



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA, ANÁLISE AMBIENTAL
INTEGRADA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA EM SOLOS
ARENOSOS NO SUDOESTE DO RS, BRASIL.**



CARMEM LUCAS VIEIRA

RIO DE JANEIRO, 2018

Carmem Lucas Vieira

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA, ANÁLISE AMBIENTAL
INTEGRADA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA EM SOLOS
ARENOSOS NO SUDOESTE DO RS, BRASIL.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Ciências.

Orientador(a): Prof^a Dr^a Telma Mendes da Silva UFRJ

Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Verdum UFRGS

Rio de Janeiro, 2018

CIP - Catalogação na Publicação

L657c Lucas Vieira, Carmem
Caracterização Geomorfológica, Análise Ambiental Integrada e Avaliação do Potencial de Resiliência em solos arenosos no Sudoeste do RS, Brasil. / Carmem Lucas Vieira. -- Rio de Janeiro, 2017.
291 f.

Orientadora: Telma Mendes da Silva.
Coorientadora: Roberto Verdum.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2017.

1. Arenização. 2. Restauração Ecológica. 3. Bioma Pampa. 4. Ravina. 5. Ecodinâmica. I. Mendes da Silva, Telma, orient. II. Verdum, Roberto, coorient. III. Título.

Carmem Lucas Vieira

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA, ANÁLISE AMBIENTAL
INTEGRADA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA EM SOLOS
ARENOSOS NO SUDOESTE DO RS, BRASIL.**

Tese de doutorado submetida ao corpo docente do
Programa de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
grau de Doutor.

Aprovada em ____/____/____

Prof^a Dr^a Telma Mendes da Silva
Departamento de Geografia - UFRJ
Orientador(a)

Prof. Dr. Roberto Verдум
Departamento de Geografia - UFRGS
Co-orientador

Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes
Departamento de Geografia - UFRJ

Prof. Dra. Maria Naíse de Oliveira Peixoto
Departamento de Geografia - UFRJ

Prof. Dr. Carlos Domingos da Silva
Departamento de Ciências Ambientais - UFRRJ

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Moreira Rovedder
Departamento de Solos - UFSM

À minha filha Ana Luiza Vieira de Jesus

À minha mãe Isis Lucas D'Oliveira Vieira

Aos meus familiares

Aos amigos e parceiros de jornada

Ao meu pai Gentil Rodrigues Vieira
in memoriam

Agradecimentos

Ao final desta jornada, construída com imenso esforço físico e dedicação intelectual, diversos foram os personagens que atuaram de forma significativa para que o trabalho se tornasse concreto.

Obrigada à CAPES pela oportunidade na concessão de bolsa, durante todo o período de doutorado. O suporte financeiro possibilita não somente a realização de um sonho, como a geração de um produto científico que possa, mesmo que minimamente, promover algum benefício à sociedade, a partir de um empenho pessoal.

Obrigada à Universidade pública, gratuita e de qualidade, representadas neste trabalho de doutorado pelas instituições UFRJ e UFRGS, e os seus respectivos Departamentos de Geografia. Como Engenheira Agrônoma, sou absolutamente grata por ter participado nos cursos de Geografia destas universidades, obtendo indiscutível ganho profissional e pessoal a partir desta integração entre estas diferentes áreas do conhecimento.

Agradeço a toda a minha família, em especial a minha mãe, Isis Lucas de Oliveira Vieira, pelo acolhimento em sua casa e apoio incondicional, nas mais diversas esferas. Seu exemplo de mulher e mãe guerreira, seu amor e dedicação, ajudaram a tornar esta etapa possível.

Gratidão imensa à minha irmã Ana Paula Lucas Vieira pelas hospedagens durante os meus períodos no Rio de Janeiro, seu apoio e exemplo de luta.

À minha filha, Ana Luiza Vieira de Jesus minha admiração e amor como mãe. Minha pequena grande menina, que tantas vezes suportou minha ausência e a impossibilidade em lhe dar atenção. Obrigada pela compreensão, pela parceria, por ser esta guria corajosa maravilhosa, por me fazer amadurecer a cada dia, desempenhando a função materna. Obrigada pela confiança, repetida tantas vezes por meio da frase: “você vai conseguir mamãe, você sempre consegue”. Amor maior nesta vida...

Ao meu melhor amigo e parceiro de trabalho, João Henrique Eboli, cujo gesto espontâneo, ao final de 2012, resultou na possibilidade de contato com professores da UFRJ e, ao final, na realização concreta deste curso de Doutorado. Obrigada pelas

mudas de Vetiver, pelos livros presenteados e os conselhos dados. Meus sinceros agradecimentos para toda a ‘família Itaipava’, pelo carinho e permanente apoio, pelos ombros amigos e os constantes incentivos, pela recepção em sua casa, pelo auxílio na superação dos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Prof^ª Dr^ª Telma Mendes da Silva, não há palavras para expressar o sentimento de gratidão por ter me recebido como a sua aluna de doutorado. Seu apoio, confiança, incentivo e orientações foram constantes. Obrigada pela oportunidade de interação com o laboratório NEQUAT-UFRJ, pelos conhecimentos transmitidos, pelo exemplo de coragem e dedicação.

