a técnicas estruturais, Lucena (2010) relaciona o sombreamento pelo estrato herbáceo e o intemperismo biológico pelo aumento da fauna e morte de plantas e/ou do sistema radicular no solo. Em se tratando de sistema radicular, a resistência ao arranquio pode se configurar em uma característica fundamental para a seleção de uma determinada espécie para utilização em obras de Bioengenharia, especialmente, no que diz respeito à estabilização de taludes instáveis em ambiente fluvial. Esta característica está relacionada ao próprio sistema radicular da planta, bem como, as características físicas do solo, as condições de crescimento, com a espécie e a idade da vegetação (SUTILI, 2007).

Para a região dos areais, a época ideal para plantio de espécies vegetais nativas é no final do inverno e início da primavera, de agosto a outubro, quando há maior umidade disponível no solo, o aumento da radiação solar e as temperaturas mais amenas para o desenvolvimento da vegetação. Verdum *et al.* (2004) mencionam como destaque, para a região de estudo, a carência de pesquisas em relação à adaptação de espécies de gramíneas nativas ao meio e à pressão das atividades agrícolas, enfatizando a necessidade de aprofundar pesquisas com estas espécies e com pastagens artificiais.

#### **2.4 Técnicas mecânico-vegetativas para estabilização do solo**

Além do resgate estético da paisagem degradada, o emprego de estruturas de caráter mecânico-vegetativo preconiza uma intervenção menos severa na paisagem com uso de técnicas que priorizam o uso de espécies vegetais, solo e materiais orgânicos inertes, em detrimento aos tradicionais métodos empregados a estabilização de áreas instáveis baseados em concreto, aço e materiais sintéticos. As técnicas mecânico-vegetativas, assim como aquelas tradicionalmente desenvolvidas pela Geotecnia e pela Bioengenharia de Solos na estabilização de áreas estáveis e recuperação de áreas degradadas, podem ser incluídas na dentre aquelas definidas por Highland & Bobrowski (2008) como Métodos Biotecnológicos ou como parte do rol de técnicas complementares ao manejo integrado e ecológico do solo. Todavia, a definição como Métodos Biotecnológicos pode gerar certa confusão conceitual, já que essa denominação se apresenta geralmente associada à área de medicina humana.

Geomembranas, gabiões, retentores de sedimentos de fibra orgânica, paliçadas, esteiras vivas, tranças-vivas, plantio de mudas nativas e exóticas, Parede Krainer entre outras, são intervenções técnicas comumente empregadas como estruturas Biotecnológicas e na Bioengenharia de Solos. Segundo Highland & Bobrowski (2008) a proteção biotécnica de taludes consiste em dois elementos: a estabilização biotécnica e a estabilização do solo por Bioengenharia, o que implica no uso de matéria viva. Neste sentido, os autores afirmam:

*“... a estabilização biotécnica da vegetação utiliza elementos mecânicos (estruturas) em combinação com elementos biológicos (plantas) para prevenir a erosão e os rompimentos nas encostas. Os elementos mecânicos e biológicos devem funcionar em conjunto, de maneira complementar. Por outro lado, a estabilização do solo por bioengenharia pode ser considerada como um subconjunto especializado da estabilização biotécnica no qual as partes*

*vivas das plantas, ou seja, as raízes, os caules e ramos servem como principais elementos estruturais/mecânicos no sistema de proteção dos taludes”.*

*(Highland & Bobrowski, 2008, p. 120)*

E finalizam:

*“... Sistemas biotécnicos para a proteção de taludes misturam-se com a paisagem. Eles enfatizam a utilização de recursos naturais, disponíveis no local, tais como terra, pedra, madeira e vegetação, em contraste com materiais fabricados, tais como aço e concreto.*

*(Highland & Bobrowski, 2008, p. 120)*

Para o desenvolvimento deste trabalho foi priorizado o uso de materiais vegetais vivos, materiais inertes e mão-de-obra passíveis de serem obtidos na propriedade ou próximos ao local de trabalho. A geração de uma tecnologia simples, eficiente, barata e de fácil emprego se constitui como alternativa ideal para divulgação e difusão local e regional. Durlo & Sutili (2005) definem que, quanto ao uso de materiais inertes, deve-se fazer opção com base em suas características técnicas, abundância na região e em função de seu custo. Segundo os autores, esses materiais podem ser alvenaria, madeira, restos culturais, grandes pedras ou seixos submetidos ao trabalho conjunto através de estruturas feitas com arames, telas ou madeira.

Para o controle da erosão hídrica e redução do volume de água acumulada passível de escoamento, deve-se considerar a sistematização e a proteção da área como princípios fundamentais. A estruturação do escoamento superficial com reordenamento e diminuição da energia erosiva do fluxo de água originado da drenagem da água da chuva é a primeira medida a ser adotada. Processos erosivos gerados pela ação direta do agente hídrico são condicionados pela interação de diversos fatores, e geralmente estão associados às encostas em solos de textura predominantemente arenosa. O comprimento de rampa, inclinação e declividade do terreno influem grandemente para o aumento do potencial erosivo da chuva sobre um substrato arenoso, como na área selecionada para desenvolvimento deste trabalho. Dessa forma, a ação de anteparos físicos do tipo paliçadas, associados a um aumento da cobertura vegetal compõem técnicas de caráter mecânico-vegetativas, e contribuem para diminuição do potencial erosivo advindo do escoamento concentrado sobre a superfície de solos com escassa ou nenhuma cobertura vegetal.

Técnicas de caráter mecânico, como as paliçadas, são meios comumente utilizados em um contexto onde haja erosão pelo escoamento concentrado da água da chuva. Estas barreiras físicas impedem o aprofundamento do sulco, estabilizam o perfil longitudinal do solo e, simultaneamente, contribuem para a detenção de sedimentos, iniciando o processo de reconstituição do solo e o aumento da cobertura vegetal na área em tratamento. Ao promover a secção da rampa, as paliçadas protegem a área situada logo abaixo. O controle da erosão se dá através da coleta de sedimento advindo da porção situada acima das barreiras físicas, o que permite um escoamento mais vagaroso da água da chuva e dispersão do fluxo ao incidir na paliçada, implicando em maior infiltração de água junto a estrutura.

A utilização de barreiras vivas de modo complementar aos anteparos mecânicos pode ser feita por meio do plantio e/ou semeadura de espécies vegetais de ciclo perene ou semi-perene em espaçamentos horizontais determinados. Estas fileiras contínuas têm a finalidade de reduzir a velocidade das águas de escoamento e proporcionar a retenção do solo, formando um efetivo obstáculo ao livre curso da água sobre a superfície do solo. As espécies vegetais selecionadas devem apresentar características específicas como: adaptação ao clima e solo do local, crescimento rápido e denso, não ser invasora, possuir atributos estéticos, tolerância aos fatores de estresse ambiental do local, capacidade de atuar na redução do processo erosivo, fácil obtenção e baixo custo, entre outros.

Ferreira *et al.* (2000) afirmam que além dos métodos mecânicos, como os terraços, e dos métodos vegetativos, como os cordões vegetados, as barreiras físicas de cordões de pedras são técnicas bastante eficiente no controle da erosão, chegando a ser equivalentes. Neste trabalho selecionou-se um conjunto misto de técnicas mecânico-vegetativas como intervenção piloto na área de trabalho com ocorrência de ravinamento, composto por paliçadas de bambu, plantio de mudas de espécie nativa, biorretentores de sedimentos e cordões de pedra.

No capítulo seguinte serão abordados o processo de arenização, a degradação ambiental e os processos erosivos avançados a partir de um recorte espacial específico, restrito ao município de São Francisco de Assis, localizado no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Aspectos como características de solo, clima, vegetação e atividade humana que contribuem à geração dos areais e feições morfológicas do tipo ravina, objeto desta dissertação, serão apresentados de acordo com esta delimitação espacial do município. Na seqüência, os fatores ambientais, as características do objeto de estudo e todos os elementos relevantes ao seu monitoramento e proposta de intervenção técnica são apresentados de modo mais aplicado à área de trabalho, delimitada dentro de uma propriedade rural, no município de São Francisco de Assis.

## CAPÍTULO III

### 3. PROCESSO DE RAVINAMENTO EM AREAL NO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DE ASSIS

*“A erosão, como objeto de ciência, tem levado muito mais à sua descrição e explicação como processo físico do que à sua compreensão como problema sociocultural”.*

*(D’Agostini, 1999, p. 09)*

#### 3.1 Aspectos gerais

O município de São Francisco de Assis, com cerca de 2. 171,14 km<sup>2</sup>, está localizado a sudoeste do estado entre as coordenadas geográficas 29°11’27" e 29°42’09" S; 54°48’13" e 55°31’36" W, a uma altitude de 125 metros, aproximadamente, na região denominada Campanha Ocidental (Figura 9). A cidade dista 485 km da capital do estado, Porto Alegre, e as principais rodovias de ligação são a RS 377, RS 546 e a RS 241. Como limites municipais, têm-se os municípios de Jaguari e Nova Esperança do Sul ao Norte; limita-se a Leste com os municípios de Maçambará, Unistalda e Santiago; a Sul têm-se os municípios de Alegrete e São Vicente do Sul e a Oeste São Francisco de Assis limita-se com o município de Manoel Viana. Como base da economia em São Francisco de Assis está o setor primário, sendo lavouras de culturas anuais como o milho, arroz, fumo, soja e trigo, além da pecuária de corte as atividades de maior contribuição no setor, segundo dados da EMATER- escritório São Francisco de Assis, ano base 2011. No setor terciário, o comércio e a prestação de serviços se constituem como as principais atividades, desenvolvidas principalmente no perímetro urbano.

Trindade (2003) descreve o conjunto de paisagens do município de São Francisco de Assis como uma notável transição entre as unidades geograficamente distintas do Planalto, também chamada de Serra Geral, e da Depressão Periférica, na porção denominada de Campanha ou Pampa. Segundo Verdum *et al.* (2004) o município insere-se na paisagem do setor de contato da Depressão Periférica com o Planalto.

Suertegaray (1998), ao avaliar o processo de arenização no município de São Francisco de Assis baseou-se no estudo da dinâmica da paisagem para identificar os processos morfogenéticos responsáveis pela formação dos areais além de identificar a existência de

quatro compartimentos nessa área, como reverso da *cuesta* de São Francisco de Assis, o *front* da *cuesta* de São Francisco de Assis, os relevos de colinas convexizadas e os morros testemunhos de planícies aluviais. Segundo a autora, são nos relevos de colinas convexizadas e junto aos morros testemunhos onde se verifica a maior susceptibilidade a processos degradacionais, e onde se encontram os areais. Isso se deve tanto pela cobertura vegetal escassa e composta predominantemente por espécies campestres, como as gramíneas, quanto pela presença de sedimentos facilmente removíveis pela ação eólica e/ou pelo escoamento superficial. Os campos cobrem relevos suavemente ondulados e as matas nativas concentram-se nas áreas de encosta, constituindo-se como as formações vegetais características neste setor.



**Figura 9.** Município de São Francisco de Assis na região da Campanha Ocidental do RS.  
Fonte: <http://pt.wikipedia.org>

De acordo com Verdum (1997), dentro do contexto das áreas com arenização, os campos limpos da Depressão representam os terrenos, preferencialmente, atingidos pelos processos morfogênicos, como ravinamento, voçorocamento, deflação e arenização, determinantes na formação dos areais. Verdum *et al.* (2004) identificam, para a região de estudo, processos morfogênicos do tipo ravinamento incipiente, concentrado, nas cabeceiras de micro-bacias e de fundo de valão, entre outros, tendo como base a classificação estabelecida na *Carta de famílias de terroirs e da dinâmica do meio, bacia hidrográfica do arroio Miracatu, RS* (VERDUM, 1997)

O domínio litólico no município é representado por formações areníticas, como o arenito Botucatu, e derramamentos basálticos, situados no setor denominado *front* da *cuesta* de São Francisco de Assis, e a Formação Serra Geral, localizada no setor denominado reverso da *cuesta* de São Francisco de Assis (SUERTEGARAY, 1998).

O arenito Botucatu, data do período Mesozóico, a cerca de 300 milhões de anos A.P. e cobre a maior dimensão da bacia do Paraná, o Paraguai Oriental e o nordeste da Argentina, atingindo uma extensão de cerca de 1.300.000 km<sup>2</sup>. As rochas sedimentares se formam geralmente na superfície a temperatura e pressões muito baixas, como produtos da compactação de sedimentos erodidos que se acumulam em Bacias Sedimentares. Relevos residuais areníticos na forma de morros tabulares de topo plano silicificado com escarpas abruptas, e situados em cotas de aproximadamente 200 m caracterizam a feição morfológica de ocorrência mais significativa no município. Estes patamares silicificados conferem alta resistência à erosão, determinando, conseqüentemente, o aparecimento de morros testemunhos de topo plano (ROBAINA, *et al.*, 1995). Segundo Rambo (2000), o caráter geral da campanha do Sudoeste se apresenta como uma vasta planície suavemente inclinada para o Rio Uruguai, pontilhada de coxilhas tabulares no centro e drenada por cursos de água em leitos rasos.

De acordo com Suertegaray (1987; 1998) São Francisco de Assis aparece em segundo lugar na classificação dos municípios com maior ocorrência de manchas arenosas, apresentando um total de 431,25 ha e ficando atrás somente de Alegrete, que apresentou um total de 513,59 ha de areais. Quantificações realizadas por Suertegaray *et al.* (1998) através de imagens de satélites abrangendo um perímetro de 677,100 ha em São Francisco de Assis permitiram a identificação de 51 areais em uma área total de 2.091,58 ha, sendo 1.464,82 ha com a presença de focos de arenização, correspondendo a 0,52% da área total das imagens. Monitoramentos realizados anteriormente no ano de 1989 para verificação da distribuição dos areais preconizaram, como referência espacial, unidades municipais e sub-bacias. São Francisco de Assis já havia se destacado como um dos municípios mais expressivos quanto à ocorrência do processo de arenização, com 5,896 km<sup>2</sup> de areais, representando 0,27% destes em relação à área total do município (SUERTEGARAY, 1998). A ocorrência de areais no município se dá em áreas de topografia diferenciada, tanto em locais de baixa altitude e declividade, como em zonas de contato entre depósitos areníticos e escarpas areníticas, em áreas de maior altitude e declividade acentuada. Suertegaray *et al.* (2001) pontuam que, para o município de São Francisco de Assis, os focos de arenização desenvolvem-se preferencialmente na região central e a sudoeste do município, principalmente nas áreas drenadas pelas Bacias dos arroios Inhacundá, Cará e Miracatu.

De acordo com Verdum *et al.* (2004), os *terroirs* dos campos limpos da Depressão Periférica são os mais atingidos pelos processos morfogenéticos, sendo representados:

1. pelas superfícies rochosas caracterizadas por blocos e lençóis de detritos descidos do alto da vertente dos relevos tabulares;
2. pelos ravinamentos no pé da vertente rochosa;
3. pelas acumulações de cones de areia;
4. pelas ações eólicas entre as crises do escoamento direto que resultam na expansão das areias (arenização);
5. pelos ravinamentos acelerados do fundo dos valões e dos vales;
6. pelos ravinamentos regressivos à montante das vertentes arenosas.

Os autores supracitados sintetizam o estudo afirmando que, a partir de observações a campo e dos estudos morfogenéticos, pode-se verificar que o escoamento direto remodela os *glacis* no pé das superfícies rochosas dos relevos tabulares e das coxilhas. Da mesma forma, Verdum *et al.* (2004) concluem que a erosão regressiva está ligada ao encaixamento generalizado do escoamento concentrado na rede hidrográfica e a incisão dos valões das coxilhas, provocando o entalhamento atual destes relevos e desfossilizando os antigos modelados cobertos pelas formações superficiais arenosas.

### 3.1.1 Pedologia

De acordo com Verdum (1997) a região em que se insere o município de São Francisco de Assis e Manoel Viana está assentada, principalmente, sobre uma matriz composta por quatro tipos de solos, sendo:

I. Argissolos - características gerais: solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural<sup>1</sup> imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa<sup>2</sup> ou com argila de atividade alta<sup>3</sup> conjugada com saturação por bases baixa<sup>4</sup> e/ou caráter alítico<sup>5</sup> na maior parte do horizonte B (EMBRAPA, 2006);

a) *na região considerada*: se desenvolvem a partir de diferentes materiais de origem, e estão associados ao relevo ondulado das colinas; apresentam uma estrutura variável e alguns uma percentagem de argila elevada em profundidade; esta mudança textural pode caracterizá-los como suscetíveis à erosão hídrica (VERDUM, 1997).

<sup>1</sup> Horizonte B textural: é um horizonte diagnóstico subsuperficial, com textura franco-arenosa ou mais fina, onde houve incremento de argila (fração < 0,002 mm), orientada ou não, desde que não exclusivamente por descontinuidade de material originário, resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação e/ou formação *in situ* e/ou herdada do material de origem e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é maior que o do horizonte A ou E e pode, ou não ser maior que o do horizonte C (EMBRAPA, 2006) .

<sup>2,3</sup> A atividade da fração argila refere-se à capacidade de troca de cátions correspondente à fração argila, calculada pela expressão:  $T \times 1000/g.kg^{-1}$  de argila. Atividade alta (Ta) designa valor igual ou superior a 27 cmolc/kg de argila, sem correção para carbono, e atividade baixa (Tb), valor inferior a 27 cmolc/kg de argila, sem correção para carbono. Este critério não se aplica aos solos que, por definição, têm classes texturais areia e areia franca (EMBRAPA, 2006).

<sup>4</sup> Refere-se à proporção (taxa percentual,  $V\% = 100 \cdot S/T$ ) de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7. A expressão alta saturação se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50 % (Eutrófico) e baixa saturação para valores inferiores a 50 % (Distrófico) (EMBRAPA, 2006).

<sup>5</sup> Refere-se à condição em que o solo se encontra dessaturado e apresenta teor de alumínio extraível  $>$  ou  $=$  a 4 cmolc/kg de solo, associada à atividade de argila  $>$  ou  $=$  20 cmolc/kg de argila e saturação por alumínio  $[100 Al^{3+} / (S + Al^{3+})] >$  ou  $=$  50 % e/ou saturação por base ( $V\% = 100 S/T$ )  $<$  50 %.

II. Latosolos - características gerais: constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico<sup>6</sup> imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura (EMBRAPA, 2006);

b) *na região considerada*: situados sobre relevos pouco ondulados nas colinas; solos profundos e permeáveis; originam-se do Basalto ou arenito Botucatu; textura areno-argilosa; o horizonte A apresenta alta susceptibilidade à erosão hídrica quando manejados (VERDUM, 1997).