Ao meu coorientador e, mais uma vez, parceiro de trabalho, Prof. Dr. Roberto Verdum. Profissional inspirador, amigo e grande incentivador. Grande mestre e responsável por me apresentar à temática da arenização no estado do Rio Grande do Sul durante o curso de mestrado realizado anteriormente no Departamento de Geografia/UFRGS. Gratidão eterna, respeito imensurável.

Ao querido amigo Fernando Barcelos de Andrade, por ter acreditado em meu trabalho. Obrigada pelo apoio e as mudas de capim Vetiver doadas ao projeto de pesquisa.

Agradeço ao querido amigo Ronaldo Cataldo Costa por todo o apoio e carinho. Obrigada à sua esposa por ter doado a mim um computador portátil, permitindo a escrita da Tese de forma mais ágil e eficiente. Meu sincero, obrigada.

Meus agradecimentos ao amigo Sergio Renato Bacellar por ter me acolhido nos últimos meses de redação da Tese em seu projeto de vida, chamado ‘Cabana da Arara: Empório & Estalagem’, Polo Turístico Charles Darwin, bairro Engenho do Mato, cidade de Niterói/RJ. Local de imensa importância histórica e ambiental para o estado do RJ e o Brasil.

Impossível não expressar a minha profunda gratidão à produtora rural, Dona Maria Irene, por ter aberto a sua propriedade para que pudéssemos desenvolver a proposta de pesquisa, demonstrando sempre grande interesse e vontade em colaborar com os trabalhos em campo. Pessoa humilde, simples, forte e vaidosa, fez questão de transmitir parte de seu conhecimento ao longo de árdua vida de trabalho, enriquecendo este trabalho com informações de grande relevância.

Aos colegas e amigos do laboratório de Geografia Física, GEOGRAPHYS, da UFRGS, por toda a ajuda voluntariamente dispensada. Obrigada Maximiliano Paschoalotti Messa, Hiro Okido, Felipe Dal Piva por terem auxiliado em trabalhos em campo e laboratório. Em especial agradeço a Jean Carlo Gessi Canepelle por sua amizade e parceria, por ter trabalhado arduamente em campo e ter auxiliado com seus questionamentos e sugestões. Da mesma forma, agradeço ao querido amigo e colega Sidnei Bohn Gass por todo o apoio, incentivo e parceria ao longo desta trajetória no PPG em Geografia da UFRGS. Carinho e gratidão a todos.

À minha parceira, braço direito e irmã de coração Aline Gomes Goulart. Isso tudo não teria sido possível sem a sua dedicação e participação nos trabalhos em campo, laboratório e gabinete. Gratidão ‘mana’ por todo o seu esforço e apoio presencial e à distância. Obrigada por sua responsabilidade, compromisso e empenho como bolsista de Iniciação Científica, realizando todas as tarefas requeridas com qualidade e seriedade. Impossível seria desenvolver este doutorado sem a sua ajuda. Como diria Milton Nascimento: “amigo é coisa para se guardar do lado esquerdo do peito...”.

Todos os parceiros de caminhada que, porventura, não tenham sido citados nominalmente, sintam-se sinceramente homenageados e reconhecidos.

Gratidão à mãe natureza, Gaia, pela vida e inspiração.

“A ciência depende da dúvida, ela não pode crescer sem a dúvida. Eis porque toda a educação se tornou a educação da dúvida. A religiosidade depende da confiança, ela não pode existir sem a confiança. Essas são direções diametralmente opostas”.

... “se você depositar confiança num trabalho científico, você deixará escapar o ponto central. Você não será capaz de descobrir nada. A dúvida é a metodologia”.

“A ciência nunca chega a uma verdade absoluta, mas a uma verdade experimental aproximada”.

(Osho, 1999, p. 171)

RESUMO

VIEIRA, Carmem Lucas. Caracterização Geomorfológica, Análise Ambiental Integrada e Avaliação do Potencial de resiliência em solos arenosos no sudoeste do RS, Brasil. Rio de Janeiro: 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Solos arenosos constituem o sustentáculo para o desenvolvimento dos mais diversos ecossistemas e sociedades humanas. Características morfológicas inerentes podem conferir suscetibilidade à degradação ambiental, quando utilizados de forma inadequada ao seu potencial original. A verificação de uma possível relação entre os processos de arenização e degradação do solo, com a consequente perda do potencial de resiliência configurou a questão central deste trabalho. O recorte espacial adotado foi uma porção de área localizada em uma propriedade rural no RS. Para o diagnóstico foram realizadas análises das propriedades químicas do solo em laboratório, avaliação parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica, plantio de capim Vetiver (*Chrisopogon zizanioides*) em talude de ravina, elaboração de perfil topográfico e avaliação da dinâmica pluviométrica. A estimativa da perda de solo por erosão hídrica em áreas planas foi realizada com base na equação universal de perda dos solos. Técnicas de restauração ecológica como semeadura direta, plantio de mudas, transposição de solo e galharia, foram selecionadas para a verificação do potencial de resiliência, em adequação à fitofisionomia campestre do Bioma Pampa. Estabeleceram-se unidades de avaliação (UAs) em duas áreas experimentais (AE). A área experimental I foi implantada sobre um núcleo de arenização, sendo composta por cinco parcelas de 10 m² cada. A área experimental II foi estabelecida sobre um setor com ravinas, e composta por seis unidades de avaliação UAs com 16 m² cada. O período de monitoramento mínimo para AEs foi de um ano após a sua implantação, com intervalo médio de dois meses. O material para a transposição de solo foi coletado em áreas próximas de mata ciliar e mata de encosta, localizadas na mesma bacia hidrográfica, utilizando-se um gabarito de 1m² e uma profundidade de 5 cm. Um total de 10 pontos de coleta de solo superficial e serrapilheira foram escolhidos aleatoriamente em cada área de mata ciliar e mata de encosta. Parcelas abertas em semicírculo foram estabelecidas nas AEs para a estimativa da perda de solo por processos de erosão hídrica superficial. As parcelas com solo proveniente de mata ciliar apresentaram o maior número de regenerantes, com predominância da família Asteraceae e do gênero *Senecio*. O capim Vetiver apresentou efetiva adaptação às condições edafoclimáticas, com melhor desenvolvimento

vegetativo após a aplicação de esterco animal curtido. Esta gramínea pode ser associada a espécies vegetais nativas como a mirtácea anã *Eugenia pitanga* para o estabelecimento de cobertura vegetal, além de se configurarem como potencial fonte de renda ao produtor rural. A transposição de solo pode vir a ser uma alternativa viável, principalmente se associada ao emprego da adubação orgânica. Recomenda-se o reaproveitamento e a transposição de solo proveniente de áreas destinadas à implantação de cultivos agrícolas, antes que seja realizada a supressão da vegetação nativa e a perda do horizonte superficial. A metodologia pioneira idealizada foi adequada, gerando informações fundamentais à formulação de propostas técnicas voltadas ao estabelecimento de cobertura vegetal sobre áreas com o processo de arenização no estado do RS.

Palavras-chave: Resiliência. Arenização. Restauração Ecológica.

ABSTRACT

VIEIRA, Carmem Lucas. Geomorphological Characterization, Integrated Environmental Analysis and Evaluation of Resilience Potential in sandy soils in southwestern RS, Brazil. Rio de Janeiro: 2017. Thesis (PhD in Geography) - Postgraduate Program in Geography, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Sandy soils are the mainstay for the development of the most diverse ecosystems and human societies. Inherent morphological characteristics may confer susceptibility to environmental degradation when used inappropriately to their original potential. The verification of a possible relationship between arenization and soil degradation processes, with the consequent loss of resilience potential, set the central issue of this work. The spatial cut adopted was a portion of the area located in a rural property at RS state. For the diagnosis, soil chemical properties were evaluated in the laboratory, as well as morphometric parameters of the watershed, seedlings of Vetiver grass were planted (*Chrisopogon zizanioides*) on a ravine slope, a topographic profile was elaborated and also the evaluation of rainfall dynamics. The estimation of soil loss by water erosion in flat areas was performed based on the universal soil loss equation. Ecological restoration techniques such as direct sowing, planting of seedlings, soil transposition and galleries were selected to verify the potential of resilience, in compliance with the phytophysiology of the Pampa Biome. Evaluation units (UAs) were established in two experimental areas (EA). The experimental area I was implanted on a sandstone core, and it was composed of five plots of 10 m² each. The experimental area II was established on a sector with ravines, and composed of six UAs evaluation units with 16 m² each. The minimum monitoring period for AEs was one year after its implementation, with an average interval of two months. The material for soil transposition was collected in areas near riparian forest and hillside forest, located in the same watershed, using a template of 1 m 2 and a depth of 5 cm. A total of 10 points of superficial soil and litter collection were chosen randomly in each area of riparian forest and slope forest. Open plots in semicircle were established in the EA for the estimation of soil loss by surface water erosion processes. The plots with soil from riparian forest had the highest number of spontaneous generated seedlings, with predominance of the Asteraceae family and the genus Senecio. The Vetiver grass presented an effective adaptation to the edaphoclimatic conditions, with better vegetative development after the application of animal tanning. This grass may be

associated with native plant species such as the mirtaceae *Eugenia pitanga* for the establishment of vegetal cover, besides being configured as a potential source of income to the rural producer. Soil transposition may be a viable alternative, especially if it is associated with the use of organic fertilization. It is recommended to reuse and transpose soil from areas intended for the implantation of agricultural crops before suppression of native vegetation and loss of the surface horizon. The idealized pioneer methodology was adequate, generating fundamental information for the formulation of technical proposals aimed at the establishment of vegetation cover on areas with the sandstone process in the State of RS.