III. Planossolo - características gerais: solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguidos de horizonte B plânico<sup>7</sup>, não coincidente com horizonte plíntico<sup>8</sup> ou glei.<sup>9</sup>.

c) *na região considerada*: Planossolos e Latossolos se situam sobre o relevo por diferenças de baixa energia planos a suavemente ondulados; os Planossolos são típicos de planícies aluviais ou naquelas onde há um excesso de água temporário ou permanente; estes solos são caracterizados como hidromórficos; o material de origem está associado aos sedimentos aluviais do Quaternário que provém do arenito, principalmente; dessa forma, estes solos apresentam um horizonte superficial de textura arenosa ou média que contrasta com o horizonte B argiloso (VERDUM, 1997).

<sup>6</sup> Horizonte B Latossólico: horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explícita pela alteração quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e/ou de minerais de argila 2:1, seguida de intensa dessilificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos, argila do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo; em geral, é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo (EMBRAPA SOLOS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. MAPA, 2006).

<sup>7</sup> Tipo especial de horizonte B textural, com ou sem caráter sódico, subjacente a horizontes A ou E, apresentando transição abrupta para os horizontes suprajacentes, normalmente associada a mudança textural abrupta (EMBRAPA, 2006).

<sup>8</sup> Horizonte caracterizado pela presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15 % (por volume) e espessura de pelo menos 15 cm (EMBRAPA, 2006).

<sup>9</sup> Horizonte mineral subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido, no todo ou em parte, devido principalmente à água estagnada, como evidenciado por cores neutras ou próximas de neutras na matriz do horizonte, com ou sem mosqueados de cores mais vivas. Trata-se de horizonte fortemente influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica (EMBRAPA, 2006).

IV. Neossolos - características gerais: solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

d) *na região considerada*: estão associados a relevos diferenciados, fortemente ondulados; apresentam como característica essencial um horizonte A que está diretamente assentado sobre a rocha matriz ou sobre um horizonte C de rocha em decomposição; a composição do material de origem pode variar, mas em sua maioria são originados do basalto e apresentam certa fertilidade natural (VERDUM, 1997).

A Classe de 1º nível categórico, ordem dos Neossolos, apresenta agrupados no 2º nível categórico - no SiBCS - aqueles solos que, na classificação anterior, constituíam classes individualizadas nos levantamentos de solo do país, como os Regossolos, Solos Litólicos, Litossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas.

Verdum (1997) destaca três propriedades químicas verificadas nos solos da região de São Francisco de Assis – Manoel Viana, com relação à sua fertilidade natural:

1. a presença de íons de alumínio em grande quantidade nos Latossolos, Argissolos, e Planossolos, sendo a fixação de íons alumínio característica de solos ácidos;
2. a quantidade de cátions metálicos fixados pelo complexo humo-argiloso (algumas das bases trocáveis) é baixa nos Latossolos, Argissolos e Planossolos; isto se traduz em uma característica de acidez alta expressa pelo baixo pH;
3. os Neossolos apresentam valores elevados para soma de bases e baixos teores de alumínio; entretanto, não são favoráveis à atividade agrícola em função de sua topografia, pois que estão associados a relevos de grande pendente.

Analisando as características do ambiente edáfico em questão, é possível perceber alguns elementos que contribuem para a fragilidade e susceptibilidade do substrato aos processos erosivos, como: a presença de um solo com característica textural predominantemente arenosa, a baixa presença ou quase ausência de materiais cimentantes e a frequente associação de material fracamente ou não consolidado com encostas, cabeceiras de drenagem ou contato abrupto entre diferentes litologias. Aqui abriremos um parêntese para ratificar a importância e o impacto destas características no contexto de predisposição e formação dos areais. A estrutura e a estabilidade de um solo resulta da constituição de agregados, formados a partir da junção de partículas sólidas minerais anteriormente

individualizadas. O material cimentante que contribuirá para uma maior ou menor força de ligação será suprido pelos componentes de natureza mineral e não-mineral, presentes no ambiente. A ação direta da água alterando a estrutura e afetando a estabilidade dos agregados pode enfraquecer e, até mesmo, neutralizar as forças de ligação entre as partículas sólidas, aumentando a susceptibilidade de um solo aos processos erosivos (DRESCHER, 1998). Verdum (2003) assume que as areias vermelhas são derivadas, principalmente, a partir de uma decomposição recente, em termos geológicos, do arenito Botucatu, pois que estes sedimentos apresentam uma composição semelhante a esta formação rochosa. Segundo o autor, a cor vermelha dos depósitos arenosos se deve a um revestimento das partículas por óxidos de ferro, e sua posterior oxidação em uma condição ambiental de maior umidade. A predominância de grãos com textura areia fina torna estes sedimentos muito suscetíveis aos processos erosivos hídricos e eólicos, quando próximos a superfícies de escoamento e sujeitos à incidência direta da água, ou sobre efeito de excessivo ressecamento ambiental (VERDUM, 2003).

Robaina *et al.* (1995) relaciona uma taxa de infiltração média de 97,9% da água que precipita sobre os solos arenosos de São Francisco de Assis. A alta taxa de infiltração permite que praticamente toda a água precipitada percorra o perfil do solo, desde que não haja falhamentos de encosta, solo descoberto ou outros fatores que predisponham ao surgimento de escoamentos concentrados e erosão hídrica. Ou seja, é necessário que haja uma série de fatores ambientais associados para que o ocorra o desenvolvimento de ravinas e voçorocas na região, e o seu reconhecimento permite uma melhor abordagem quanto às possíveis ações de controle e estabilização da erosão do solo.

### 3.1.2 Florística e Fitossociologia em São Francisco de Assis

De acordo com a avaliação florística realizada no entorno de um areal pastejado em São Francisco de Assis (TRINDADE, 2003), a vegetação natural foi caracterizada por comunidades compostas por *Elyonurus* sp. e *Aristida laevis* no estrato superior e por *Axonopus argentinus* no estrato inferior. *Elyonurus* sp. e *Axonopus argentinus* também se destacaram como colonizadoras na área ao entorno do areal, assim como a presença de material morto e de substrato exposto. Na análise de quatro levantamentos em diferentes níveis de soterramento (5 cm, 10 cm e 20 cm) estas duas espécies demonstraram maior resistência em relação ao restante da vegetação campestre nativa. *Paspalum notatum* foi relacionada como a espécie mais frequente no núcleo de arenização (TRINDADE, 2003).

Freitas (2006) avaliou os dados de florística e fitossociologia em campos acometidos pelo processo de arenização em São Francisco de Assis, chegando a identificar 102 espécies vegetais distribuídas 79 gêneros e organizadas em 25 famílias botânicas. As famílias com maior riqueza de indivíduos levantados pela autora foram: Poaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Oxalidaceae, Rubiaceae, chamando a atenção pelo fato de as mirtáceas não serem típicas de ecossistemas campestres. Como espécies mais resistentes ao processo de arenização a autora cita *Acanthospermum australe* (carrapicho-do-campo), *Vernonia brevifolia* (alecrim-do-campo), *Eugenia pitanga* (pitanga-do-campo), *Paspalum nicorae* (grama-cinzenta), *P. notatum* (grama-forquilha), *P. stellatum* (capim-estrela), *Portulaca grandiflora* (onze-horas) e *Portulaca* sp. (onze-horas). As espécies relacionadas pela autora como adequadas para proteção ao solo contra os processos erosivos, devido a estruturas morfológicas específicas, foram *Vernonia macrocephala* (Figura 10), *Campomanesia aurea* (guabirobeira-do-campo) e *Myrcia verticillaris*. Como espécies mais tolerantes ao soterramento de substrato arenoso carregado pela erosão mencionou-se *Paspalum nicorae* e *P. notatum*. A espécie *Acanthospermum australe* foi citada por Freitas (2006) como aquela de grande indicativo quanto ao potencial de colonização de bordas de areais e cobertura de manchas de areia, de acordo com os locais preferenciais de estabelecimento observados a campo. Outros enfoques mencionados pela autora como guia na seleção de espécies para vegetação dos areais dizem respeito ao seu potencial ornamental, medicinal, ameaça de extinção e possibilidade de geração de renda ao produtor rural.

Espécies nativas características do campo nativo na região dos areais como o capim-limão, *Elyonurus* sp., (Figura 11), passam a sofrer pressão direta devido a significativa transformação na matriz agrícola da região ocorrida a partir da década de sessenta, com a introdução de lavouras de trigo, soja, sorgo, milho e arroz. Assim como o monocultivo de espécies anuais, outro fator contribuinte à redução da vegetação nativa e desencadeamento de processos erosivos é a prática da queimada da vegetação campestre pelos pecuaristas. Verдум *et al.* (2004) ressaltam que entre as décadas de 1940 e 1970, houve um grande aumento no desenvolvimento de sistemas de monocultivos extensivos mecanizados na região, o que resultou em maior pressão agrícola sobre os campos limpos, provocando o aumento da lotação animal, devido a uma crescente mobilização de áreas de pastagem para lavouras de cultivos anuais. A prática das queimadas, apesar de se constituir como mais uma fonte de pressão externa negativa sobre a vegetação campestre nativa, é justificada como necessária pelos pecuaristas para garantir o rebrote de uma pastagem mais palatável para o gado, sendo largamente praticada na região no período entre o final do inverno e o início da primavera

(VERDUM *et al.*, 2004). Nos meses de outono e inverno há, naturalmente, um déficit de espécies forrageiras em função da diminuição da temperatura e redução progressiva da insolação, não só na região da Campanha, como em todas as regiões do estado do Rio Grande do Sul onde se desenvolve a atividade pecuária sobre campo nativo.

A presença de espécies de cactáceas e suculentas em escarpas areníticas é bastante frequente, constituindo um importante elo para a reconstrução paleoclimática da região, como demonstrado por Silva (2009) em seu trabalho sobre microclima e bioindicadores paleoclimáticos no município de São Francisco de Assis (Figura 12).



**Figura 10.** *Vernonia macrocephala* em areal no município de São Francisco de Assis/RS.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).



**Figura 11.** Touceiras de *Elyonurus* sp. sobre afloramento de rocha.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).



**Figura 12.** Vegetação de cactácea nativa sobre coxilha.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

Verdum (2004) apresenta um quadro onde estão relacionados fatores como: a adaptação das gramíneas das pastagens nativas ao meio favorável, à criação de gado (palatabilidade e resistência ao pisoteio) e ao período de floração, em São Francisco de Assis e Manoel Viana. As espécies vegetais relacionadas foram: capim-caninha (*Andropogon lateralis*), barba-de-bode (*Aristida flacida*), barba-de-bode alta (*Aristida laevis*), capim-limão (*Elyonurus candidus*), capim-forquilha (*Paspalum notatum*) e capim-rabo-de-burro (*Schizachirium microstachyum*). O capim-limão, identificado como *Elyonurus candidus*, se caracterizava, de acordo com os autores, por apresentar média palatabilidade para o gado (durante fase de brotação), adaptação aos campos de solos de textura média e argilosa, boa resistência ao pisoteio e floração de novembro a março. As características mencionadas pelos autores colaboraram para a escolha desta espécie na composição das técnicas mecânico-vegetativas, e somaram-se às características observadas para as mudas de capim-limão na área de estudo, junto à ravina.

### 3.1.3 Local de desenvolvimento do projeto

O trabalho de campo contemplou uma área com ocorrência de areal e ravinas em uma propriedade rural com 92 hectares, estabelecida na localidade de Esquina, ao norte da sede urbana do município de São Francisco de Assis, sub-bacia hidrográfica do Arroio Inhacundá. Dentre os 92 hectares que compõem a propriedade, 87 hectares são formados por campos e coxilhas e 3 hectares estão cobertos por relevos tabulares residuais de arenitos silicificados (Figura 13). O areal está associado a uma série de ravinas que costeiam um morro arenítico testemunho de topo plano, onde se verificam grandes depósitos de tálus na média vertente e depósitos arenosos na baixa vertente. A área de trabalho se encontra junto à face noroeste do cerro da Esquina, onde se verifica menor densidade de vegetação, em relação à face sudoeste, mais sombreada. A declividade do local é de 4%, servindo de acesso ao gado para área com pastagem nativa ao entorno do cerro.

Freitas (2006) coletou amostras de solo na propriedade para análise obtendo, para suas duas subáreas de experimento, níveis de fertilidade diferenciados. Para as unidades amostrais mais próximas à face norte do Cerro da Esquina a autora obteve níveis mais baixos de fertilidade a maior acidez do solo em relação àquelas unidades localizadas mais próximas à face sul. Isso se refletiu em melhores condições para desenvolvimento da vegetação ao sul, o que foi comprovado pela maior cobertura do solo nos levantamentos fitossociológicos

realizados nesta subárea. Os teores de argila ficaram abaixo dos 20% expressando, também, teores muito baixos de matéria orgânica, característico para os solos com textura arenosa.

A principal atividade econômica da propriedade está baseada na criação de gado de corte em sistema extensivo com oferta de campo nativo e pastagens cultivadas de inverno. Parte de sua área, localizada de modo oposto ao areal e adjacente à outra Formação arenítica, é destinada ao arrendamento de áreas para plantio de melancia, soja, milho e engorda de gado bovino. Atualmente, a propriedade se encontra sob a posse de Olnei Paz, filho de Joaquim Paz, que adquiriu as terras primeiramente em 1953.



**Figura 13.** Em segundo plano, Formação arenítica na forma de cerro, de topo plano silicificado. Em primeiro plano, ravina junto a face NW.

Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

#### *3.1.4 Ravina em estudo*

A feição morfológica selecionada para o desenvolvimento de trabalho nesta Dissertação está localizada em uma área com ocorrência do processo de arenização, junto a uma Formação residual tabular de topo silicificado denominada Cerro da Esquina, com 222 metros de altura (Figuras 14 e 15). Esta forma erosiva é a primeira de uma sequência de ravinas que cortam a superfície na forma de rampa, de modo adjacente e transversal ao contorno da escarpa arenítica, partindo-se do sentido NW-S.

Denominaram-se as margens da ravina posicionando-se de costas para o cerro e mirando no sentido montante-jusante da feição erosiva. Dessa forma, a margem direita está

disposta transversalmente a face mais ensolarada do cerro, enquanto a margem esquerda se localiza mais próxima à face com maior sombreamento desta Formação arenítica. Internamente, no entanto, os taludes situados à margem esquerda recebem maior insolação enquanto aqueles situados à margem direita recebem menor insolação direta ao longo do dia.

Classificou-se a ravina em seções e setores para melhor identificação dos locais colonizados pela vegetação nativa e monitoramento da dinâmica erosiva. Como secções, têm-se três divisões principais (Figura 16):

1ª seção – ponto inicial da ravina: perfaz 10 metros, partindo do ponto inicial de aprofundamento do sulco, situado a 2 metros do cerro e de modo adjacente a um grande fragmento rochoso, denominado ‘pedra referencial’, situado à margem direita da ravina. Em uma primeira aferição, o sulco inicia com 10 cm de profundidade e 30 cm de largura, costeia a pedra referencial e finaliza ao começo de um enrocamento, quando atinge 50 cm de profundidade e 1m20cm de largura. Este ponto sofre muita remobilização de sedimentos em função do frequente pisoteio do gado, que acessa a ravina para atravessar o campo;

2ª seção – ponto de enrocamento: tem início ao final da pedra referencial, quando há uma sucessão de degraus de arenito expostos pela remoção de material inconsolidado da superfície, aqui denominado ‘enrocamento’. Abrange 23 metros, iniciando com 1m20cm de profundidade em nível com a superfície e finaliza a 1m50cm abaixo da superfície;

3ª seção – canal principal e taludes livres: tem início ao final do enrocamento perfazendo 11 metros no sentido montante-jusante da feição erosiva e finaliza no ponto mais distal, quando o canal faz uma curva à esquerda, em direção a parte mais baixa da vertente. A característica neste ponto se dá pelo progressivo alargamento da ravina, com taludes que variam de 1m a 2m30cm de altura, assim como pelo canal de escoamento preferencial e áreas de deposição no sopé dos taludes, com presença de degraus de sedimentos inconsolidados.



**Figura 14.** Vista aérea da ravina em estudo, situada em vertente de morro de topo plano.  
Fotografia: Luiz Marcelo Bolo de Lima (2011).



**Figura 15.** Detalhe da ravina, sentido montante (primeiro plano)  
- jusante, face NW.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



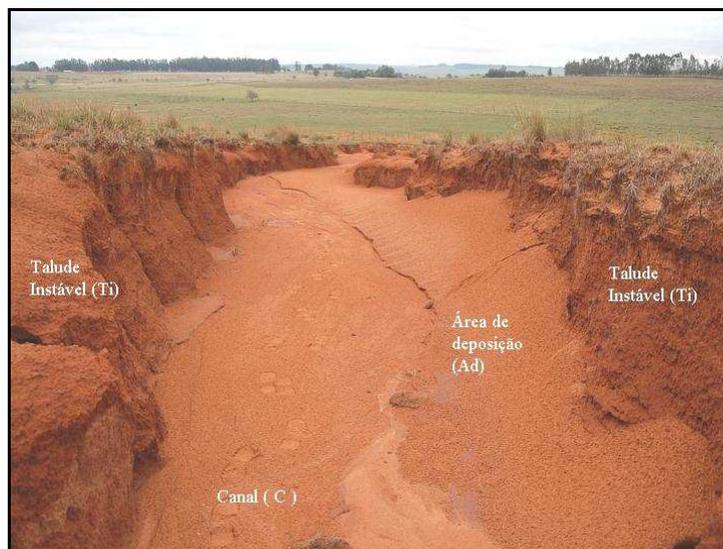
**Figura 16.** Vista aérea da ravina e suas 3 seções: 1. Seção inicial junto a pedra referencial; 2. Seção com enrocamento; 3. Seção com canal principal e taludes livres.  
Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2012).

Para fins de uniformização em relação à denominação, os setores no interior da ravina foram denominados Área de Contribuição Superficial (Ac); Taludes Estáveis (Te); Taludes Instáveis (Ti); Áreas de Deposição (Ad) e Canal (C), segundo metodologia de Ferreira & Ferreira (2009), com modificações, com as seguintes especificações (Figura 17):

1. Taludes instáveis (Ti) – foram considerados taludes instáveis aquelas paredes que apresentam maior declividade em relação aos taludes estáveis, com sinais frequentes de deslizamento de material além não permitirem a colonização por espécies vegetais, se não por poucos indivíduos. Estes taludes estão localizados nas margens esquerda e direita da ravina, sendo verificados desde o ponto situado ao final do enrocamento até o ponto limite de monitoramento a jusante.
2. Taludes estáveis (Te) – são considerados aqueles formados por paredes que não apresentam sinais de deslizamentos recentes, posicionados em locais com menor declividade em relação aos taludes instáveis e colonizados por espécies nativas em suas

laterais e topo. Estes taludes estão localizados entre as estacas 4, 5, 9 e 10 de modo transversal ao escoamento, no centro do enrocamento.