Keywords: Resilience. Arenization. Ecological Restoration.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	pg.01
1 ARENIZAÇÃO	pg.07
1.1 O PROCESSO DE ARENIZAÇÃO NO BRASIL	pg.07
1.2 ARENIZAÇÃO NO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	pg.11
2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	pg.27
2.1 RESILIÊNCIA AMBIENTAL	pg.27
2.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: CONCEITOS	pg.30
2.3.1 Restauração ecológica no Brasil	pg.33
2.3.2 A Restauração Ecológica na Recuperação de Ambientes Degradados	pg.35
2.3.3 Emprego da Restauração Ecológica no RS	pg.37
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	pg.44
3.1 SÃO FRANCISCO DE ASSIS, ESTADO DO RS	pg.54
3.1.1 Localidade de Vila Kramer – Propriedade Rural	pg.63
4 ANÁLISE DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA	pg.68
4.1 PROCEDIMENTOS PRELIMINARES PARA O DIAGNÓSTICO	pg.68
4.1.1 Relevo	pg.70
4.1.2 Solo	pg.71
4.1.3 Vegetação	pg.77
4.1.4 Processos morfológicos	pg.82
4.1.5 Dinâmica hídrica da Sanga do Rolador	pg.85
4.1.6 Características pluviométricas	pg.88
4.2 TÉCNICAS DE NUCLEAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA	pg.93
4.2.1 Galharia	pg.93
4.2.2 Transposição de Solo (<i>Topsoil</i>)	pg.94
4.2.3 Plantio de mudas – Sistema Vetiver (Vetiver System/VS)	pg.98
4.3 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO	pg.101

5 INTERVENÇÕES TÉCNICAS E MONITORAMENTO	pg.102
5.1 ÁREA EXPERIMENTAL I (AE-I): NÚCLEO DE ARENIZAÇÃO	pg.102
5.1.1 Unidade de Avaliação Solo e Manta (AE-I/UAP1-SeM)	pg.106
5.1.2 Unidade de Avaliação Testemunha (AE-I/UAP3-Ts)	pg.107
5.1.3 Unidade de Avaliação Mata de Encosta (AE-I/UAP2-ME)	pg.109
5.1.4 Unidade de Avaliação Mata Ciliar (AE-I/UAP5-MC)	pg.112
5.1.5 Unidade de Avaliação Crosta Biológica (AE-I/UAP4-CrB)	pg.113
5.1.6 Estruturas abertas para a estimativa de erosão hídrica	pg.116
5.1.7 Núcleos de Galharia (NG)	pg.118
5.1.8 Monitoramentos em campo e avaliações em gabinete	pg.119
5.2 ÁREA EXPERIMENTAL II (AE-II): SETOR DE RAVINAS	pg.120
5.2.1 Unidade de Avaliação Mix de sementes (UAP1-Mix)	pg.124
5.2.2 Unidade de Avaliação Testemunha (UAP3-Ts)	pg.125
5.2.3 Unidade de Avaliação Mata de Encosta (UAP2-ME)	pg.126
5.2.4 Unidade de Avaliação Mata Ciliar (UAP4-MC)	pg.127
5.2.5 Unidade de Avaliação Vetiver com manta (UA-VcM)	pg.129
5.2.6 Unidade de Avaliação Vetiver sem manta (UA-VsM)	pg.131
5.2.7 Monitoramentos em campo e avaliações em gabinete	pg.132
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	pg.134
6.1 DIAGNÓSTICO	pg.134
6.1.1 Relevô	pg.134
6.1.2. Solo	pg.140
6.1.3 Vegetação nativa	pg.162
6.1.4 Capim Vetiver em talude de ravina	pg.169
6.1.5 Processos avançados de erosão hídrica	pg.180
6.1.6 Bacia Hidrográfica da Sanga da Areia e Sanga do Rolador	pg.184
6.1.7 Regime pluviométrico	pg.189
6.2 ÁREAS EXPERIMENTAIS E UNIDADES DE AVALIAÇÃO	pg.191
6.2.1 Área Experimental I (AE-I)	pg.191
6.2.2 Área Experimental II (AE-II)	pg.205
6.2.2.1 parcelas com Vetiver	pg.206
6.2.2.2 unidades de Avaliação UAP1-Mix, UAP2-ME, UAP3-TS e UAP4-MC	pg.211

7 DISCUSSÕES FINAIS	pg.222
8 INVESTIGAÇÕES PARALELAS E PERSPECTIVAS FUTURAS	pg.226
8.1 FITÓLITOS: BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA NOS AREAIS/RS	pg.228
9 CONCLUSÕES	pg.231
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	pg.234
APÊNDICES	pg.246
ANEXOS	pg.251

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Áreas com manchas de solo exposto, arenização, no sudoeste de Goiás, demarcadas pelos pontos vermelhos. **pg. 09**
- Figura 2:** Ilustração esquemática representando sinteticamente a gênese dos areais em rampas, desenvolvidos sobre depósitos arenosos, em contato subjacente com Formações areníticas. Adaptado de Suertegaray *et al.* **pg. 14**
- Figura 3.** Fotografia tirada sobre área de colúvio, mostrando a ocorrência de ravinas (à esquerda), focos de arenização (à direita) e um areal consolidado (ao fundo). **pg. 15**
- Figura 4.** Detalhe de um areal com vegetação nativa remanescente. Quaraí RS. **pg. 15**
- Figura 5.** Destaque para a região e os municípios com a ocorrência do processo de arenização na porção sudoeste do estado do RS. **pg. 18**
- Figura 6.** Área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, região sudoeste do RS. **pg. 18**
- Figura 7.** Indicação das áreas de mapeamento com maior ocorrência do processo de arenização, região sudoeste do RS. **pg. 19**
- Figura 8.** Detalhe do pacote sedimentar Holocênico de coloração avermelhada, em areal localizado no município de Quaraí, RS. **pg. 21**
- Figura 9.** Corte para abertura de estrada deixa exposto um talude formado por rochas basálticas ácidas pertencentes à Formação Serra Geral, no caminho para Quaraí, RS. **pg. 22**
- Figura 10.** Areal em primeiro plano e relevo residual ao fundo. Quaraí, RS. **pg.22**
- Figura 11.** Classificação dos solos do RS. Elaboração SCP/DEPLAN, 05/2005. **pg.23**
- Figura 12.** Localização e distribuição do Bioma Mata Atlântica e Bioma Pampa no RS. **pg.24**
- Figura 13.** Unidades de fitofisionomias presentes no Bioma Pampa. **pg.25**