3. Área de deposição (Ad) – como área de deposição foi considerada aquela situada em porções mais inferiores do talude, sendo receptora preferencial de materiais erodidos que ficam depositados sobre as mesmas, e são passíveis de remobilização hídrica e eólica ou colonização pela vegetação.
4. Canal (C) – como canal da ravina foi considerada a porção mais baixa, entre os taludes, sendo este o caminho preferencial do escoamento concentrado das águas da chuva e praticamente ausente de vegetação.
5. Área de contribuição superficial (Ac) - considerou-se como área de contribuição superficial aquela ao entorno da ravina, na qual se observava solo descoberto, sinais de erosão hídrica e movimentação de sedimentos. Esta área contribui com a maior parte das águas erosivas, e segundo Ferreira (2009) caracteriza-se por possuir grande comprimento de rampa e declividade variando entre 5 a 10%. A declividade na área de estudo é de 4%.



**Figura 17** . Detalhe interno da ravina, sentido montante – jusante, demonstrando os setores de Talude instável (Ti), Área de deposição (Ad) e Canal principal de escoamento da água (C).  
Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2012).

Na 1ª seção da ravina, a cerca de 2 metros da pedra referencial, na margem esquerda, ocorre um processo de desgaste mencionado por Oliveira (1999) como alcova de regressão (Figura 18). Segundo o autor, o desenvolvimento das alcovas de regressão se dá em função de

um fluxo subvertical, associado a um ponto de erosão por queda de água, após eventos de precipitação e/ou pelo afloramento de lençol freático. No caso da ravina selecionada para estudo, a alcova de regressão se origina em função do escoamento de fluxo subvertical, predominantemente. O fluxo de água que escoava rente ao talude acaba por erodir o sopé da parede, gerando uma escavação em profundidade, que pode ocasionar um solapamento da base do talude ou mesmo contribuir para erosão regressiva, a montante da cabeça de incisão na superfície. As alcovas de regressão podem se consolidar como fatores contribuintes ao aumento das tensões cisalhantes nos taludes de ravinas e voçorocas, bem como nas encostas onde se verificam estas feições erosivas.

Outra feição erosiva que pode ser visualizada no interior da ravina, também na 1ª seção, junto à base do talude na margem esquerda, é o que Oliveira (1999) convencionou chamar de duto de convergência ou canelura. Segundo o autor, esses dutos são indicativos de variações das características mecânicas das coberturas superficiais e geralmente são esculpidos pela convergência de fluxo superficial para o interior de fendas ou macroporos biogênicos (Figura 19).



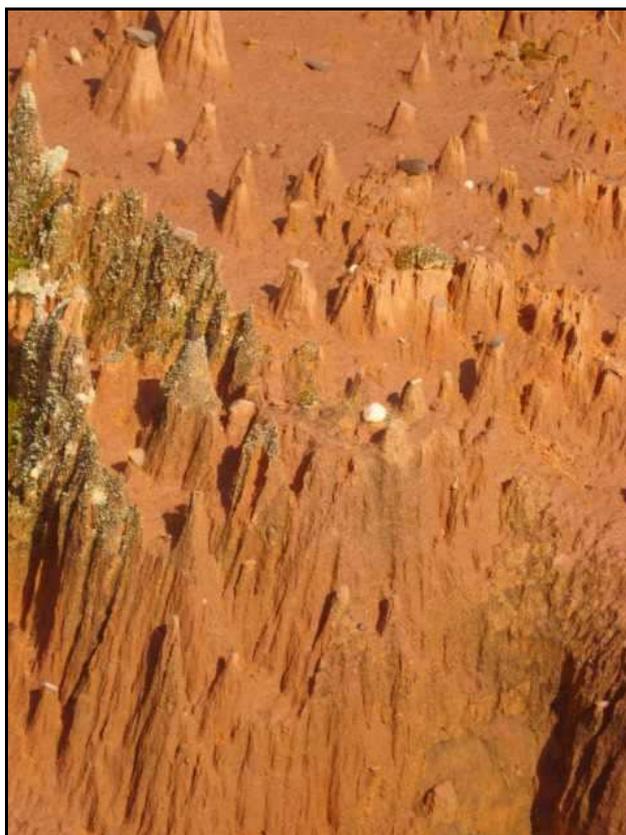
**Figura 18.** Alcova de regressão gerada pelo escoamento superficial da água em filetes subverticais no talude.

Fotografia: Luiz Marcelo Bolo de Lima (2011).



**Figura 19.** Duto de convergência na 1ª seção da ravina, onde escoamento concentrado incide diretamente, vindo de montante.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

A ocorrência de pedestais ou *demoiselles* pode ser verificada internamente na ravina, em taludes instáveis situados juntos às margens esquerda e direita na 2ª seção da ravina. Estas feições erosivas indicam que há salpicamento intercalado com remoção das partículas pelo escoamento superficial (OLIVEIRA, 1999). De acordo com o autor, as *demoiselles* são podem ser entendidas como formas residuais, esculpidas abaixo de um objeto cuja densidade não permitiu sua remoção, como grânulos e seixos de minerais variados (Figura 20).



**Figura 20.** Pedestais localizados no terço médio da ravina, em talude ensolarado, a cerca de 1,50 m da superfície.

Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

As feições erosivas são produtos de movimentos de massa pelo agente hídrico, e podem se desenvolver nos mais diversos locais, tanto em superfície quanto em subsuperfície de ravinas e voçorocas. A correta identificação e o reconhecimento dos mecanismos que promovem seu surgimento e desenvolvimento são fundamentais no monitoramento de processos erosivos avançados, para os quais se pretende realizar intervenções técnicas focadas na sua estabilização e no seu controle. De modo prático, pode-se admitir que a presença de alcovas de regressão, dutos de convergência e *demoiselles* nas seções iniciais da ravina permitem deduzir que há um predomínio de mobilização do material sedimentar inconsolidado pelo agente hídrico, em relação à mobilização transporte e sedimentação pela ação da gravidade e/ou pelo agente eólico. Dessa forma, se confirma a necessidade de uma intervenção físico-mecânica-vegetativa no sentido de redirecionar os fluxos de água da chuva e os escoamentos concentrados de superfície, reduzindo seu potencial erosivo no terço inicial da ravina, principalmente.

### **3.2 Diagnóstico e monitoramento da área interna e área de contribuição e do processo erosivo**

A metodologia do estudo foi embasada no tripé 1. *caracterização da área e objeto de trabalho*; 2. *diagnóstico* e 3. *proposições*, sendo realizadas as seguintes etapas:

1.1 Revisão bibliográfica – tópicos e conceitos: Sudoeste do RS; Campanha gaúcha; Processo de arenização; Geologia/Relevo/Clima/Vegetação; Atividade antrópica (processo histórico de uso e ocupação do solo); Métodos Biotecnológicos, Recuperação de Áreas Degradadas; Erosão continental; Ravinas e Voçorocas, entre outros assuntos pertinentes à pesquisa;

1.2. Expedição a campo para determinação da região e local específico de trabalho;

1.3. Delimitação da ravina e área de contribuição;

1.4. Aferições nas áreas internas, de contribuição e borda da ravina;

1.5. Coleta e identificação das espécies nativas ocorrentes na área de trabalho;

1.6. Coleta de sedimentos no interior da ravina;

2.1. Aferimentos para monitoramento e avaliação da dinâmica erosiva na área superficial e interna da ravina;

2.2. Seleção e testes de propagação vegetativa e semeadura com espécies nativas a campo e em estufa;

2.3. Análise dos dados coletados a campo e em estufa;

2.4. Classificação da ravina em seções e setores para correta proposição de técnicas de estabilização de acordo com os processos erosivos predominantes e característica de cada setor.

3.1. Elaboração e implantação de técnicas para estabilização da ravina a partir da reordenação da drenagem superficial, difusão de escoamentos concentrados, retenção de sedimentos e plantio de mudas de espécie vegetal nativa junto a paliçadas.

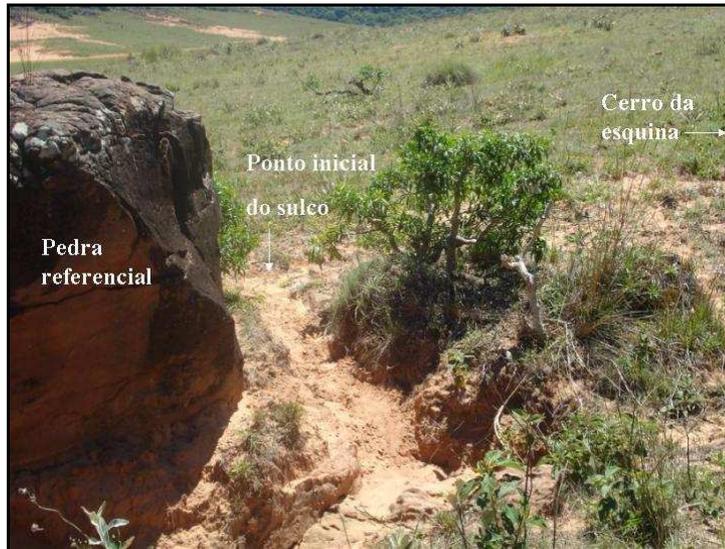
A primeira visita a campo, realizada em julho de 2010, foi idealizada para fins reconhecimento da área de trabalho. Os pontos prioritários desta visita tinham como base a seleção da ravina a ser estudada, sua importância no contexto do areal local, definição do perímetro de delimitação externo que permitisse analisar a presença da vegetação no entorno, delimitação da área interna para estudo e implantação de intervenções técnicas, possibilidade de observação da dinâmica de colonização vegetal no interior da feição erosiva, viabilidade de

intervenção em curto período de tempo para observação dos resultados com breve análise crítica e econômica.

### *3.2.1 Delimitação da área de estudo*

A água que precipita em forma de chuva na vertente do cerro, adjacente ao ravinamento, dá início a escoamentos concentrados formando pequenos sulcos assim que encontram a superfície do solo, muito próximo ao cerro. Assim que estes sulcos encontram obstáculos e imperfeições no terreno há um direcionamento do escoamento da água na superfície, formando então um sulco principal (Figura 21). Este sulco segue em direção ao oeste acompanhando a declividade do terreno, até chegar num ponto em que encontra um grande fragmento arenítico do cerro adjacente, denominado 'pedra referencial'. Neste ponto tem início o aprofundamento do sulco, o qual segue costeando a pedra até chegar a linhas de pedra formadas por quatro níveis principais de afloramentos rochosos, denominados 'enrocamento', e cuja profundidade fora medida a partir da superfície (Figura 22). O primeiro nível, a montante da ravina, apresenta 2 metros de profundidade, o segundo 1m30cm, o terceiro 1m35cm e o quarto 1m80cm. Admitiu-se para o ponto inicial de aprofundamento do sulco, denominado vértice da ravina, como sendo o início a formação da feição erosiva em estudo, onde foi posicionada uma estaca de número 7.

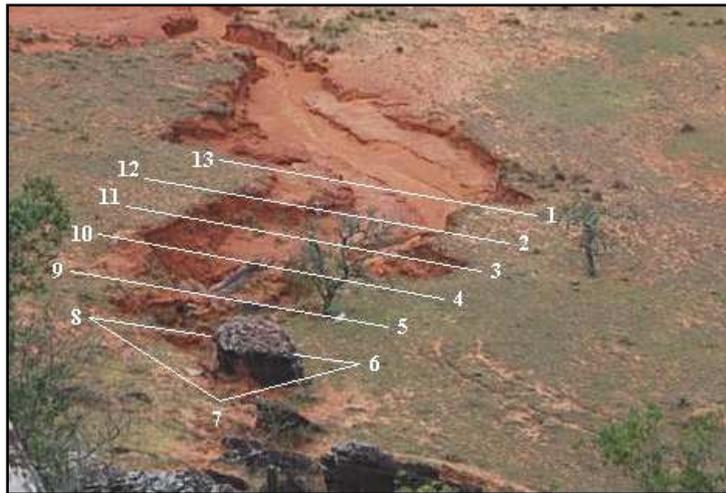
A demarcação da área de estudo foi feita com 13 estacas de bambu de 1 metro de comprimento. As estacas de 1 a 5 e de 9 a 13 foram posicionadas paralelamente em margens opostas distantes 5,5 metros uma da outra. As estacas 6, 7 e 8 foram posicionadas de modo a formar uma triangulação na porção inicial a montante da ravina. As estacas alinhadas de 1 a 7 e de 7 a 13 contemplaram 33 metros de extensão em cada lado do processo erosivo, em superfície (Figura 23). O estabelecimento destas estacas teve como objetivo principal o monitoramento da ação erosiva do escoamento da água da chuva na área de contribuição da ravina, bem como verificar a movimentação nos taludes, com o alargamento das margens da feição morfológica e redução na proximidade de cada margem com sua estaca correspondente (Quadros 1 e 2). As estacas foram referenciadas com uso de GPS de navegação, sendo a profundidade de enterrio diferente para cada uma, em função maior ou menor facilidade de fixação no substrato. Procurou-se não causar excessivo distúrbio com movimentações no entorno do processo erosivo, de modo a não interferir demasiadamente em sua dinâmica.



**Figura 21.** Ponto inicial de aprofundamento do sulco.  
Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 22.** Vista montante-jusante da ravina, com dois níveis de enrocamento.  
Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 23.** Detalhe esquemático da ravina com o posicionamento e numeração das estacas.  
Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2012).

**Quadro1.** Posicionamento das estacas em relação às margens da ravina e sobre a superfície, para monitoramento da erosão difusa na área de contribuição.

Tomada de medidas realizada em Janeiro de 2011.

<b>Estaca nº</b>	<b>Distância à margem adjacente (m)</b>	<b>Porção acima do solo (cm)</b>
1	1,68	83,0
2	3,85	89,0
3	1,63	86,0
4	4,0	84,5
5	2,65	90,0
6	1,35	90,0
7	2,3	97,0
8	2,9	81,0
9	2,2	71,5
10	3,0	78,5
11	2,14	71,5
12	3,4	75,5
13	4,39	89,0

**Quadro 2.** Relação entre estacas paralelas posicionadas em margens opostas para monitoramento da erosão nos taludes, e aumento da ravina em largura.

Primeira tomada de medidas em Janeiro de 2011.

<b>Estacas alinhadas em margens opostas</b>	<b>Distância entre as estacas (m)</b>
1 e 13	16,70
2 e 12	17,05
3 e 11	16,55
4 e 10	14,50
5 e 9	10,20
6 e 8	7,40
6 e 7	5,83
7 e 8	5,30

\* Estaca nº 7 representa o vértice da ravina.

### *3. 2. 2 Vegetação na ravina e ao entorno*

Nas três primeiras expedições a campo realizadas entre os meses de Novembro e Dezembro de 2010 e Janeiro de 2011 fez-se a coleta, herborização e identificação das espécies vegetais com colonização mais frequente na área de contribuição e nos taludes da ravina (TRINDADE, 2003; FREITAS, 2006; FREITAS, 2010; BOLDRINI *et al.*, 2010), relacionando locais de colonização predominante, época de floração e sementação, potencial paisagístico, características do sistema radicular entre outras. Foram realizadas coletas de material vegetal do interior e da área de contribuição da feição erosiva, tendo como critério aquelas que visualmente se apresentavam de forma mais frequente na área. O material foi herborizado e identificado por meio de consulta a material teórico especializado, comparações entre exsicatas no Herbário do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências/UFRGS, bem como, a verificação posterior gentilmente realizada pela Dr<sup>a</sup> Elisete Freitas, cujo Mestrado e Doutorado tiveram como objeto a análise florística e fitossociológica das espécies vegetais nos areas da Campanha gaúcha.

Ao todo foram herborizadas 44 espécies vegetais, predominantemente herbáceas, de hábito prostrado ou ereto, sendo 17 dessas consideradas as mais frequentes na área em estudo. Dentre as 17 relacionadas como de maior potencial de uso neste projeto (pelo critério visual de

maior colonização da área de estudo), sete delas se apresentaram de modo bastante dominante, sendo escolhidas para os testes preliminares de propagação vegetativa (Quadro 3). As espécies *Elyonurus* sp., *Croton subpannosus* e *Senecio cisplatinus* foram avaliadas em estufa por meio de mudas coletadas a campo. *Vernonia macrocephala* e *Baccharis multifolia* foram avaliadas por meio de sementeira em bandejas, cultivadas em estufa. Para avaliação de desenvolvimento por estacas foram selecionadas as espécies *Sebastiania hispida* var. *interceedens*, *Tabernaemontana australis* e *Croton subpannosus* (Anexos 1, 2 e 3). Gomes *et al.*, (2011) afirmam que o estudo e levantamento de espécies vegetais com capacidade de se estabelecerem em locais com condições adversas junto à análise do padrão de dispersão e regeneração natural são fundamentais para o controle dos processos erosivos e projetos de restauração ecológica, ampliando a possibilidade de sucesso nas intervenções que preconizam a Recuperação de Áreas Degradadas (Quadros 4 e 5).

Os testes de propagação vegetativa e sementeira foram realizados a campo e em estufa por meio de sementes e propágulos vegetativos coletados *in loco*. Uma estufa com 4,6 m<sup>2</sup> de área útil foi erguida especificamente para o projeto, no município de Porto Alegre/RS, distante aproximadamente 470 km do município de São Francisco de Assis. Cerca de 100 litros de sedimentos foram coletados a campo para utilização como substrato no cultivo das espécies propagadas em estufa.

**Quadro 3.** Espécies vegetais coletadas para herborização, apresentando maior frequência de colonização no interior e na área de contribuição superficial da ravina.

<b>Família Botânica</b>	<b>Gênero e espécie</b>
SOLANACEAE	<i>Solanum hasslerianum</i>
APOCYNACEAE	<i>Tabernaemontana australis</i>
POACEAE	<i>Paspalum stellatum</i>
<b>POACEAE</b>	<b><i>Elyonurus</i> sp.</b>
<b>ASTERACEAE</b>	<b><i>Senecio cisplatinus</i></b>
<b>ASTERACEAE</b>	<b><i>Vernonia macrocephala</i></b>
CYPERACEAE	<i>Cyperus</i> sp
POACEAE	<i>Axonopus argentinus</i>
<b>POACEAE</b>	<b><i>Melinis repens</i></b>
<b>ASTERACEAE</b>	<b><i>Baccharis multifolia</i></b>
PLANTAGINACEAE	<i>Scoparia ericácea</i>
ASTERACEAE	<i>Hypochoeris</i> sp.
ASTERACEAE	<i>Gomochaeta falcata</i>

<b>EUPHORBIACEAE</b>	<b><i>Sebastiania hispida</i> var. <i>intercedens</i></b>
AMARANTHACEAE	<i>Froelichia tomentosa</i>
AMARANTHACEAE	<i>Gomphrena graminea</i>
<b>EUPHORBIACEAE</b>	<b><i>Cróton subpannosus</i></b>

\* Espécies em negrito representam as sete mais frequentes no interior e área de contribuição da ravina, segundo levantamentos realizados a campo entre Junho de 2010 e janeiro de 2011.

**Quadro 4.** Comportamento quanto à floração de espécies vegetais de maior interesse no projeto a campo e em estufa.

Família	Gênero e espécie	Jul. 2010	Nov. 2010	Dez. 2010	Jan. 2011	Jun. 2011	Set. 2011	Out. 2011 (observação em estufa)
Apocynaceae	<i>Tebernaemontana australis</i>	sem flor	sem flor	com flor	com flor	sem folhas	com brotações novas	sem flor
Poaceae	<i>Elyonurus</i> sp.	sem inflorescência	com inflorescência	com inflorescência	sem inflorescência	poucas folhas verdes	sem inflorescência	emissão de panícula
Asteraceae	<i>Senecio cisplatinus</i>	com flor	sem flor	sem flor	sem flor	com flor	com flor	sem flor
Asteraceae	<i>Vernonia macrocephala</i>	seca mas com sementes	floração incipiente	floração incipiente	com flor	seca mas com sementes	brotações foliares	sem flor
Poaceae	<i>Melinis repens</i>	com inflorescência	com inflorescência	com inflorescência	com inflorescência	com inflorescência	aspecto senecido	sem inflorescência
Euphorbiaceae	<i>Sebatiana hispida</i> var. <i>intercedens</i>	não observado	com flor	com flor	com flor	não observado	com flor	não observado
Euphorbiaceae	<i>Croton subpannosus</i>	não observado	com flor	com flor	não observado	sem flor	não observado	não observado
Asteraceae	<i>Baccharis multifolia</i>	com flor	sem flor	não observado	não observado	com flor	não observado	não observado

**Quadro 5.** Espécies monitoradas na área interna e de contribuição da ravina e algumas das características desejadas para sua possível utilização no projeto.

<b>Potencial ornamental</b>	<b>Grande produção de sementes com dispersão eólica</b>	<b>Raiz espessa e resistência ao arranquio</b>
<i>Vernonia macrocephala</i>	<i>Vernonia macrocephala</i>	<i>Vernonia macrocephala</i>
<i>Senecio cisplatinus</i>	<i>Melinis repens</i>	<i>Croton subpannosus</i>
<i>Tabernaemontana australis</i>	<i>Baccharis multifolia</i>	<i>Tabernaemontana australis</i>
<i>Scoparia ericacea</i>	<i>Elyonurus</i> sp.	<i>Sebastiania hispida</i> var. <i>interceedens</i>
<i>Melinis repens</i>		<i>Elyonurus</i> sp.
<i>Dickya vicentensis</i>		<i>Solanum hasslerianum</i>
<i>Solanum hasslerianum</i>		

A espécie *Elyonurus* sp. apresenta a produção de óleos essenciais em toda planta, o que pode ser um fator positivo para sua utilização na revegetação de campos de areia devido ao potencial para exploração de plantios com finalidade comercial.

A espécie *Senecio cisplatinus* apresenta grande beleza em sua floração, atraindo insetos polinizadores, com potencial para uso ornamental. Entretanto, o *Senecio cisplatinus* apresenta intensa produção de alcalóides tóxicos para alimentação animal, verificados facilmente pela viscosidade ao tato, além de ser hospedeira de afídeos, como os ácaros da família dos trombídeos, popularmente conhecidos como ‘micuins’.

*Vernonia macrocephala* é uma planta de grande beleza estética, com flores arroxeadas e possibilidade de associação com micorrizas em seu sistema radicular, o que favorece a absorção de nutrientes e seu estabelecimento em solos pobres. Essa associação com micorrizas também pode ser verificada na espécie *Melinis repens*, que apresenta grande aptidão para colonização de taludes instáveis, com produção de sementes durante quase todo o ano. Esta espécie, apesar de ser adequada ao controle de erosão em solos arenosos, de baixa fertilidade e ácidos, representa também perigo de combustão em épocas de estiagem, devido a sua grande produção de matéria seca.

A espécie *Baccharis multifolia* se apresenta de forma bastante abundante na área de contribuição da ravina, com intensa produção de sementes de dispersão eólica no inverno.

*Sebastiania hispida* var. *interceedens* foi a única espécie registrada colonizando o canal principal no setor de taludes livres ao longo dos monitoramentos na ravina, apresentando floração em diferentes épocas ao longo do ano. Esta espécie possui um sistema radicular

bastante profundo, com extrema resistência ao arranquio. O substrato predominantemente arenoso, combinado a uma alta taxa de infiltração de água e acúmulo desta em reservas subterrâneas favoreceu o desenvolvimento das raízes com maior aprofundamento no subsolo, de modo que a maioria das espécies de porte herbáceo na área de monitoramento apresentavam grande dificuldade ou até mesmo impossibilidade de remoção manual.

A espécie *Croton subpannosus* se configurou como a mais abundante na área de contribuição superficial ao longo do período de monitoramento, colonizando também setores de taludes instáveis e estáveis. Possui sistema radical pivotante, com grande espessura e alta resistência ao arranquio. Também são relatadas, na literatura específica sobre esta espécie, algumas propriedades medicinais e boa adaptação para uso no controle de erosão em solos arenosos.

Para os testes de semeadura e a propagação por estaquia, foram utilizadas bandejas plásticas de cor branca, com três tipos diferentes de tratamento: substrato arenoso proveniente da ravina; mistura 1:1 substrato arenoso e terra preta ou somente terra preta (Figura 24). As estacas foram envoltas em sacos plásticos de gramatura fina e translúcidos para controle da desidratação em estufa.

No cultivo em ambiente protegido de mudas obtidas por divisão de touceiras e mudas coletadas individualmente a campo utilizaram-se embalagens plásticas de cor preta, preenchidas somente com substrato arenoso coletado na área de trabalho (Figura 25). As regas em estufa foram realizadas manualmente a cada dois dias, ou de acordo com a demanda atmosférica.

Trindade (2003) menciona a espécie *Elyonurus* sp. como de alta contribuição no estrato superior em diferentes grupos de areais analisados quanto a sua abundância-cobertura nos municípios de São Francisco de Assis, Manoel Viana e Alegrete, especialmente naqueles manejados sob pastoreio e com baixa oferta de forragem. De acordo com o autor, os campos de areia se caracterizam regionalmente pelo predomínio de *Elyonurus* sp. (capim-limão) e *Butia paraguayensis* (*B. lalemantii*), butiá-anão, e a vegetação ao entorno de um areal, classificada como de campos de areia, demonstra maior tolerância ao processo de arenização e ao pastoreio excessivo considerando-se o restante da formação campestre. Da mesma forma, o autor afirma que uma maior contribuição de *Elyonurus* sp. associada a uma maior altura da biomassa proporcionou maior tolerância ao soterramento nas comunidades com dominância desta gramínea nativa.

Touceiras de *Elyonurus* sp. foram divididas para plantio de 40 mudas na ravina, sendo vinte destas em talude situado à direita entre as estacas 2 e 12 e vinte mudas em talude à

esquerda, entre as estacas 1 e 13, estabelecendo-as no terço superior e mais à jusante do processo erosivo. O talude à esquerda apresentava maior insolação durante o dia e o talude direito maior sombreamento, sendo a tolerância das mudas a diferentes taxas de insolação o fator de avaliação nesta intervenção (Figuras 24 e 25). Características consideradas importantes para a utilização da vegetação nativa em projetos de estabilização foram observadas para cada espécie, tais como locais predominantes de colonização, época de florescimento, arquitetura do sistema radicular, cobertura do solo, frequente colonização da área em diferentes épocas do ano, sobrevivência ao arranquio e divisão de touceiras, abundante produção de sementes, floração de grande beleza estética, e atração de insetos polinizadores.



**Figura 24.** Bandejas com substrato de terra preta e semeadura de *Baccharis multifolia* e *Vernonia macrocephala*.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 25.** Mudanças de *Elyonurus* sp. e *Senecio cisplatinus* em estufa.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 26.** Mudanças de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude ensolarado da ravina – margem esquerda.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 27.** Mudanças de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude Sombreado da ravina - margem direita.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

### 3.2.3 Dinâmica erosiva

O monitoramento da profundidade de enterrio das estacas e distância à margem foi realizado com uso de fita métrica, objetivando-se verificar a dinâmica erosiva da água em superfície. Foram realizadas aferições para monitoramento do acúmulo de sedimentos junto às estacas, sendo estes carregados pelo escoamento superficial difuso advindo do deslocamento da água da chuva sobre o solo. Nas medições de monitoramento subsequentes considerou-se a variação na porção exposta das estacas sobre a superfície do solo.

O deslizamento de material dos taludes para o interior da ravina foi verificado em aferições de monitoramento, sendo registrada a variação na distância de cada estaca em relação à margem adjacente.

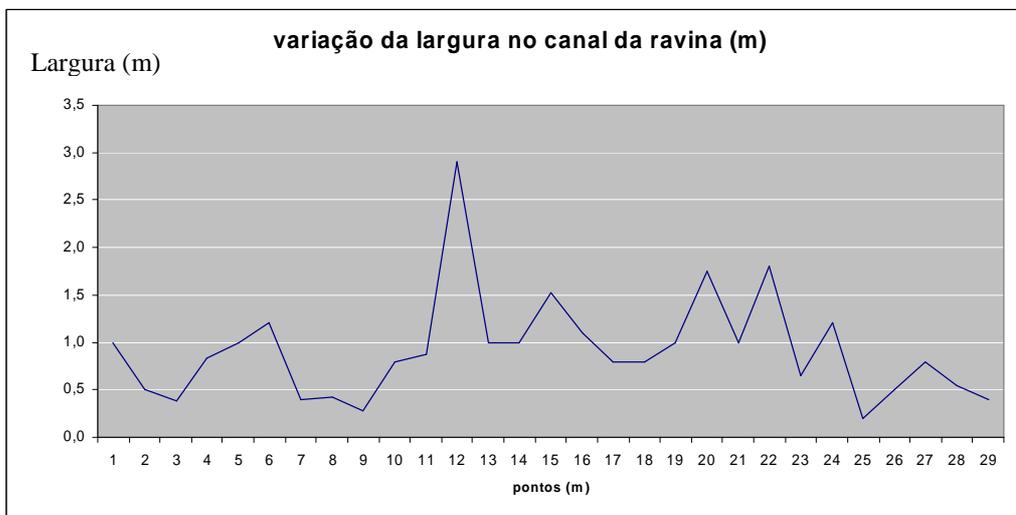
Para o traçado da seção transversal da ravina optou-se por amarrar cordões a 0,2 m de altura do solo nas estacas paralelas, de modo a permitir aferições por tomadas de pontos de uma margem a outra e internamente. Dessa forma, foi possível obter dados de profundidade e largura de uma margem à outra da ravina, sendo realizado desenho esquemático em folha milimetrada para melhor visualização de seu perfil.

Medidas foram realizadas nos cinco primeiros metros de extensão da ravina para a avaliação de variações na profundidade e largura do sulco junto ao fragmento, nesta seção inicial do processo erosivo. Não foi verificada grande variação de profundidade e largura nestes primeiros cinco metros da ravina, mas a partir do ponto em que o sulco distancia-se do

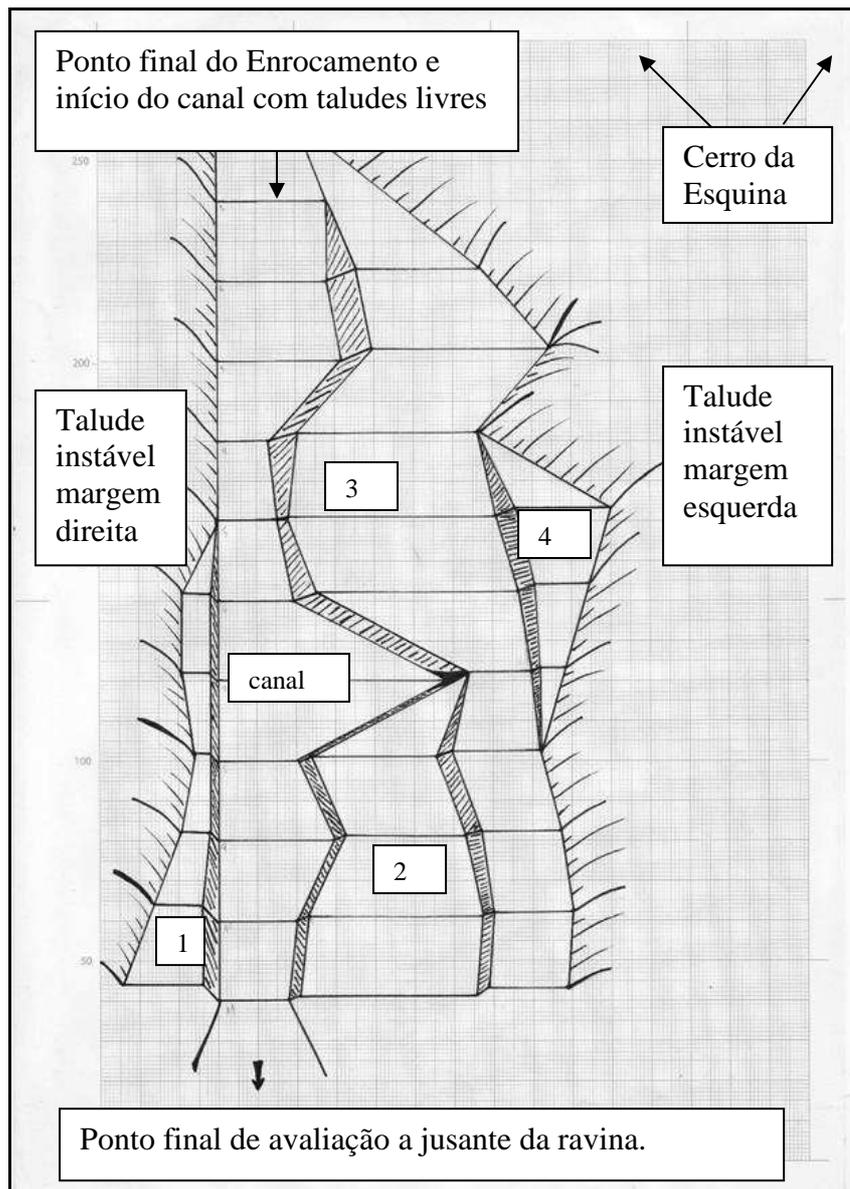
fragmento arenítico, ‘pedra’ referencial, há grande variação na profundidade e largura do sulco, com formação de taludes laterais de 2 metros e meio de altura em média, ao longo de mais de 100 metros de extensão. Quatro níveis principais de afloramentos rochosos, enrocamento, se interpõem ao longo dos 28 metros iniciais da ravina, havendo a presença de taludes estáveis em alguns pontos, com pequenos fragmentos de vegetação colonizando o topo destes taludes. O escoamento neste segmento é bastante caótico, não somente pelo assoalho que os degraus oferecem ao escoamento hídrico, mas também pela grande presença de material mineral solto, disposto diretamente sobre uma superfície rochosa e prontamente disponível ao retrabalhamento pela ação direta da chuva e do vento.

Ao longo do canal foram monitorados pontos de um em um metro contemplando 11 metros de extensão como forma de verificar a deposição e o transporte de material proveniente dos taludes, assim como, a presença de degraus internos. As medidas foram realizadas sempre a partir de um mesmo ponto inicial na superfície, partindo da área de deposição situada à direita, até a área de deposição situada à esquerda da ravina. As margens direita (mais sombreada) e esquerda (mais ensolarada) foram determinadas posicionando-se de costas para o Cerro da Esquina, e olhando para o horizonte no sentido montante-jusante da feição erosiva. As medidas do canal e degraus internos também foram repassadas para folha milimetrada, de modo a permitir seu traçado e análise posteriormente ao campo. O traçado do canal combinado ao traçado da secção transversal possibilitou modelar a área de trabalho da ravina, ainda que de forma aproximada e artesanal, utilizando-se espuma fenólica. Neste molde utilizaram-se palitos de fósforo para simular a construção de paliçadas destinadas à contenção da erosão, bem como verificados os pontos mais adequados para intervenção a campo. Não foi verificada uma homogeneidade da largura no canal, sendo observado, inclusive, um grande pico de alargamento entre o décimo primeiro (11) e décimo segundo (12) metros de extensão longitudinal (Gráfico 1).

**Gráfico 1.** Variação da largura do canal da ravina considerando 28 metros a partir do enrocamento. Tomada de medidas em Novembro de 2010.



A partir destas medidas, foi possível verificar a existência de três degraus arenosos internos ao longo dos primeiros 11 metros de aferições com cerca de 10 cm de altura cada um, em média, sendo a presença destes predominantes no lado esquerdo da ravina, sentido montante-jusante (Figura 25), indicando uma rota preferencial de deposição de sedimentos carreados pelo escoamento da água da chuva no canal da ravina.



**Figura 28.** Croqui esquemático das aferições no canal da ravina com os degraus 1, 2, 3 e 4 formados por sedimentos arenosos depositados na base dos taludes. Aferição inicial realizada em Novembro de 2010. Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2010).

Testes para a correta confecção e disposição dos biorretentores de sedimentos foram realizados em caixa de madeira preenchida com areia e construída com declividade semelhante àquela observada no local de desenvolvimento do projeto, em área junto à estufa, no município de Porto Alegre. Os biorretentores para teste foram confeccionados em formato cilíndrico, com diferentes diâmetros, preenchidos com folhas de palmeiras e gramíneas, sendo envoltos em sacos de juta e amarrados com sisal. Observou-se o efeito do escoamento concentrado após

ultrapassar o anteparo, forma ideal para fixação na areia, erosão nos pontos de fixação, necessidade de colocar palha ao assentar o retentor, entre outros parâmetros.

### 3.3 Resultados e discussão

A partir de expedições a campo, monitoramento e análises dos dados obtidos foi possível verificar que os processos superficiais de erosão por escoamento superficial difuso, medidos segundo profundidade de enterrio das estacas de bambu na área de contribuição da ravina, tiveram uma variação muito pequena ou quase inexistente, não indicando grande atividade de mobilização de sedimentos em superfície (Quadro 6).

De modo contrário, a movimentação de massa nos taludes por escoamento difuso e concentrado se mostrou significativa em todas as estações do ano, havendo maior fluxo de sedimentos na margem esquerda entre as estacas 10 e 13, à jusante da ravina (Quadro 7).

**Quadro 6:** Medidas das estacas 1 a 13 em relação à margem adjacente para monitoramento da erosão lateral nos taludes da ravina, com variação acumulada entre os meses de Janeiro e Setembro de 2011 (3 aferições).

Estacas nº	Varição acumulada (m)
1	-0,09
2	-0,15
3	-0,10
4	0,10
5	0,03
6	-0,20
7	-0,60
8	0,02
9	-0,04
10	-0,20
11	-0,24
12	-0,03
13	-0,79

\* Medidas em vermelho referem-se a estacas perdidas, não sendo possível a tomada de medidas na última aferição a campo.