- Figura 14.** Localização da bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí na região da fronteira oeste do RS. **pg.48**
- Figura 15.** Localização dos principais focos de arenização no RS. **pg.48**
- Figura 16.** Relevo residual arenítico com forma de topo plana, preservado por concreções de sílica e escarpas íngremes vegetadas, com formação florestal típica da Mata Atlântica Subtropical - Município de Manuel Viana, RS. **pg.49**
- Figura 17.** Relevo residual com evidência de ocorrência de processos erosivos e recuo das encostas, tendo em vista a forma de topo em cume triangular - Município de Manuel Viana, RS. **pg.49**
- Figura 18.** Relevo suavemente ondulado formado por colinas adjacente às várzeas - Município de Manuel Viana, RS. **pg.50**
- Figura 19.** Localização do município de São Francisco de Assis, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **pg.55**
- Figura 20.** Identificação dos compartimentos de relevo e pontos de coleta de coluna sedimentar (T1 e T2) na localidade Cerro da Esquina, município de São Francisco de Assis, RS. **pg.56**
- Figura 21.** Compartimentação da região oeste, bacia hidrográfica do rio Ibicuí, com ocorrência da arenização no RS. O ponto em destaque localiza-se o município de São Francisco de Assis. **pg.60**
- Figura 22.** Localização dos Patamares Residuais de Arenito, sobre os quais se desenvolvem processos de erosão hídrica avançada e arenização no RS. **pg.60**
- Figura 23.** Perfil de Latossolo Vermelho distrófico em São Francisco de Assis, RS. **pg.61**
- Figura 24.** Ravina em primeiro plano; areal em média vertente ao centro e relevo arenítico residual ao fundo - Município de São Francisco de Assis, RS. **pg.61**
- Figura 25.** Transectos em compartimentos geomorfológicos junto ao Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS. P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa

com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matacões e P5: topo do cerro. **pg.62**

Figura 26. Perfil topográfico elaborado a partir de transecto no Cerro da Esquina e os diferentes compartimentos geomorfológicos. P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matacões e P5: topo do cerro.

pg.62

Figura 27. Localização do centro urbano do município de São Francisco de Assis na parte inferior da imagem, Cerro da esquina (relevo residual) e área de pesquisa no canto superior.

pg.63

Figura 28. Delimitação da micro-bacia hidrográfica da Sanga da Areia, São Francisco de Assis, RS.

pg.64

Figura 29. Delimitação da propriedade e uso da área.

pg.65

Figura 30. Mosaico da propriedade rural. A) Vista frontal da entrada com afloramento de arenito no centro e sede à esquerda. B) Meia encosta e limite com propriedade lindeira à direita, junto ao monocultivo de eucalipto. C) Areal, próximo ao curso de água, nível de base local. D) Ravinas adjacentes à ‘Sanga do Rolador’, limite jusante.

pg.66

Figura 31. Mudanças de capim-limão (*Elyonurus* sp.) próximas ao perímetro erosivo.

pg.67

Figura 32. Tomada de pontos com GPS de precisão para elaboração de perfil topográfico da propriedade.

pg.71

Figura 33. Análise granulométrica, teor de matéria orgânica e morfoscopia no CECO/UFRGS.

pg.73

Figura 34. Avaliação do percentual de argila em amostras analisadas no CECO/UFRGS.

pg.73

Figura 35. Análise morfoscópica de sedimentos em microscópio estereoscópico binocular, laboratório do CECO/UFRGS.

pg.74

- Figura 36.** Esquema demonstrando a composição das amostras destinadas às análises de solo e substrato. **pg.75**
- Figura 37.** Avaliação de material orgânico proveniente das amostras analisadas no CECO/UFRGS. **pg.76**
- Figura 38.** Mosaico da diversidade de espécies vegetais presentes na área de campo nativo, terço inicial da propriedade. **pg.77**
- Figura 39.** Detalhe da riqueza botânica compondo as áreas de campo nativo à esquerda e a espécie *Waltheria douradinha* no setor classificado como *meio intergrade*, à direita da imagem. **pg.78**
- Figura 40.** *Eugenia pitanga*, espécie mirtácea anã típica dos campos com arenização no sudoeste do RS colonizando de forma significativa o *meio intergrade* e formando uma pequena mancha na área experimental II, *meio fortemente instável*. **pg.78**
- Figura 41.** Espécies nativas com potencial ornamental, como a *Portulaca oleracea*, à direita da imagem. **pg.79**
- Figura 42.** Espécie nativa de porte rasteiro registrada no *meio intergrade* e cactácea de porte ereto colonizando o canal de uma ravina no *meio fortemente instável*. **pg.79**
- Figura 43.** Identificação de material vegetal coletado em campo junto ao Herbário do Departamento de Botânica/UFRGS. **pg.80**
- Figura 44.** Talude da feição erosiva selecionada, localizada de modo adjacente a um grande monocultivo de eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **pg. 81**
- Figura 45.** Canal da feição erosiva selecionada. Talude em estudo à esquerda da imagem, em primeiro plano. **pg. 81**
- Figura 46.** Aferimento de porção do talude para intervenção preliminar. **pg. 82**
- Figura 47.** Remodelação do talude para aplicação de *topsoil*, plantio de mudas de capim Vetiver e cobertura com biomanta. **pg. 82**
- Figura 48.** Afloramento de rocha arenítica e concreções ferruginosas na entrada da propriedade. **pg. 83**

Figura 49. Foco de arenização no terço médio da propriedade, meio intergrade, perímetro erosivo. **pg.83**

Figura 50. Núcleo de arenização à esquerda, sentido montante-jusante, terço final da propriedade, meio fortemente instável. **pg.84**

Figura 51. Início do setor de ravinas localizado à direita, sentido montante-jusante, terço final da propriedade, meio fortemente instável. **pg.84**

Figura 52. Margem esquerda do talude fluvial da ‘Sanga do Rolador’, sentido montante-jusante. **pg.86**

Figura 53. Margem direita do talude fluvial da ‘Sanga do Rolador’, sentido jusante-montante. **pg.86**

Figura 54. Área superficial adjacente à margem esquerda do curso de água, apresentando uma significativa quantidade de ravinas ativas conectadas à rede de drenagem. **pg.87**

Figura 55. Parâmetros do cálculo RDE: L = comprimento da drenagem da cabeceira a jusante; Δh = diferença de altitude entre duas isoípsas subsequentes; Δl = projeção horizontal do comprimento do segmento de drenagem entre duas isoípsas subsequentes. **pg.87**

Figura 56. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2012 - primeiro semestre. **pg.88**

Figura 57. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2012 - segundo semestre. **pg.89**

Figura 58. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2013 - primeiro semestre. **pg.89**

Figura 59. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2013 - segundo semestre. **pg.90**

Figura 60. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2014 - primeiro semestre. **pg.90**

- Figura 61.** Avaliação dos dados de precipitação ano base 2014 - segundo semestre. **pg.91**
- Figura 62.** Avaliação dos dados de precipitação ano base 2015 - primeiro semestre. **pg.91**
- Figura 63.** Avaliação dos dados de precipitação ano base 2015 - segundo semestre. **pg.92**
- Figura 64.** Pontos de coleta de topsoil em mata ciliar, rio Taquari, São Francisco de Assis/RS. **pg.95**
- Figura 65.** Mata ciliar Rio Taquari. **pg.96**
- Figura 66.** Detalhe da serrapilheira na área de coleta de vegetação, às margens do rio Taquari. **pg.96**
- Figura 67.** Detalhe de sementes e plântulas em ponto no interior da mata ciliar. **pg.97**
- Figura 68.** Verificação de plântulas sobressaindo a trama de biotêxtil aplicado sobre o talude de ravina. **pg.98**
- Figura 69.** Detalhe das plântulas oriundas do banco de sementes aplicado na base do talude da ravina. **pg.98**
- Figura 70.** Plantio de mudas de capim vetiver em talude de ravina remodelado. Verificação quanto ao potencial de sobrevivência às condições edafo-climáticas de São Francisco de Assis. **pg.100**
- Figura 71.** Núcleo de arenização, meio fortemente instável, próximo ao curso de água. **pg.102**
- Figura 72.** Setor de ravinas, lado direito da propriedade, sentido montante-jusante. **pg.103**
- Figura 73.** Vista geral Área Experimental I. Núcleos de galharia NG 2 (em primeiro plano) e NG1 (ao fundo), estruturas abertas em semicírculo para a estimativa de erosão e Unidades de Avaliação P2-ME (em primeiro plano), P1 SeM (à esquerda na foto) e P4 CrB (ao fundo e à direita na foto). **pg.104**