\* Variações negativas indicam perda de material – aumento da largura da ravina.

\* Variações positivas são atribuídas, provavelmente, a erro humano nas aferições.

**Quadro 7:** Variação, acumulada entre janeiro e junho de 2011 (3 aferições) no canal da ravina (m), partindo-se do final do enrocamento (entre estacas 5 e 8) até o ponto final de avaliação, entre as estacas 1 e 13.

Ponto	Variação acumulada (m)
1º metro	-0,40
2º metro	-0,18
3º metro	-0,80
4º metro	-0,57
5º metro	0,35
6º metro	2,88
7º metro	0,70
8º metro	-1,17
9º metro	0,63
10º metro	0,26
11º metro	0,70
12º metro	0,55

\* Variações negativas referem-se à redução na largura, com conseqüente deposição de sedimentos proveniente dos taludes.

\* Variações positivas indicam aumento na largura do canal, com remoção, transporte e deposição de sedimentos a jusante.

O maior transporte de sedimentos no canal foi verificado no terço inicial entre as estacas 5, 6 e 7 em função do intenso trânsito animal neste setor e no terço final, entre as estacas 10 e 11, onde havia maior aporte de material deslizado do talude localizado à esquerda da ravina (Quadros 8, 9 e 10).

A partir dos dados demonstrados no *Quadro 6*, é possível verificar que o último terço da ravina situado na seção mais a jusante junto às estacas 13 e 11, posicionadas de modo adjacente a margem esquerda, apresentaram maior variação acumulada, com aumento na largura devido a uma maior queda de material dos taludes para o interior da feição erosiva. Infelizmente, o intenso trânsito animal na área de contribuição da ravina ocasionou a perda de algumas estacas, o que não permitiu uma melhor avaliação da dinâmica erosiva nesta seção.

**Quadro 8.** Variação de largura na margem em superfície, acumulada para os primeiros seis metros de sulco na ravina. Aferições realizadas entre novembro de 2010 e junho de 2011.

<b>Varição (m)</b>	<b>Observações</b>
0,32	Aumento significativo na largura, com queda de sedimentos nas margens no canal.
0,8	Maior aumento na largura, com queda de sedimentos nas margens no canal.
0,46	Aumento significativo na largura, com queda de sedimentos nas margens no canal.
0,26	Pequeno aumento na largura, com queda de sedimentos nas margens no canal.
0,08	Aumento reduzido na largura, com queda de sedimentos nas margens no canal.
- 0,28	Margem reduziu, provavelmente, em função do intenso trânsito animal, provocando deposição de material adjacente da superfície.

\* Variações negativas indicam deposição de material e redução na largura

De modo complementar, o *Quadro 9* apresenta deposições de até 10 cm e 30 cm de material proveniente da superfície, entre os pontos 4 e 5, o que confirma a tendência desta seção em sofrer modificação pelo intenso tráfego animal e escoamento proveniente da encosta alterando o sulcamento inicial de modo significativo tanto em largura quanto em profundidade.

**Quadro 9.** Variação em profundidade acumulada para os primeiros seis metros de sulco na ravina. Aferições realizadas entre novembro de 2010 e junho de 2011.

<b>Varição (m)</b>	<b>Observações</b>
0,06	Ponto inicial de sulcamento, com acesso animal direto pouco significativo.
-0,06	Intenso trânsito animal com deposição de sedimentos no canal.
-0,07	Intenso trânsito animal com deposição de sedimentos no canal.
-0,33	Intenso trânsito animal com deposição de sedimentos e lascas de rocha no canal.
-0,10	Intenso trânsito animal com deposição de sedimentos no canal.
0,02	Ponto final, com ausência de acesso animal.

\* Variações negativas indicam deposição de material e redução na profundidade

As variações observadas entre as estacas foram mais consideráveis entre os meses de janeiro e junho de 2011. Variações entre os meses de junho a setembro de 2011 não foram muito significativas. Este resultado pode ser em função da ocorrência de um outono muito frio e chuvoso em 2011 o que, além de provocar a morte de espécies vegetais, gerou grande movimentação de sedimentos pelo escoamento da água da chuva.

A seção mais a jusante (estacas 1-13) demonstrou ser o local onde há maior perda de material dos taludes e alargamento do canal, indicando maior transporte de sedimentos, em relação à seção inicial e média à montante, onde há maior deposição de material e redução na largura do canal. Na seção média da ravina (estacas 4-10 e 3-11) há presença de taludes estáveis com maior colonização de espécies vegetais nativas, além de concentrar o enrocamento, o que deve ter contribuído para uma menor remoção de material nesta área.

De acordo com os dados apresentados no *Quadro 7*, pode-se verificar que a variação em largura no canal da ravina apresentou maior deposição de material logo após o enrocamento e, na medida que avançava pelo setor de taludes livres, o escoamento ganhava maior

competência para remoção de materiais do sopé dos taludes, havendo aumentos significativos na largura do canal principal.

Os dados comparativos apresentados no *Quadro 8* demonstram haver intensa remobilização de sedimentos na seção inicial, com aumento na largura do sulco inicial em até 0,8 m (80 cm). Nesta área há grande pisoteio pelo trânsito animal, além da incidência direta da água que escoia da encosta do cerro em direção ao eixo da ravina. Dessa forma, o alargamento da margem com perda e carreamento de sedimentos a jusante (estacas 1-13) configura este ponto como um dos mais importantes, em termos de intervenção técnica. Aqui se faz imperativo o isolamento do acesso animal.

A partir de análise do *Quadro 10*, é possível verificar que os pontos onde há maior acúmulo de material são exatamente aqueles situados na porção média e distal do enrocamento, onde os afloramentos de rocha se fazem mais evidentes. Nos pontos iniciais do enrocamento, há maior profundidade de sedimento a ser mobilizado além de receber de modo mais concentrado o escoamento que acompanha a pedra referencial. Dessa forma, o fluxo de água encontra condições mais favoráveis para remover material inconsolidado, depositando-o mais a jusante, junto ao canal principal com taludes livres.

**Quadro 10.** Variação acumulada na largura do canal, medida entre novembro 2010 e junho de 2011 (3 aferições) partindo-se do final do enrocamento (entre estacas 5 e 8) até a pedra referencial (sentido jusante-montante).

Ponto	Variação (m)
1° metro (junto ao canal com taludes livres)	-0,8
2° metro	0,6
3° metro	0,0
4° metro	-0,7
5° metro	0,0
6° metro	-0,8
7° metro	0,0
8° metro	-0,1
9° metro	0,5
10° metro	-0,9
11° metro	1,5
12° metro	-0,7
13° metro	0,3
14° metro	0,7
15° metro	-1,1
16° metro	-0,5
17° metro	-0,2

18° metro	0,9
19° metro	1,3
20° metro (junto à pedra referencial)	0,4

\* Variações positivas indicam aumento na largura = perda de sedimentos

\* Variações negativas indicam redução na largura = deposição de sedimentos

A avaliação do acúmulo de sedimentos nas paliçadas após três meses de sua instalação, realizada em novembro de 2011, foi bastante significativa na grande maioria das estruturas, mesmo na ausência de cobertura das estruturas com fibra de juta.

No conjunto de **paliçada 1**, o acúmulo de sedimentos na parte frontal não pode ser verificada, pois a estrutura estava um pouco danificada pelo trânsito do gado. Os biorretentores de sedimentos estabelecidos na base da paliçada não demonstravam depósito de sedimentos maior do que 1cm junto aos mesmos. Esta estrutura teve como função principal forçar o gado a não utilizar esta seção para acesso ao pasto do outro lado da ravina, já que este trânsito causava excessivo distúrbio e remobilização de sedimentos no ponto inicial de aprofundamento do sulco. Apesar de ter sido um pouco danificada, a estrutura obteve o resultado esperado quanto à intimidação dos animais em acessar o local, apresentando maior desenvolvimento e colonização em sua face frontal por *Tabernaemontana australis* e *Croton subpannosus*.

O conjunto de **paliçada 1.a** registrou um acúmulo de 7,3 cm junto aos bioretentores de sedimentos, demonstrando haver transporte hídrico bastante significativo nesta seção. Também foi verificado um maior desenvolvimento e uma colonização expressiva por espécies nativas como *Tabernaemontana australis* e *Croton subpannosus* junto à estrutura.

No conjunto de **paliçada 2**, foi verificado um acúmulo de sedimentos de 10 cm sobre os biorretentores, que ficaram completamente soterrados. A estrutura foi bastante danificada pelo acesso do gado, que utilizou esta seção para cruzar por meio da ravina e acessar o campo do outro lado do processo erosivo. A estrutura vertical de sustentação da paliçada estava bastante deslocada, mas esse fato não foi impeditivo para que junto ao acúmulo de sedimentos se formasse espontaneamente uma pequena touceira de vegetação formada por espécies nativas e/ou naturalizadas como *Melinis repens* e *Andropogon lateralis*.

O conjunto de **paliçada 3** possibilitou um acúmulo de 10 cm de sedimentos transportados pela água em escoamento concentrado, havendo grande aumento de biomassa junto ao sedimento depositado na base da estrutura. As espécies vegetais com maior desenvolvimento e colonização junto à paliçada foram *Andropogon lateralis* e *Croton subpannosus*.

No conjunto de **paliçada 4**, a régua para verificação do acúmulo de sedimentos estava quebrada, provavelmente devido ao trânsito do gado, que frequentemente utiliza o interior da ravina para chegar a outras cotas do campo. No entanto, a comprovação de depósitos de sedimentos pode ser verificado pelo total recobrimento dos biorretentores posicionados na base da paliçada, onde formou-se touceiras de vegetação com a presença dominante de *Melinis repens*, *Sebastiania hispida* var. *interceedens* e *Croton subpannosus*.

O conjunto de **paliçada 5** apresentou um acúmulo de 10 cm de sedimentos junto aos biorretentores, com colonização pela vegetação nativa pouco expressiva neste setor. Isto se deve, principalmente, ao fato desta estrutura estar posicionada no terço médio de um talude instável, onde há freqüente deslizamento de material da área de contribuição, do terço superior da ravina, provocando soterramento e dificuldade para estabilização das espécies vegetais.

No conjunto de **paliçada 6**, verificou-se o maior acúmulo de sedimentos, com 14 cm de deposição de material sedimentar, além de um grande aumento de biomassa junto a esta paliçada, principalmente das espécies *Axonopus argentinus*, *Sebastiania hispida* var. *interceedens*, *Croton subpannosus* e *Melinis repens*.

O conjunto de **paliçada 7** apresentou acúmulo de 5,3 cm, com maior colonização junto à estrutura por espécies como *Sebastiania hispida* var. *interceedens* e *Melinis repens*. O valor reduzido de deposição, em relação às outras estruturas pode ter sido em função do maior afloramento de rocha neste setor.

No conjunto de **paliçada 8**, verificou-se um acúmulo de material transportado pelo escoamento da água de 13 cm, provocando total soterramento dos biorretentores de sedimentos. As espécies que se destacaram na colonização junta a esta estrutura foram *Axonopus argentinus* e *Melinis repens*.

Houve aumento no desenvolvimento e na colonização por espécies vegetais em todas as áreas que sofreram intervenção técnica. A espécie *Sebastiania hispida* var. *interceedens*, que não se apresentava como dominante no interior da ravina se mostrou presente junto a quase todas as estruturas, com desenvolvimento bastante vigoroso. *Axonopus argentinus* e *Andropogon lateralis*, que se apresentaram com baixa frequência ou colonização restrita à área de contribuição superficial da ravina em monitoramentos prévios, surpreendentemente apareceram colonizando setores junto às paliçadas, após a instalação destas e do acúmulo de sedimentos em sua base. A espécie *Croton subpannosus*, que já se apresentava bastante frequente na área de contribuição superficial e no interior da ravina, se mostrou bastante presente junto a grande parte das estruturas, confirmando seu potencial para cobertura destas áreas.

Dentre as 17 espécies com maior frequência na área em estudo, sete foram consideradas de maior potencial para uso no projeto de estabilização da ravina. Estas espécies destacaram-se por características como: sobrevivência ao arranque com dano radicular, abundância de sementes, permanente colonização da área, adaptação ao estresse no ambiente de arenização, beleza estética, atração de meso fauna e insetos polinizadores, tolerância ao pisoteio do gado e boa resposta à propagação em estufa. A espécie vegetal que mais se destacou como colonizadora dos taludes instáveis foi a gramínea *Melinis repens* (Willd.) Zizca, sendo esta uma espécie naturalizada com grande desenvolvimento de sistema radicular, em relação a outras espécies como *Paspalum stellatum* e *Axonopus argentinus*. A gramínea *Melinis repens*, pode apresentar comportamento invasor, pois suas sementes têm a capacidade de serem dispersas pelo vento, a grandes distâncias da planta mãe, competindo de modo bastante agressivo com as comunidades naturais. De outra forma, *Melinis repens* também pode ser utilizado para corte, como feno, além de permitir sua utilização como pasto em áreas com baixa disponibilidade de forragem, apesar de apresentar baixa produção de matéria seca (SCHNEIDER, 2007). Na área de contribuição superficial da ravina destacaram-se as espécies nativas *Vernonia macrocephala* Less., *Croton subpannosus* Müll. Arg. ex Griseb, *Senecio cisplatinus* Cabrera, *Baccharis multifolia* A.S.Oliveira, Deble & Marchiori, *Tabernaemontana australis* Müll. Arg. e *Elyonurus* sp.

Destaca-se o capim-limão, *Elyonurus* sp., em relação ao parâmetro propagação vegetativa pelo ótimo desenvolvimento e florescimento em estufa, sendo selecionada como a espécie chave na composição das técnicas idealizadas para estabilização da ravina na primeira intervenção a campo. Vale destacar que as mudas de *Elyonurus* sp. estabelecidas a campo em talude sombreado não apresentaram desenvolvimento adequado. Já, para as mudas implantadas em talude ensolarado seu desenvolvimento foi satisfatório, mas inferior àquelas propagadas em estufa. De acordo com Nunes (2008) os principais fatores que influenciam no perfilhamento de gramíneas são a temperatura, a luz, a água e a nutrição mineral, sendo a intensidade luminosa o fator ambiental mais limitante na dinâmica de perfilhamento.

Mudas de *Croton subpannosus*, também apresentaram ótimo desenvolvimento e florescimento em estufa, mesmo após arranque com dano radicular e plantio após 24 horas de sua extração a campo. Esta espécie nativa destaca-se pelo seu potencial paisagístico e sistema radicular espesso e resistente.

As espécies *Baccharis multifolia* e *Vernonia macrocephala* semeadas em estufa não apresentaram germinação alguma. Testes e estudos mais acurados devem ser realizados, mas o resultado pode estar relacionado à época de coleta, já que muitas sementes apresentavam

herbivoria ou estavam secas. Dentre as espécies cultivadas por meio de estaquia, destacou-se *Sebastiania hispida* var. *interceedens*, havendo resistido por mais tempo em estufa e tendo apresentado, inclusive, folhas novas. As demais espécies, como *Croton subpannosus* e *Tabernaemontana australis* não apresentaram desenvolvimento em estufa, vindo a senecer em menos de 30 dias. Outras formas e técnicas de propagação devem ser pesquisadas, pois estas duas espécies apresentam características fundamentais tanto estética, quanto de adaptação em áreas onde se verifica a ação frequente de agentes erosivos hídricos e eólicos.

As respostas demonstradas pelos testes de propagação, a campo e em estufa, das espécies de maior frequência monitoradas previamente foram determinantes para escolha do capim-limão, *Elyonurus* sp., como espécie principal a ser utilizada em plantio em frente aos conjuntos de paliçadas, de modo a reforçar sua função nas barreiras mistas, de caráter mecânico-vegetativo (Quadros 11 e 12).

**Quadro 11.** Avaliação do desenvolvimento de mudas de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude instável da ravina, margem direita (MD).

<b>Talude sombreado (MD)</b> <b>Plantio de 20 mudas de <i>Elyonurus</i> sp. Em</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes – avaliação em 06/11/2011</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes - avaliação em 05/09/2011</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes - avaliação em 18/02/2012</b>
Próximo à estaca 2	08	5	7
Nº médio folhas verdes/muda	4,1	3,5	6,2

**Quadro 12.** Avaliação do desenvolvimento de mudas de *Elyonurus* sp. estabelecidas em talude instável da ravina, margem esquerda (ME).

<b>Talude ensolarado (ME) Plantio de 20 mudas de <i>Elyonurus</i> sp.</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes – avaliação em 06/11/2011</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes - avaliação em 05/09/2011</b>	<b>Quantidade de mudas com folhas verdes - avaliação em 18/02/2012</b>
Próximo à estaca 13	12	13	11
Nº médio folhas verdes/muda	7,6	5,1	7,9

Foram realizadas cinco avaliações com as 20 mudas de capim-limão (*Elyonurus* sp.) propagadas vegetativamente, desde sua extração a campo e plantio em estufa, (Anexo 4). Foi verificado, de modo geral, o progressivo aumento na quantidade total de folhas verdes emitidas no cultivo em ambiente protegido, além de apresentarem bom desenvolvimento quanto à expansão das lâminas foliares. A emissão de inflorescência das mudas cultivadas em estufa teve início na segunda quinzena do mês de outubro, coincidindo com o florescimento desta espécie a campo.

As mudas de *Melinis repens* propagadas em estufa iniciaram seu florescimento no mesmo período, apresentando um leve atraso em relação às mudas a campo, cuja emissão de panículas fora verificada já no final do mês de Setembro. Esta variação pode indicar a maior influência sobre esta espécie das condições ambientais verificadas a campo, como incidência de radiação solar direta, na indução do florescimento e melhor desenvolvimento das mudas. Apesar de ser uma espécie nativa da África e naturalizada nas condições ambientais brasileiras, a espécie *Melinis repens* demonstra ter um potencial de uso muito grande de uso na estabilização de taludes em ravinas desenvolvidas na região dos areais. Além de apresentar um desenvolvimento bastante superior em densidade do seu sistema radicular, esta espécie apresentou floração bastante frequente, em todas as estações do ano, com panículas de grande beleza estética e abundante colonização de taludes instáveis (Figuras 29 e 30).

Espécies naturalizadas são definidas como aquelas espécies exóticas, introduzidas de modo intencional ou acidental que acabam por colonizar o ambiente, perpetuando-se e sendo incorporadas à flora autóctone ou local (SCHNEIDER, 2007).



**Figura 29.** Arquitetura do sistema radicular de mudas de *Paspalum stellatum*, *Melinis repens* e *Axonopus argentinus*, propagadas em estufa.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 30.** Detalhe da inflorescência de *Melinis repens*.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

### 3.4 Conclusões parciais

Os métodos de delimitação, monitoramento e análise adotados neste projeto foram eficientes para fins de caracterização da ravina, da área de contribuição e das dinâmicas erosivas, contribuindo para a concepção das obras de estabilização projetadas para cada setor da feição morfológica.

A metodologia de obtenção, o traçado e a análise dos dados, bem como, a técnica de construção e implantação das estruturas a campo possibilitam sua adoção por pessoas dos mais diferentes níveis educacionais, não se restringindo aos profissionais altamente qualificados ou ao domínio de equipamentos com tecnologia avançada. A opção por uma metodologia e técnicas de caráter mais artesanal idealizadas para este projeto pode, no entanto, ser conjugada aos métodos mais modernos de mapeamento, monitoramento e recuperação de áreas degradadas, de modo a permitir um diálogo entre as diferentes partes envolvidas em um trabalho de estabilização de processos erosivos avançados.

Os materiais empregados para construção de paliçadas foram facilmente obtidos na propriedade, possibilitando a substituição por outros materiais de baixo custo disponíveis ao produtor, como ramos de eucalipto e sacos de aniagem. A fibra de juta, apesar de ser um material de fácil obtenção, pode apresentar alguns inconvenientes. Alguns estudos relatam que as colônias de bactérias decompositoras demoram a se instalar neste material, mas que após estabelecidas o decompõem rapidamente e de modo imprevisível. Para a Bioengenharia de solos, por exemplo, materiais com comportamento não previsíveis são indesejáveis, já que podem comprometer todo um projeto de recuperação em uma área degradada.

Quanto à diferença no estabelecimento das mudas de capim-limão nos taludes, o resultado pode ser atribuído ao fato de as mudas estabelecidas a campo ficarem, imediatamente, expostas às condições climáticas, especialmente rigorosas no inverno de 2011, logo após seu transplante. Observa-se a importância da insolação para desenvolvimento desta gramínea, bem como o número de perfilhos das mudas obtidas por divisão de touceiras quanto ao sucesso no estabelecimento a campo e da propagação em estufa (NUNES, 2008). A ausência de germinação nas espécies propagadas por sementes em estufa pode apresentar relação com o fenômeno de embrião nulo, *embryoless*, observado para algumas espécies da Família ASTERACEAE, como verificado para a *Vernonia bardanoides* (*Lessingianthus bardanoides* Less.) no Cerrado brasileiro (CURY, G. *et al.*, 2010).

O capim *Melinis repens* foi predominante e, até mesmo, exclusivo na colonização dos taludes instáveis, em todas as estações do ano. *Vernonia macrocephala*, *Croton subpanossus*,

*Baccharis multifolia*, *Senecio cisplatinus* *Elyonurus* sp. e *Tabernaemontana australis* colonizaram de modo permanente a área superficial de contribuição, ao entorno da ravina, *Sebastiania hispida* var. *interceedens* foi a única espécie registrada a colonizar a linha principal de escoamento, no canal da ravina, apresentando floração freqüente ao longo do ano.

No capítulo quatro serão apresentadas as propostas concebidas para intervenção técnica na área de monitoramento da ravina de acordo com a metodologia de trabalho adotada e os resultados parciais obtidos. Anteparos de caráter mecânico-vegetativos foram idealizados de modo que se pudesse obter o material no próprio local de trabalho, permitindo uma intervenção a campo de baixo custo, pouca necessidade de mão-de-obra, reduzido tempo de execução, boa resposta à ação dos agentes erosivos, além do baixo impacto estético e ambiental.

## CAPÍTULO IV

### 4. PROPOSIÇÕES TÉCNICAS E IMPLANTAÇÃO A CAMPO

*“... A realidade nos mostra que os esforços realizados até o momento, por alguns setores da sociedade para a preservação ambiental, não atingiram resultados satisfatórios. Isto pode ser atribuído ao complexo mundo dos ecossistemas que, além de ser o suporte da humanidade, é o grande meio da vida silvestre.”*

*(Ferreira et al. EMATER, 2000, p. 96)*

#### 4.1 Intervenções técnicas na área de estudo

Após a avaliação da dinâmica erosiva e do potencial de utilização da vegetação nativa, foram definidos: a) os pontos prioritários de intervenção na área de contribuição da ravina e área interna, b) as técnicas a serem implantadas e c) o material necessário para sua execução. A facilidade de execução, o baixo custo, o reduzido impacto estético e a possibilidade de emprego da vegetação nativa foram elementos determinantes na definição do tipo de intervenção técnica a ser realizada nos diferentes setores, e nas seções da ravina.

##### 4.1.1 Enrocamento

Nos primeiros metros da ravina (entre as estacas 4, 5, 8, 9 e 10), Figura 31, concentra-se o **enrocamento**, com diferentes níveis compostos por afloramentos de rocha onde o escoamento de água se dá de modo concentrado e com maior velocidade, tanto pela rocha exposta quanto pela maior inclinação, em relação ao setor de canal com taludes livres. O sedimento arenoso fica muito mais propenso à remobilização pela água, havendo grande transporte de sedimentos a jusante, após evento de precipitação. Neste setor optou-se pela implantação de paliçadas nos pontos de menor largura e com maior evidência de escoamento concentrado da água da chuva e mobilização de sedimentos.

Um conjunto com nove anteparos mecânicos composto por **paliçadas** e **biorretentores** de sedimentos foi instalado no interior e na área de contribuição da ravina em

sentido transversal ao escoamento. As paliçadas (Figura 32) foram confeccionadas com uso de varas de taquara nativa (*Bambusa taquara*) extraídas e cortadas na propriedade. Esta espécie pode atingir até 15 metros de altura e 7 cm de diâmetro (Figura 33).



**Figura 31.** Enrocamento com três conjuntos de paliçadas.  
Fotografia: Vagner Garcez Soares (2012).



**Figura 32.** Conjuntos de paliçadas confeccionados com bambu.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 33.** *Bambusa taquara*; espécie nativa comum na região e utilizada nas paliçadas.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2010).

Cada conjunto de paliçadas foi dimensionado de acordo com o local de instalação, apresentando diferentes larguras de vão. Sua fixação no solo foi em torno de 1/3 do comprimento total e por vezes muito difícil, principalmente em alguns pontos na seção do enrocamento. Paliçadas fixadas nas extremidades de modo vertical e compostas por um feixe disposto de modo horizontal (área de obstáculo ao movimento de partícula) podem se tornar mais frágeis em relação às paliçadas formadas somente por estacas dispostas verticalmente, lado a lado. No entanto, a dificuldade em fixar as varas de bambu tanto na área superficial quanto no interior da ravina tornou o primeiro modelo mais viável à implantação na área de estudo. As varas de bambu foram amarradas com cordão de sisal, sendo mantido uma distância de cerca de 2 – 3 cm entre elas, de modo que, depois de cobertas por manta de fibra de juta não opusessem demasiado bloqueio a passagem do vento, o que poderia contribuir para a sua desestabilização e o aumento do turbilhonamento na região a sotavento, com maior mobilização eólica de partículas inconsolidadas (Figura 34).



**Figura 34.** Paliçadas de bambu cobertas com manta de juta.

Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).

Os biorretentores de sedimentos foram assentados em um leito de palha, junto à face frontal\* inferior das paliçadas, variando para cada estrutura a quantidade deles que foi utilizada. Optou-se por utilizar somente material orgânico de fácil decomposição na confecção dos biorretentores de sedimentos, como folhas e ramos finos de taquara, ramos secos encontrados no campo, folhas secas e inflorescências de capim-limão, esterco seco e folhas de papel jornal, envoltos em juta e atados com sisal (Figuras 35, 36, 37 e 38).

Foram colocadas réguas de bambu para monitoramento do acúmulo de sedimentos na face frontal das paliçadas, posicionando-as no centro, entre os biorretentores e o feixe horizontal de varas, efetuando-se uma marca no ponto de sua inserção rente a superfície do solo. A cada aferição seguinte, deve-se primeiro marcar o ponto de acúmulo de sedimentos atual com uma caneta ou lápis, retirando-a do solo e medindo a diferença em relação à marcação anterior. Dessa forma, se obtém diretamente a quantidade de sedimentos acumulada na parte frontal da paliçada, em centímetros (cm).

\* denomina-se, para fins deste trabalho, face frontal da paliçada como aquela na qual a carga de sedimentos transportada por agentes hídricos e eólicos incide diretamente.



**Figura 35.** Coleta de material orgânico e confecção de biorretentores.  
Fotografia: Vagner Garcez Soares (2012).



**Figura 36.** Exemplo de material orgânico coletado a campo para  
confecção dos biorretentores.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 37.** Embalagem do material na forma de pacotes cilíndricos para confecção de um biorretentor de sedimentos.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).



**Figura 38.** Embalagem do material, amarrado com cordão de sisal e fechamento nas extremidades e no centro.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2011).

Em cada paliçada realizou-se o plantio de mudas de *Elyonurus* sp. (**capim-limão**) observando-se um espaçamento de 30 cm entre as mudas e as covas de plantio (Figuras 39 e 40). Como alternativa vegetal, pode-se consorciar ao capim-limão a sementeira e/ou plantio de *Lupinus albus* Hook & Arn., também conhecido como **tremoço** (Figura 41).

O tremoço é uma espécie leguminosa nativa do Rio Grande no Sul, pioneira nos campos de areais, de porte arbustivo, com grande beleza estética, elevada produção de sementes e alta taxa de germinação, além de possuir um sistema radicular em associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, que chega a atingir 1,5 m de profundidade (ROVEDDER, 2007). Além destas características, a autora observa que o tremoço é capaz de suportar elevadas densidades de semeadura, sem promover o estabelecimento de níveis prejudiciais de competição interespecífica. Apesar de não ser encontrada na propriedade em São Francisco de Assis, a espécie coloniza áreas com processo de arenização em municípios como Quaraí, Alegrete e Manoel Viana. No entanto, parece ser adequada à proposta inicial deste projeto de estabelecer ao menos uma espécie nativa de gramínea e uma espécie nativa leguminosa como primeira intervenção vegetativa junto às técnicas mecânicas. Ao se inserir o *Lupinus albescens* em uma área com criação animal, deve-se isolar a área, devido ao potencial tóxico dessa espécie quando ingerida. As mudas de *Elyonurus* sp. obtidas por divisão de touceiras mediam aproximadamente 10 cm de circunferência.



**Figura 39.** Muda de *Elyonurus* sp. a ser implantada em frente a uma paliçada.

Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 40.** Conjunto paliçada nº 1 + biorretentores de sedimento + plantio de mudas de *Elyonurus* sp. Elaboração: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 41.** Planta de *Lupinus* sp. (tremoço).  
Fonte: Google (2011).

#### 4.1.2 Barreiras físicas estabelecidas na área superficial

O ponto inicial da ravina dista 2m do cerro, podendo-se atribuir a formação de escoamentos concentrados devido às linhas preferenciais de fluxo da água da chuva formadas pelos falhamentos de encosta. Além disso, observa-se a pouca cobertura vegetal nesta face Noroeste do cerro, ocasionada pela maior exposição à insolação e ao ressecamento da vegetação. **Barreiras de pedra** foram implantadas na superfície, em pontos onde o escoamento superficial da água da chuva que desce a encosta do cerro encontra o substrato arenoso exposto, sem cobertura vegetal. Esta dinâmica causa grande distúrbio na área de contribuição e nas margens da ravina. Em três pontos distintos localizados junto ao vértice, na margem esquerda e direita da ravina, foram construídos anteparos físicos com fragmentos de rocha e fibras vegetais (juta e capim-limão). Estas foram intercaladas às camadas de material mineral para recondução de escoamentos superficiais e a promoção de aumento na infiltração da água retida pela estrutura.

A **primeira barreira** foi composta por camadas superpostas de pedra, intercaladas com folhas de capim-limão (*Elyonurus* sp.), disposta transversalmente ao escoamento e próxima ao vértice da ravina, distante 1m da parede do cerro (Figura 42).

A **segunda barreira** foi posicionada junto à seção inicial, na margem esquerda da ravina, onde se verificava muita movimentação de material pelo escoamento advindo da encosta, bem como pelo pisoteio do gado para acessar a pastagem na área de contribuição. Esta barreira teve a inserção de fibra de juta entre as camadas de pedra, de modo a aumentar a retenção de sedimentos e a difusão do escoamento de água em superfície (Figura 43).

A **terceira barreira** foi estabelecida somente com sobreposição de pedras, de modo paralelo à margem direita, entre as estacas 4 e 5 (Figura 44). Esta barreira teve como objetivo principal inibir o acesso do gado ao interior da ravina, sendo este um dos pontos preferenciais de acesso dos animais para chegar ao outro lado do campo.

Na última visita a campo, realizada em Fevereiro de 2012, foi verificado que o conjunto de paliçada dois (2) posicionado próximo ao ponto onde foi estabelecida a terceira barreira de pedra estava bastante danificado, com grande remobilização da margem pelo pisoteio do gado bovino. Em conversa com o proprietário da fazenda, Olnei Paz, em Novembro de 2011, foi ressaltada a importância fundamental de isolamento da área para a realização de qualquer intervenção destinada à estabilização de processos erosivos junto ao cerro. Apesar dele ter manifestado grande interesse em realizar uma intervenção técnica nas ravinas, e

concordar com a necessidade de isolamento da área, ainda permanece o livre acesso dos animais.



**Figura 42.** Construção da Barreira 1 composta por fragmentos de rocha com folhas de capim-limão (*Elyonurus* sp.) intercaladas, e alocada junto ao vértice da ravina.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 43.** Construção da Barreira 2 composta por fragmentos de rocha com fibra de juta intercalada, e alocada na margem esquerda da ravina.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).



**Figura 44.** Construção da Barreira 3 composta por fragmentos de rocha e estabelecida na margem direita da ravina.  
Fotografia: Carmem Lucas Vieira (2012).

Aponta-se como fundamental a realização de monitoramentos que devem ser realizados impreterivelmente nos dois primeiros anos após a intervenção técnica. Assim, pode-se avaliar o potencial das técnicas implantadas no controle da estabilização do processo erosivo, a efetiva contribuição dos anteparos na deposição de sedimentos e a colonização por espécies vegetais nativas, além do aumento de matéria orgânica na área de intervenção técnica.

#### **4.2 Análise quali-quantitativa da estabilização de processo erosivo**

Tendo como base o que foi idealizado inicialmente neste trabalho para estabilização de uma ravina em área acometida pelo processo de arenização em propriedade rural da Campanha gaúcha, a viabilidade da proposta será avaliada tendo como critérios fundamentais: a) a quantidade de material necessário para confecção das estruturas, b) facilidade de obtenção destes materiais, c) tempo de execução, d) mão-de-obra necessária, e) custo total dos materiais e f) os resultados positivos obtidos a campo após intervenção na área.

##### *4.2.1 Síntese dos experimentos aplicados a campo*

A intervenção na área de estudo contemplou um total de nove conjuntos de **paliçadas** e três **barreiras físicas de pedra**.

No *Quadro 13* estão descritos os conjuntos de paliçadas, com a respectiva identificação, material utilizado e área mobilizada.

No *Quadro 14* encontram-se relacionadas, da mesma forma, as barreiras de pedra implantadas na área de estudo.

**Quadro 13.** Descrição quali-quantitativa dos nove conjuntos de paliçadas estabelecidos nas seções 1 e 2 da ravina.

Identificação	Técnica	Material para confecção
<p><b>Conjunto 1</b> - Paliçada com 1,65 m<sup>2</sup> (1,65m vão x 1m altura) Posicionada a 1m da pedra referencial, no ponto inicial de aprofundamento do sulco.</p>	<p>Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.</p>	<p>13 varas de <i>Bambusa taquara</i>, cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.</p>
<p>- Biorretentores de sedimentos</p>	<p>Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.</p>	<p>três retentores Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.</p>
<p>- Barreira vegetal</p>	<p>Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.</p>	<p>Sete mudas de capim-limão (<i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência cada uma.</p>

<p><b>Conjunto 1.a</b></p> <p>- Paliçada com 0,48 m<sup>2</sup> (0,48m vão x 1m altura)</p> <p>Posicionada ao lado, a 1,80m da paliçada 1, no ponto inicial de aprofundamento do sulco.</p>	<p>Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.</p>	<p>Seis varas de <i>Bambusa taquara</i>, cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.</p>
<p>- Biorretentores de sedimentos</p>	<p>Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.</p>	<p>um retentor</p> <p>Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.</p>
<p>- Barreira vegetal</p>	<p>Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.</p>	<p>uma muda de capim-limão (<i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência.</p>
<p><b>Conjunto 2</b></p> <p>- Paliçada com 0,73 m<sup>2</sup> (0,73m vão x 1m altura)</p> <p>Posicionada a 6,65m da paliçada 1.b, no ponto inicial do enrocamento.</p>	<p>Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.</p>	<p>15 varas de <i>Bambusa taquara</i>, cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.</p>
<p>- Biorretentores de sedimentos</p>	<p>Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e</p>	<p>um retentor</p> <p>Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.</p>

	firmados com pedra, na base frontal da paliçada.	
- Barreira vegetal	Não foi implantada por já haver colonização por espécies nativas	
<b>Conjunto 3</b> - Paliçada com 0,52m <sup>2</sup> (0,52m vão x 1m altura) Posicionada a 2,15m da paliçada 2, no terço inicial do enrocamento.	Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.	13 varas de <i>Bambusa taquara</i> , cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.
- Biorretentores de sedimentos	Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.	dois retentores Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.
- Barreira vegetal	Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.	uma muda de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência.
<b>Conjunto 4</b> - Paliçada com 0,72m <sup>2</sup> (0,72m vão x 1m altura) Posicionada a 2,04m da paliçada 3, no terço médio do enrocamento.	Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.	14 varas de <i>Bambusa taquara</i> , cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.
- Biorretentores de sedimentos	Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro)	dois retentores Fibra de juta, cordão de sisal,

	preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.	esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.
- Barreira vegetal	Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.	três mudas de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência cada uma.
<b>Conjunto 5</b> - Paliçada com 1,12m <sup>2</sup> (1,12m vão x 1m altura) Posicionada a 3,9m da paliçada 4, no terço médio de talude instável, na margem direita da ravina.	Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.	13 varas de <i>Bambusa taquara</i> , cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.
- Biorretentores de sedimentos	Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.	dois retentores Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.
- Barreira vegetal	Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.	10 mudas de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência cada uma.