- Figura 74.** Croqui esquemático, fora de escala, com a representação da Área Experimental I e as respectivas Unidades de Avaliação. **pg.104**
- Figura 75.** Detalhe de geotêxtil produzido com fibra de sisal. **pg.105**
- Figura 76.** Delimitação das parcelas em 2 metros de largura por 5 metros de comprimento para posterior aplicação do geotêxtil (manta orgânica) nas laterais e em cobertura. **pg.107**
- Figura 77.** Aplicação do geotêxtil (manta orgânica) para o estabelecimento das UAs na Área Experimental I (AE-I). **pg.107**
- Figura 78.** Unidade de Avaliação P3-Ts no centro da imagem. **pg.108**
- Figura 79.** Disposição dos sacos plásticos com *topsoil* sobre a parcela. **pg.110**
- Figura 80.** Distribuição e mistura do material coletado sobre a superfície na UAP2-ME, Área Experimental I. **pg.110**
- Figura 81.** Cobertura da parcela ME com geotêxtil de sisal e exemplar de *Eugenia uniflora* **pg.111**
- Figura 82.** Relevo residual denominado “Cerro da Esquina” e fragmento florestal nativo desenvolvido junto a sua face noroeste, onde foram realizadas as coletas de *topsoil*. **pg.111**
- Figura 83.** Localização e mensuração do ponto de coleta 08 no interior de formação florestal nativa junto ao Cerro da Esquina, face oeste. **pg.112**
- Figura 84.** Ilustração com indicação do local onde foi realizada a coleta de *topsoil* no interior de formação florestal nativa próxima ao curso de água, em propriedade adjacente. **pg.113**
- Figura 85.** Unidade de avaliação P5-MC finalizada, ao centro da foto. **pg.113**
- Figura 86.** Coleta de crosta biológica do solo com o auxílio de uma espátula. **pg.114**
- Figura 87.** Talude fluvial com altura superior a seis metros apresentando material argiloso na base (coloração mais clara) e pacote arenoso sobreposto. Ravina ativa

desenvolvida de modo transversal ao curso de água e acessada pelo gado para a sua dessedentação diária. **pg.115**

Figura 88. Colônias de crostas biológicas do solo constituindo um tapete de musgos de forma arredondada, desenvolvidos sobre o talude de uma ravina ativa, meio fortemente instável. **pg.116**

Figura 89. Fixação da estrutura aberta para a estimativa de erosão e aferição de suas dimensões finais. **pg.117**

Figura 90. Régua de madeira para estimativa perda de solo por erosão hídrica superficial. **pg.118**

Figura 91. Núcleos de galharia NG2 em primeiro plano e NG1 ao fundo. **pg.119**

Figura 92. Ilustração esquemática com as parcelas e respectiva distribuição das mesmas na AE-II. **pg.122**

Figura 93. Representação simplificada da área delimitada e posição das parcelas na AE-II. **pg.122**

Figura 94. Mata Ciliar adjacente ao rio Taquari, São Francisco de Assis/RS. **pg.123**

Figura 95. Gabarito de madeira com 1 m² utilizado para a coleta de *topsoil* e avaliações das UAs. **pg.123**

Figura 96. Sedimento arenoso sendo transportado pelo escoamento concentrado da água da chuva para o leito do rio Taquari durante evento de forte precipitação e curta duração. **pg.124**

Figura 97. Processo de confecção da parcela Mix, com distribuição a lanço de fertilizante orgânico e sementes exóticas forrageiras de ciclo estival. **pg.125**

Figura 98. Implantação da parcela Testemunha (Ts) na Área Experimental II, sentido topo-base. Confecção de estrutura semicircular na base para estimativa de erosão. **pg.126**

Figura 99. Transplante de mudas nativas em parcela com material proveniente de mata de encosta. **pg.127**

Figura 100. Imagem indicando a distância do local de coleta de topsoil junto ao rio Taquari em relação ao local em que foi aplicado. **pg.128**

Figura 101. Representação de alguns pontos de coleta de *topsoil* em mata ciliar do rio Taquari. Em sentido horário: Gabarito para coleta em local com regenerantes/plântulas; Ponto com vegetação arbustiva e arbórea mais adensada; Local com ocorrência de indivíduos adultos de manacá-de-cheiro (*Brunfelsia uniflora*) e Ponto mais próximo ao rio e com vegetação mais aberta. **pg.128**

Figura 102. Parcela de capim Vetiver com cobertura de geotêxtil de sisal. Visada a partir da base. **pg.130**

Figura 103. Área Experimental II, UAs Vetiver sem manta, Vetiver com manta e vetiver área externa. **pg.132**

Figura 104. Transecto Y – Z traçado nos limites a montante (Y) e a jusante (Z) da propriedade rural para a geração do perfil topográfico e cotas de referência mínima - 120 e máxima - 202. Fonte: Carta do Exército Brasileiro, Folha Vila Kramer, escala 1: 50.000. Coordenadas UTM 671967.00 mE; 6746333.00 mS. **pg.136**

Figura 105. Perfil topográfico (com exagero vertical) e MDE gerados por meio de GPS de precisão. Ponto **A** – Sanga do Rolador; Ponto **B** – Início da propriedade. **pg.136**

Figura 106. Perfil topográfico gerado a partir de dados coletados com o uso de GPS de precisão. **pg.137**

Figura 107. Localização dos pontos coletados com GPS de precisão, representados pela cor preta. Em vermelho estão registrados os pontos de coleta de materiais utilizados para análises de solo, sedimento e substrato. **pg.138**

Figura 108. Declividade média calculada a partir dos dados registrados em campo com o uso de GPS de precisão, considerando intervalos a cada cinco pontos. **pg.138**

Figura 109. Sobreposição dos pontos de coleta das amostras de solo com imagem do Google Earth e principais dados obtidos nas análises para cada ponto. Perfil topográfico com a localização dos pontos de coleta. **pg.143**