<p><b>Conjunto 6</b></p> <p>- Paliçada com 1,14m<sup>2</sup> (1,14m vão x 1m altura)</p> <p>Posicionada a 2,60m da paliçada 5, no terço médio do enrocamento.</p>	<p>Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.</p>	<p>15 varas de <i>Bambusa taquara</i>, cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.</p>
<p>- Biorretentores de sedimentos</p>	<p>Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.</p>	<p>um retentor</p> <p>Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.</p>
<p>- Barreira vegetal</p>	<p>Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.</p>	<p>duas mudas de capim-limão (<i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência cada uma.</p>
<p><b>Conjunto 7</b></p> <p>- Paliçada com 0,72m<sup>2</sup> (0,72m vão x 1m altura)</p> <p>Posicionada a 3,0m da paliçada 6, no terço final do enrocamento.</p>	<p>Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.</p>	<p>14 varas de <i>Bambusa taquara</i>, cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.</p>
<p>- Biorretentores de sedimentos</p>	<p>Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base</p>	<p>um retentor</p> <p>Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.</p>

	frontal da paliçada.	
- Barreira vegetal	Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.	uma muda de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência.
<b>Conjunto 8</b> - Paliçada com 1,14m <sup>2</sup> (1,14m vão x 1m altura) Posicionada a 8m da paliçada 7, no terço médio de talude instável, margem direita da ravina.	Conjunto horizontal de estacas paralelas, atadas com sisal, cobertas com juta, e firmadas em estacas duplas verticais posicionadas nas extremidades.	16 varas de <i>Bambusa taquara</i> , cordão de sisal (5 mm espessura), fibra de juta.
- Biorretentores de sedimentos	Anteparos cilíndricos de juta (0,35m de diâmetro) preenchidos com material orgânico, assentados em leito escavado a 1/3 do seu diâmetro forrado com palha e firmados com pedra, na base frontal da paliçada.	um retentor Fibra de juta, cordão de sisal, esterco seco, ramos e folhas secas, jornal, palha.
- Barreira vegetal	Mudas de vegetação nativa plantadas em frente à paliçada – espaçamento 30 x 30 cm.	quatro mudas de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.) com cerca de 10 cm de circunferência cada uma.

\* A medida da distância entre as paliçadas é tomada a partir de pontos localizados no centro da estrutura, seguindo o traçado do escoamento principal.

**Quadro 14.** Descrição quali-quantitativa das barreiras posicionadas na seção 1 da ravina.

<b>Identificação</b>	<b>Local de Implantação</b>	<b>Material para confecção</b>	<b>Dimensões</b>
Barreira 1 – transversal	Próximo ao vértice – estaca 7.	Fragmentos rochosos ‘pedras’ intercalados com folhas de capim-limão ( <i>Elyonurus</i> sp.).	0,65m de comprimento x 0,30m de largura x 0,30m de altura.
Barreira 2 – em ‘L’	Próximo à pedra referencial – margem esquerda (ME).	Fragmentos rochosos ‘pedras’ intercalados com fibra de juta.	2,10m de comprimento x 1,25m de largura x 0,30m de altura.
Barreira 3 – longitudinal	Próximo à pedra referencial – margem direita (MD).	Fragmentos rochosos ‘pedras’ somente.	2,80m de comprimento x 0,30m de largura x 0,30m de altura.

Os materiais e ferramentas utilizados para monitoramento da ravina e implantação das estruturas mecânico-vegetativas a campo foram fornecidos pelo Programa de Pós-graduação em Geografia e/ou obtidos na propriedade, como listado no *Quadro 15* (Anexo 5). No entanto, caso não haja disponibilidade, devem ser previamente listados e computados nos custos gerais do projeto. Todas as intervenções técnicas a campo foram realizadas por duas pessoas. Para fins de otimização das tarefas, no entanto, recomenda-se que seja disponibilizado, dentro do possível, a mão-de-obra de quatro pessoas trabalhando de modo conjunto.

De acordo com os dados relacionados no *Quadro 16* (Anexo 6), pode-se verificar o reduzido tempo mobilizado para execução das atividades técnicas a campo. Dessa forma, pode-se concluir que, em termos de tempo, a execução da proposta desenvolvida nesta Dissertação não se torna limitante para uma propriedade rural, sendo bastante exequível.

No *Quadro 17* (Anexo 7) encontra-se listado o material utilizado para confecção do conjunto de paliçadas e barreiras mecânicas de pedra, seguido da relação de custos com valores praticados em Porto Alegre nos anos de 2011-2012.

A maior dificuldade para implantação das paliçadas foi o corte e a mensuração das varas de bambu, bem como o seu posterior transporte até o local de estudo. O acesso contínuo de uma caminhonete ou qualquer outro veículo muito próximo à ravina poderia ocasionar remoção de cobertura vegetal, e aumento nos pontos com solo descoberto e de influência nesta feição morfológica. Dessa forma, as varas de bambu já cortadas foram amarradas em feixes e puxadas/deslizadas até seu ponto de utilização junto à ravina. O trabalho de corte e transporte das varas demandou bastante esforço físico, ao menos para quem não está acostumado ao trabalho diário no campo. Algumas paliçadas tiveram seu ponto de inserção deslocado em relação ao ponto original definido, em função da impossibilidade de fixação pela presença de rocha a cerca de 10-15 cm da superfície do solo. As varas de bambu, após desidratadas, reduziram bastante sua largura, o que demandou ajustes nos vãos entre as varas que compunham o feixe horizontal das paliçadas, antes de sua cobertura com uma manta de juta. Verificou-se que o amarrão das varas em '8' entre as varas do feixe horizontal torna mais prático e otimiza a instalação das estruturas a campo. Esta amarração consumiu menos material em relação a uma amarração individual de cada vara de feixe horizontal na estrutura de fixação vertical. Foi necessário, entretanto um reforço das primeiras e últimas varas do feixe horizontal, fixando-as na estrutura vertical, para evitar sua soltura e prejuízo às varas intermediárias do conjunto (feixe) horizontal. Deve-se ter o cuidado de não deixar o ponto sem nó do bambu virado para cima. Esta posição facilitaria o acúmulo de água no seu interior, a colonização por formigas, e a redução drástica na vida útil do bambu.

A implantação das barreiras de pedra deve ser facilitada com o uso de um carrinho-de-mão, por exemplo, tendo-se o cuidado de não formar uma trilha para coleta e transporte dos fragmentos de rocha depositados na encosta do Cerro.

Os Biorretentores de sedimento devem ser primeiramente assentados em um leito de palha, na forma de meia-lua, e escavado a uma profundidade de 1/3 de sua circunferência, aproximadamente. Este procedimento evita que a água da chuva em escoamento escave por debaixo do anteparo, aumentando a erosão neste ponto. Deve-se ter o cuidado de não deixar espaço entre os retentores ao dispô-los na base das paliçadas, de modo a não formar caminhos preferenciais para escoamento concentrado da água. Reforços de palha e fragmentos de pedra devem ser colocados nas extremidades das paliçadas, já que, a água, ao encontrar resistência ao escoamento através dos biorretentores, tende a se deslocar pelas 'bordas' e escavar canais nestes pontos. Além de materiais orgânicos secos, pode-se utilizar semente de espécies nativas para compor os biorretentores, sempre que possível. A germinação destas sementes promoverá

o fortalecimento das estruturas ao impacto direto da água, será sítio de colonização para a micro e mesobiota, além de aumentar o aporte de matéria vegetal na área em tratamento.

Como produto final, verificou-se que o aspecto estético das paliçadas instaladas a campo se integrou à paisagem com muito menos impacto visual se comparado a outras técnicas que preconizam o preenchimento de feições erosivas com pneus e/ou rejeitos de construção civil. A paliçadas compostas somente de varas de bambu apresentaram uma certa fragilidade estrutural, apesar do significativo acúmulo de sedimento junto à base. Fica claro o potencial de utilização destas técnicas para a área de estudo, com a necessidade, no entanto, de serem aprimoradas com base, por exemplo, na Bioengenharia de Solos e no uso de material mais resistente, como ramos de espécies arbóreas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto se desenvolveu sobre um caráter experimental, de acordo com a proposta de gerar alguma metodologia e/ou técnica com possibilidade de emprego imediato e fácil apreensão, adaptação e difusão local. Recomendamos, entretanto, que ao se tratar com processos erosivos de grandes magnitudes, seja feita uma intervenção mais criteriosa, cuidadosa e especializada, com profissionais habilitados para esta tarefa.

De acordo com os monitoramentos da dinâmica erosiva, foi possível concluir que:

1. a maior mobilidade de sedimentos ocorreu nos taludes e ao longo do canal da ravina, sobre a ação do escoamento difuso e concentrado das águas da chuva;
2. na área de contribuição ao processo erosivo, a mobilização de sedimentos proveniente do escoamento da água em superfície foi pouco significativa. Isso se deve, possivelmente, pelo fato de as manchas de solo descoberto não serem contínuas e, sim, de modo disperso e desconectadas umas das outras, havendo cobertura vegetal entre elas;
3. o terço inicial da ravina apresentou maior mobilização de sedimentos devido, principalmente, ao trânsito animal;
4. o terço final da ravina apresentou maior deslizamento de material proveniente dos taludes na margem esquerda, mais ensolarada. Este fato pode estar relacionado a um maior ressecamento das partículas minerais, predispondo-as à ação direta do vento e da chuva;
5. os degraus internos se formam, principalmente, a partir de material deslizado dos taludes localizados na margem esquerda, somado ao material mineral carreado através do canal, não apresentam comportamento estático após sua deposição. A escassa coesão entre as partículas carreadas e depositadas em diferentes pontos no interior da ravina deixa-as sujeitas às constantes ações de desagregação, transporte e deposição pelos fluxos concentrados diretos.
6. Após 3 meses de instalação das paliçadas e dos biorretentores, o acúmulo de sedimentos junto às estruturas foi bastante significativo, atingindo mais de 10 cm em alguns pontos.

Em relação aos testes de propagação com as espécies vegetais nativas e o seu monitoramento a campo, verificou-se que:

1. A espécie *Elyonurus* sp. respondeu muito bem a propagação vegetativa por divisão de touceira conduzida em estufa;
2. As espécies *Croton subpannosus* e *Tabernaemontana australis* não resistiram aos testes de propagação por estaquia por mais de 30 dias;
3. *Sebastiania hispida* var. *interceedens* respondeu positivamente ao início dos testes por meio de estaca sendo o experimento interrompido, infelizmente, por acidente externo. Essa espécie se caracterizou por ser a única a colonizar o canal principal com escoamento concentrado de fluxo no interior da ravina;
4. *Senecio cisplatinus* apresentou ótimo desenvolvimento em estufa após ser extraído do campo, vindo, inclusive, a florescer na mesma época que as plantas em seu local de origem;
5. *Melinis repens* demonstrou ser, ao longo de todo o período de avaliação a campo, a espécie predominante na colonização de taludes instáveis e, até mesmo, nos setores onde o deslizamento de material era bastante recente;
6. *Elyonurus* sp., *Baccharis multifolia* e *Vernonia macrocephala* foram as espécies predominantes quanto à colonização na área superficial, de contribuição à ravina;
7. *Baccharis multifolia*<sup>a</sup>, *Senecio cisplatinus* e *Vernonia macrocephala*<sup>b</sup>, caracterizaram-se pela grande beleza e potencial para uso ornamental, além da abundante produção de sementes (a e b) e colonização da área superficial adjacente à ravina. Faz-se necessário aprofundar os estudos para coleta e utilização de suas sementes para revegetação de áreas descobertas nos areais.
8. Houve rápida e diversificada colonização pela vegetação nativa sobre os sedimentos acumulados junto às estruturas.

O uso de espécies vegetais nativas aliado ao emprego de materiais inertes em obras destinadas à estabilização e inativação de processos erosivos avançados do tipo ravinamento se apresentou como uma alternativa promissora para a composição de técnicas de menor impacto ambiental, a serem utilizadas na estabilização de áreas instáveis nos campos com arenização no sudoeste do RS. O emprego de espécies nativas ou naturalizadas adaptadas às condições de estresse do meio, típicas das áreas onde ocorre o processo de arenização, colabora enormemente para o sucesso das técnicas adotadas. As espécies nativas ou naturalizadas na

região dos areais são capazes de colonizar os solos arenosos e as formações superficiais francamente arenosas, contribuindo para o resgate de atributos estéticos da paisagem e das funções ecológicas de áreas degradadas com presença de ravinas. Uma espécie exótica que pode ser bastante positiva no auxílio à estabilização de ravinas, voçorocas e areias no sudoeste do Rio Grande do Sul é o capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), de uso já bastante consagrado mundialmente, na recuperação de áreas degradadas (VIETMEYER, 1993; GRINSHAW, 1994; COELHO E PEREIRA, 2006; PEREIRA, 2006; TRUONG, 2006; TRUONG *et al.*, 2008; SOUZA, 2011). Esta espécie apresenta inúmeras características positivas, como um sistema radicular extremamente resistente à ação de forças externas que pode atingir até cinco metros de profundidade em solos arenosos, biotactismo positivo, alta resistência à salinização e à baixa fertilidade do solo, sementes estéreis e única forma de propagação por divisão de touceiras, resistência à seca e solos contaminados por metais pesados, resistência à queimadas e baixa palatabilidade animal, com fácil erradicação após implantada e ausência de comportamento invasor. O desenvolvimento de experimentos comparativos utilizando espécies que apresentaram boas perspectivas de uso na área de estudo, como *Elyonurus* sp e *Melinis repens*, associadas ao uso do capim vetiver e do tremoço podem gerar boas respostas na estabilização e revegetação dos taludes instáveis de ravinas e voçorocas, controle de erosão hídrica, e estabilização dos areais na Campanha gaúcha.

Quanto à implantação dos conjuntos de paliçadas a campo, verificou-se que o custo total de implantação das técnicas foi extremamente baixo, se comparado a técnicas que utilizam materiais como biomantas, telas sintéticas, concreto, mix com sementes de espécies exóticas, entre outras. Dessa forma, fazendo uma análise comparativa, do tempo necessário, mão-de-obra empregada, quantidade e tipo de material requerido com os resultados preliminares obtidos, o conjunto de paliçadas e barreiras de pedras se mostrou extremamente viável como uma proposta inicial de estabilização de ravinas em áreas com arenização.

Certos de que estes experimentos representam o início de um objetivo maior que deve ser desenvolvido para estabilização de processos erosivos em áreas com o processo de arenização no sudoeste do RS, não pretendemos aqui gerar uma recomendação técnica definitiva. Muitas questões merecem ainda ser aprimoradas, pesquisadas com maior profundidade, e testadas em um maior período de tempo, para que se possa gerar respostas efetivas ao problema de ravinas e voçorocas associados aos areais no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos e aqui demonstrados, no entanto, se configuram como pontos de partida bastante promissores, sobretudo, quanto à viabilidade na geração de um programa regional que apresente baixo custo em todas as etapas de execução, fácil emprego e

difusão local, além de contribuir para a interação entre profissionais, proprietários rurais, estudantes, técnicos e educadores ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. Um plano diferencial para o Brasil, Projeto Floram. In: **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, vol. 4, 1990. p. 19-62.

AB'SABER, A.N. A revanche dos ventos: derruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. In: **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, n. 11, p. 7 – 32, jul./dez, 1995.

ARAÚJO, A.; SANTOS, M.F.V.; MEUNIER, I.; RODAL, M.J. **Desertificação e Seca: Contribuição da Ciência e da Tecnologia para a Sustentabilidade do Semi-árido do Nordeste do Brasil**. Recife: Gráfica e Editora do Nordeste Ltda, 2002, 63 p. : il.

AZEVEDO, A.C. & KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no RS. In: **Ciência & Ambiente**. Santa Maria, n. 11, p. 65-70, jul./dez, 1995.

BARBOSA, L.M.; SANTOS JUNIOR, N.A. dos. (Orgs). **A Botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais**. B238a. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 2007. 680 p.

BELLANCA, E.T. **Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul. RS**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BOLDRINI, I.I.; FERREIRA, P.M.A.; ANDRADE, B.O.; A.A.S.; SETUBAL, R.B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E.M.F. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010. 64 p: il.

BONONI, V.L.R.; PAIVA, I.C.P.S.B.R. Degradação Ambiental Urbana: Voçoroca do Conjunto Habitacional Taquaral Bosque, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios Atuais e Futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011. p. 191 – 200.

CASAGRANDE, J.C.; SOARES, M.R. Recuperação de Solos Degradados: Interação Solo – Planta. In: **Anais do 58º Congresso Nacional de Botânica**. A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil. 2007. 680 p.

CORDEIRO, C.A. e SOARES L.C. **A Erosão nos solos arenosos da região sudoeste do Rio Grande do Sul**. (1975). Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro: Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, SUPREN da Diretoria Técnica do IBGE. vol. 4, nº 39, p. 32 – 50, 1975.

CURY, G.; NOVENBRE, A.D.L.C.; GLÓRIA, B.A. (2010). **Seed Germination of *Chresta sphaerocephala* DC. and *Lessingianthus bardanoides* (Less.) H. Rob. (Asteraceae) from Cerrado**. Braz. Arch. Bio. Technol., **53**, 1299-1308, ISSN 1516-8913.

D'AGOSTINI, L.R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 131 p.

DRESCHER, J.R.; HORN, R. & BOODT, M. de (Editors). **Impact of water and external forces on soil structure**. CATENA SUPPLEMENT, vol.11, 171 p.: il, 1998.

DURLO, M.A. & SUTILLI, F.J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre: EST Edições, 2005. 189 p.: il.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics and geomorphic implications of erosion by surface flow. In: GUERRA, A.J.T. *et al.* (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.: il.

EVERS, H. **Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de areais no SO/RS**. 2010. Trabalho de conclusão (curso de graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FENGLER, F.H.; PECHE FILHO, A. Ênfase na Determinação de Perdas de Solo em Função da necessidade de Restauração da Superfície. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios Atuais e Futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011. p. 191 – 200.

FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A.; STRECK, E.V. (Coords.). **Solos: manejo integrado e ecológico – elementos básicos.** Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95 p.: il.

FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M. **Apostila Técnica de Estabilização de Voçorocas.** Nazareno: Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável, 2009, 20 p.

FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M. **Maria de Barro Tecendo a Rede Voçorocas.** Nazareno: Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável, 2009, 84 p.

FLORES, C.A. (Org.). **Levantamento Semidetalhado de Solos: Região da Campanha, Folha Palomas, Estado do RS.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

FREITAS, E.M. **Arenização e Fitosociologia da Vegetação de Campo no Município de São Francisco de Assis, RS.** 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FREITAS, E.M.; BOLDRINI, I.I.; MULLER, S.C.; VERDUM, R. Florística e Fitosociologia de um campo sujeito à arenização no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Acta Bot. Bras.** São Paulo, v. 3, n 2, p. 414 – 416, apr./jun. 2009.

FREITAS, E.M. **Campos de Solos Arenosos do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Aspectos Florísticos e Adaptativos, RS.** 2010. 171 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FREITAS, E.M.; TREVISAN, R.; SCHNEIDER, A.A.; BOLDRINI, I.I. Floristic of sandy soil grasslands in southwestern Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências,** Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 112-130, jan./mar, 2010.

FUJIMOTO, N.S.V.M.; GONÇALVES, F.S.; ZANCANARO, C. Caracterização das Formas de Relevo em Degraus de Abatimento nos Municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis, Região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** nº 11, p. 69-74, 2010.

GALETI, P.A. **Práticas de Combate à Erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de ensino Agrícola, 1984, 278 p. il.

GOMES, D.J.S.; CARLOS, L.; CARMO, I.E.P. Vegetação Regenerante como Indicador de seleção de espécies para Recuperação de uma Voçoroca em Itumirim, MG. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios Atuais e Futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011. p. 271.

GUASSELLI, L.A.; EVERS, H.; OLIVEIRA, M.G.; SUERTEGARAY, D.M.A. Definições dos padrões de formas das vertentes relacionadas com a ocorrência de areais, através de dados geomorfométricos, em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí-RS. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, 2009, p. 3867 -3874.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.: il.

GUERRA, A.J.T; MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009, 190 p.: il.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKI, P. **O Manual de Deslizamento: Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos**. Virginia, Reston,:U.S Geological Survey, 2008. 156 p.

KLAMT, E. Solos arenosos da região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994, p. 19 –37.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: **Revista Ciência & Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, n. 11, 71-80, jul/dez, 1995.

LINDMAN, CAM. **A vegetação do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Livr. Echenique, 1906.

LOPES, R.P. **Mudanças Climáticas e Ambientais entre o Pleistoceno Tardio e o Holoceno da América do Sul**. 2010. Qualificação para Doutorado – Instituto de Geociências, Programa

de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LUCENA, L. Bioengenharia de Solos e RAD (Recuperação de Áreas Degradadas): regularização & proteção de corpos de água e estabilização de taludes e encostas. **Apostila técnica**. Porto Alegre: Deflor/Transpetro, 2010, 20 p.

MARCHIORI, J.N.C. Vegetação e Areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: **Revista Ciência & Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, n. 11, p. 81-92, jul/dez, 1995.

MARCHIORI, J.N.C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004, 110 p.: il.

MEDEIROS, E.; ROBAINA, L.E.S.; CABRAL, I.L.L. Degradação Ambiental nos Campos do Oeste do Rio Grande do Sul. In: **Revista Ciência & Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, n. 11, p. 53-64, jul/dez, 1995.

MÓSENA, M. Agricultura em áreas frágeis: As transformações decorrentes do processo de arenização em São Francisco de Assis. 2008. 175 f. – Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do RS: um estudo em Bacias Hidrográficas**. 2009. 230 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NUNES, A.C.G.S. **Coleta e prospecção em herbários e estudos sobre propagação vegetativa de capim-limão (*Elyonurus* sp.)**. 2008, 99 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (Orgs.). **Erosão e**

**Conservação dos Solos:** Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, pg. 57-100.

PAIVA, I.C.; RONDA, P.S.B. Degradação Ambiental em Áreas Urbanas – Caso da Voçoroca do Conjunto Habitacional Taquaral Bosque em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. In: BARBOSA, L.M, (Org.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica:** desafios Atuais e Futuros. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011, p. 308.

PAULA, P.M.; ROBAINA, L.E.S. **Mapeamento de Unidades Geológicas-Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande/RS.** São Paulo: UNESP, Geociências, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo:** a Agricultura em regiões tropicais. São Paulo: NOBEL, 2002. 550 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul:** ensaio de monografia natural. 3ed. São Leopoldo: UNISINOS, 2000, 473 p.

ROBAINA. L.E.S. Degradação Ambiental no Centro-oeste do Rio Grande do Sul. In: **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 11, jul./dez. 1995.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-75. 1994.

ROVEDDER, A.P.M. **Potencial do *Lupinus albescens* Hook & Arn. para Recuperação de Solos Arenizados no Bioma Pampa.** 2007. 147 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Rurais, PPG em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTOS, H.G. dos (Editor técnico). **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.** 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.: il.

SCHERER, C.M. dos S.; FACCINI, U.F. & LAVINA, E.L. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: **HOLZ, M. & ROS. (Orgs.)** Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000, p. 335 – 354.

SCHNEIDER, A.A. A Flora Naturalizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Herbáceas Subespontâneas. Rev. bras. Bioc. Porto Alegre, v. 15. 2, p. 257-268, jul. 2007.

SCOPEL, I.; SOUSA, S.M.; PEIXINHO, D.M.; **Indicações para uso e manejo de solos arenosos no Sudoeste de Goiás**. Jataí: Gráfica Rápida, 2011. 28 p.

SELBY, M.J. Hillslope sediment transport and deposition. In: GUERRA, A.J.T. *et al.* (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340 p.: il.

SHIRASUNA, R.T & FILGUEIRAS, T.S. Gramíneas (Poaceae) Nativas para Restauração de Áreas Degradadas. In: BARBOSA, L.M. (Coord.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios Atuais e Futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011. p. 246.

SILVA, D.L.M. **Microclima e Bioindicadores Paleoclimáticos em Paisagens com Ocorrência de Areais em São Francisco de Assis, RS**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SOLERA, M.L; GALLARDO, A.L.C.F. Inovações em recuperação de Áreas degradadas de Mineração de Agregados: Técnicas de bioengenharia de Solos e Avaliação de Serviços Ambientais. In: BARBOSA, L.M. (Coord.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: desafios Atuais e Futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica, SMA, 2011. p. 249.

SOUTO, J.J.P. **Deserto, uma ameaça?** Estudo dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do RS. Porto Alegre: DRNR – Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1985. 169 p.

STRECK, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002, Il.:107 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. **A Trajetória da Natureza: Um estudo Geomorfológico sobre os Areais e Quaraí – RS**. 1987. 243 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUERTEGARAY, D.M.A. O Rio Grande do Sul descobre seus “desertos”. In: **Revista Ciência & Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, n. 11, p. 33 – 52, jul/dez. 1995.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia**. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS, 1998. 109 p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. **Atlas da Arenização – sudoeste do Rio Grande do Sul**. 01. ed. Porto Alegre: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e meteorologia e governo do Rio Grande do Sul, 2001. 84 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. (Org). **Terra: feições ilustradas**. 3ª ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2008. p 264; il.

TRINDADE, J.P.P. **Processos de degradação e regeneração da vegetação campestre do entorno de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2003. 161 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, PPG em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VERDUM, R. **Approche géographique des “deserts” dans les communes de São Francisco de Assis et Manoel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997. 210 f. Tese (doutorado) – Université de Toulouse Le Mirail, UFR de Géographie et Aménagement, Toulouse.

VERDUM R., BASSO L. A. Arenização na campanha gaúcha: mudanças na produção e degradações dos solos e das águas superficiais. In: **X Congresso Mundial de Sociologia Rural e XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**. Rio de Janeiro, 2000, 9 p.

VERDUM R. Un cas spectaculaire du grand ravin Oliveira. In: **GAZELLE F. (Org.) Mélanges des Études Hydrologiques**. Toulouse: Geode & Office International de l'Eau, 2003, p. 94-106.

VERDUM R. Depressão Periférica e Planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: **VERDUM R., BASSO L.A., SUERTEGARAY D.M.A. (Orgs.)**. Rio Grande do

Sul - paisagens e territórios em transformação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004, 1 ed., v. 1., p. 39-57.

VERDUM, R.; SOARES, V. G. Dinâmica de processos erosivos/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais, sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Anais do VIII SINAGEO**. Recife, 2010. p. 01-12.

## 7. BIBLIOGRAFIA DE APOIO

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Simpósio sobre o Controle de Erosão**: Trabalhos apresentados. Curitiba, 1980. 213 p.: il.

AMARAL, R. do; GUTJAHR, M.R. **Desastres Naturais**: Cadernos de Educação Ambiental. São Paulo: IG/SMA, 2011. 100 p. n° 8.

ANDRADES F<sup>o</sup>., OLIVEIRA, C.; SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A. **Atualização do mapeamento e quantificação dos areias do sudoeste do RS através de imagens LANDSAT TM**. 17º Salão de Iniciação Científica da UFRGS. Out, 2005.

BROLLO, M.J (Org.). **O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais**. 1 ed., 2ª Reimpressão, São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 100 p.: il.; color.

COELHO, A.T.; PEREIRA, A.R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Belo Horizonte: Boletim técnico DEFLOR – Bioengenharia, ano 01, n° 002, 2006. 19 p.

FAO. La Erosion del Suelo Suelo por el Agua: Algunas medidas para combartirla em las tierras de cultivo. In: **Colección FAO**: Fomento de tierras y agua – Cuadernos de fomento agropecuario. Segunda impresión. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1967. 207 p.: il.

FAO. Legislative Principles of Soil Conservation. In: **FAO Soils Bulletin**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1972, 68 p.

GRIMSHAW, R. Vetiver grass: its use slope and structure stabilization under tropical and semi-tropical conditions. In: **Vegetation and Slopes**. Londres: Institution of Civil Engineers, 1994. p. 26 – 35.

HOLANDA, F.S.R.; ROCHA, I.P.; OLIVEIRA, V. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. In: **Revista Brasileira de**

**Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande: UAEAg/UFCG, v. 12, n. 6, p570-575, 2008.

LEAN, G.; HINRICHSEN.; MARKHAN, A. **Atlas do Meio Ambiente – World Wide Foundation (WWF).** São Paulo, nº 10, 1997, 160 p.

MORROW, R. **Permacultura passo a passo.** São Paulo: IPEC, 1993. 155 pg.

NUNES, J.O.R; ROCHA, P.C. **Geomorfologia: aplicação e metodologias.** 1 ed. São Paulo: Expressão Popular: UNESP, 2008, 192p.

PEREIRA, A.R. **Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas.** Belo Horizonte: Boletim técnico DEFLORE – Bioengenharia, ano 01, nº 003, 2006. 20 p.

PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Solos Altamente Suscetíveis à Erosão.** Jaboticabal: FCAV – UNESP/SBCS, 1994, 253 p.

PORTO, M.L. **Comunidades Vegetais e Fitossociologia:** Fundamentos para avaliação e manejo de ecossistemas. Porto Alegre: UFRGS, 2008, 240 p.: il

SOUZA, R.X.; PEREIRA, M.W.M; PINTO, L.V.A.; FERREIRA, J.A. Análise da eficiência do capim vetiver para proteção de encostas: quantificação da perda de solo por erosão hídrica. In: **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** Londrina, 2011. 5 p.

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. In: **Ciência Florestal**, vol. 14, nº 001, Santa Maria: UFSM, 2004, p. 13-20.

SUTILI, F.J. **Bioengenharia de Solos no Âmbito Fluvial do Sul do Brasil.** 2007. 95 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil e Perigos Naturais, Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, Universidade Rural de Viena, Áustria.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; ROSANGELA do (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** 1. ed., 2ª reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 196 p.: il.; color.

TRUONG, P. ; VAN, T.T. ; PINNERS, E. **The vetiver system for slope stabilization** : an engineer's handbook. Proven and green Environmental Solutions. 1 ed. Thailand : The Vetiver Network International, 2008. 89 p.

TRUONG, P. **El Sistema vetiver** : aplicaciones potenciales en Latinoamerica. Maracay, Venezuela : Boletín Vetiver, Red Latinoamericana del Vetiver, 2006. p. 6 – 12.

VIETMEYER, N. D. (Scientific editor). **Vetiver grass: a thin green line against erosion**. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Washington DC, USA: National Academy Press. 1993. 171 p.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Especificações para testes de semeadura com espécies nativas conduzidos em estufa entre os meses de Junho e Setembro de 2012.

<b>TESTES - Semeadura - coleta do material vegetal em 11/06/2011</b>
<b>1. <i>Vernonia macrocephala</i></b>
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de terra preta: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros Área de amostragem para estimativa de sementes/bandeja: (10 cm x 10 cm) = 0,01 m <sup>2</sup> média de 12 sementes/amostragem = cerca de 258 sementes por bandeja
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de areia: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 70 sementes
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de areia e terra preta (1:1): volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 63 sementes
<b>2. <i>Baccharis multifolia</i></b>
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de terra preta: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros Área de amostragem para estimativa de sementes/bandeja: (10 cm x 10 cm) = 0,01 m <sup>2</sup> média de 15 sementes/amostragem = cerca de 323 sementes por bandeja

**Anexo 2.** Especificações para testes com plantio de mudas de espécies nativas conduzidos em estufa entre os meses de Junho e Setembro de 2012.

**TESTES - Plantio de mudas - coleta do material vegetal em 11/06/2011**

**1. *Elyonurus* sp.**

Embalagens plásticas com 40 cm de circunferência, 14 cm de boca e 23 cm de altura = 0,0154 m<sup>2</sup> e capacidade para 3,54 litros  
Preenchimento com substrato arenoso coletado no local de estudo até 8 cm da borda (15 cm de preenchimento = 2,31 litros)  
20 mudas obtidas por divisão de touceira

**2. *Senecio cisplatinus***

Embalagens plásticas com 40 cm de circunferência, 14 cm de boca e 23 cm de altura = 0,0154 m<sup>2</sup>  
Preenchimento com substrato arenoso coletado no local de estudo até 8 cm da borda (15 cm de preenchimento = 2,31 litros)  
10 mudas extraídas a campo

**3. *Croton subpannosus***

Embalagens plásticas com 40 cm de circunferência, 14 cm de boca e 23 cm de altura = 0,0154 m<sup>2</sup>  
Preenchimento com substrato arenoso coletado no local de estudo até 8 cm da borda (15 cm de preenchimento = 2,31 litros)  
10 mudas extraídas a campo

**Anexo 3.** Especificações para testes de propagação de espécies nativas por estaquia conduzidos em estufa entre os meses de Junho e Setembro de 2012.

<b>TESTES - estaquia - coleta do material vegetal em 11/06/2011</b>
<b>1. <i>Sebastiania hispida</i> var. <i>interceedens</i></b>
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de terra preta + areia (1:1): volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 15 estacas com cerca de 10 cm de altura e 0,5 mm de espessura
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de areia: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 15 estacas com cerca de 10 cm de altura e 0,5 mm de espessura
<b>2. <i>Tabernaemontana australis</i></b>
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de terra preta: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 7 estacas com cerca de 15 cm de altura e 0,5 mm de espessura
<b>3. <i>Croton subpannosus</i></b>
Bandeja plástica dimensões: 37x 58 x 9 cm (0,0193 m <sup>3</sup> ); 0,215 m <sup>2</sup> Preenchida com 5 cm de terra preta: volume preenchido = 0,01073 m <sup>3</sup> ou 10,73 litros 9 estacas com cerca de 15 cm de altura e 0,5 mm de espessura

**Anexo 4.** Avaliação de testes com mudas de *Elyonurus* sp. propagadas de modo vegetativo. Plantio em estufa realizado dia 13/06/2011.

<i>Elyonurus</i> sp.	28/6/2011
----------------------	-----------

planta nº	I. nºfolhas verdes	II. nºfolhas novas
1	0	0
2	5	1
3	4	0
4	5	1
5	9	2
6	4	0
7	8	0
8	7	1
9	4	0
10	9	0
11	8	1
12	0	0
13	5	0
14	3	0
15	2	8
16	2	0
17	3	0
18	3	0
19	4	0
20	3	0

<i>Elyonurus</i> sp.	12/7/2011
----------------------	-----------

planta nº	I. nºfolhas verdes	II. nºfolhas novas
1	0	0
2	5	0
3	4	0
4	5	0
5	9	2
6	4	0
7	8	0
8	7	0
9	4	0
10	9	0
11	8	0
12	0	0
13	5	0
14	4	0
15	2	0
16	4	0
17	4	0
18	3	0
19	4	0
20	3	0

*Elyonurus sp.* 3/8/2011

planta n°	I. n°folhas verdes	II. n°folhas novas
1	0	0
2	9	4
3	4	1
4	8	3
5	10	3
6	4	0
7	9	1
8	10	0
9	6	2
10	10	1
11	9	1
12	0	0
13	6	1
14	3	0
15	8	6
16	2	0
17	3	0
18	3	0
19	4	0
20	5	3

*Elyonurus sp.* 31/8/2011

planta n°	I. n°folhas verdes	II. n°folhas novas
1	0	0
2	11	8
3	5	3
4	10	6
5	11	10
6	4	0
7	14	8
8	9	7
9	6	4
10	15	10
11	8	7
12	0	0
13	8	3
14	5	4
15	10	8
16	2	2
17	6	2
18	4	2
19	6	4
20	7	6

*Elyonurus sp.* 22/9/2011

<b>planta n°</b>	<b>I. n°folhas verdes</b>	<b>II. n°folhas novas</b>
1	0	0
2	12	1
3	7	2
4	15	5
5	13	2
6	6	2
7	13	1
8	14	5
9	8	2
10	21	6
11	11	3
12	0	0
13	11	3
14	6	1
15	17	7
16	2	2
17	8	2
18	6	2
19	7	1
20	7	0

\* Observação: item II incluso no item I.

## **Anexo 5.** Equipamentos e mão-de-obra necessários

**Quadro 15.** Relação do material auxiliar para confecção e implantação das intervenções técnicas.

<b>MATERIAL DE APOIO</b>
Serrote (específico para cortar Taquara/bambu)
Marreta
Facão
Tesoura de poda
Canivete
Tesoura comum grande
Fita métrica (5m e 30m)
Pá (1 pá pequena e 1 pá de corte)
Enxada
Carrinho de mão
Sacos plásticos grandes para coleta de material orgânico a campo
Luva grossa
Jornal/papel para reciclagem
Lápis, papel, prancheta, borracha

## Anexo 6. Tempo requerido para execução

**Quadro 16** . Relação entre as atividades realizadas e o tempo demandado para execução das intervenções técnicas a campo.

<b>Atividade</b>	<b>Tempo gasto</b>
Corte de taquara/bambu	1/2 turno (4 horas)
Construção de paliçadas	1 dia (8 horas)
Cobertura das paliçadas com juta	1/2 turno (4 horas)
Coleta de material e confecção de biorretentores	3 horas
Abertura de leitos + forração com palha + assentamento dos biorretentores + fixação com pedras	2 horas
Coleta e plantio de mudas de <i>Elyonurus</i> sp.	2 horas
Construção de barreiras de pedra	2 horas
<b>TOTAL</b>	<b>aproximadamente 3 dias</b>

## Anexo 7. Quantificação do material e custo de implantação

**Quadro 17.** Relação quali-quantitativa e econômica de material necessário a execução das intervenções técnicas a campo.

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
Matéria orgânica (esterco seco, palha, ramos, jornal)	26 kg	Sem custo	Sem custo
Fibra de Juta aberta	10,6 m <sup>2</sup>	5,00/m <sup>2</sup>	53,00
Cordão de sisal	62,7 m (5 mm espessura)	0,55/metro linear	34,48
Pedras	57 unidades	Sem custo	Sem custo
Varas de taquara cortadas de acordo com as dimensões das paliçadas	119 unidades	Sem custo	Sem custo
Varas de taquara	106 m lineares	Sem custo	Sem custo
Mudas de capim limão	29 unidades	Sem custo	Sem custo
		<b>Total</b>	<b>87,49</b>