Figura 110. Teores de macronutrientes, acidez ativa (pH) e capacidade de troca de cátions (CTC) obtidos nas análises de solo. **pg.146**

- Figura 111.** Saturação com alumínio, capacidade de troca de cátions (CTC) e teor de matéria orgânica verificados nas análises de solos. **pg.148**
- Figura 112.** Frações granulométricas obtidas para as 13 amostras, de acordo com as análises realizadas no CECO/UFRGS. **pg.149**
- Figura 113.** Fração textural areia e as proporções relativas das granulometrias componentes. **pg.151**
- Figura 114.** Classificação textural das amostras 1 a 4 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA. **pg.153**
- Figura 115.** Classificação textural das amostras 5 a 8 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA. **pg.154**
- Figura 116.** Classificação textural das amostras 9 a 12 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA. **pg.154**
- Figura 117.** Classificação textural da amostra 13 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA. **pg.155**
- Figura 118.** Gráfico representando o aumento nos valores das densidades úmida e seca, de montante para jusante. **pg.157**
- Figura 119.** Gráfico com a discriminação das variáveis analisadas no laboratório de substrato – FAGRO/UFRGS, com os respectivos valores para as amostras A, B e C. **pg.158**
- Figura 120.** Produto visual gerado em programa específico para o registro do Cadastro Ambiental Rural no Brasil. **pg.163**
- Figura 121.** Vista do campo sentido sul-norte, *meio intergrade*, verão de 2015. Monocultivo arbóreo de Eucalipto (*Eucalyptus* sp.) da empresa Stora Enso, limite norte com a propriedade rural. **pg.164**
- Figura 122.** Vista geral do campo, sentido norte-sul, *meio fortemente instável*, início do outono. A cobertura vegetal rasteira de coloração verde-claro em primeiro plano deve-se à gramínea Braquiária (*Brachiaria* sp.), de hábito estolonífero, semeada pela produtora rural. **pg.165**

Figura 123. Imagem geral do campo, sentido jusante-montante, oeste-leste, em ano de inverno bastante rigoroso, com predominância de temperaturas muito baixas e ocorrência de geada. À esquerda monocultivo de eucalipto (*Eucalyptus* sp). **pg.165**

Figura 124. Vista do campo nativo, sentido jusante-montante, oeste-leste, início do perímetro erosivo, estação da primavera. A vegetação que se percebe em primeiro plano são tufo de mirtácea-anã. **pg.166**

Figura 125. Maciço de mirtácea anã (*Eugenia pitanga*), nativa dos campos com arenização, desenvolvido sobre área com ocorrência de ravinas, *meio fortemente instável*. Detalhe de robusto sistema radicular e da parte aérea. **pg.167**

Figura 126. A - Composição de fotos com detalhes de touceiras retiradas do substrato; B - Mudas lavadas e raízes imersas em baldes com água; C - Mudas individualizadas após a poda de raízes e folhas; D - Detalhe de pedriscos (fragmentos de granito), retirados do meio de alguns ‘emaranhados’ de raízes. **pg.171**

Figura 127. A - Composição de fotos com detalhes do sistema radicular: B - Exemplares da mesobiota encontrada no interior das touceiras: anelídeo; C - Animal da ordem Collembola; D - Indivíduos do Filo Molusca. **pg.172**

Figura 128. Vetiver em talude de ravina, cinco meses após o plantio. Em sentido horário: A. mudas diretamente sobre o talude; B. mudas com a cobertura de fibra de juta; C. plântulas atrofiadas sob a manta; D. indivíduos provenientes do *topsoil* ultrapassando as tramas do tecido. **pg.174**

Figura 129. Touceiras de Vetiver sobre o talude de ravina dois meses após a aplicação de adubo orgânico, composto à base de esterco animal curtido. **pg.176**

Figura 130. Setor com ravinas desconectadas da rede de drenagem sobre o qual foi instalada a AE-II. **pg.180**

Figura 131. Imagem com a localização das ravinas de maior profundidade em relação ao perfil longitudinal obtido com o uso do Google Earth. **pg.181**

Figura 132. Perfil longitudinal com a localização hipotética de diferentes compartimentos. P1: depósito aluvial; P2: depósito de colúvio; P3: depósitos eólicos mais recentes. Imagem Google Earth. **pg.181**

Figura 133. Ravina transversal ao curso de água e com dinâmica conectada à rede de drenagem. **pg.183**

Figura 134. Falhamentos de rocha preferenciais identificados para o município de São Francisco de Assis, sentido NW-SE (traços em cor amarela mais escuro) e NE-SW (traços em cor amarela mais clara). Rio Ibicuí e imagem do Google Earth. **pg.183**

Figura 135. Núcleo de arenização ocupando uma área significativa do *meio fortemente instável*, a jusante da propriedade rural. **pg.184**

Figura 136. Identificação de anomalias na Bacia de drenagem da Sanga da Areia, a partir do cálculo do RDE. Coordenadas UTM 671967.00 mE; 6746333.00 mS. **pg.187**

Figura 137. Bloco diagrama fora de escala, com a representação esquemática das parcelas na área experimental I. **pg.191**

Figura 138. Aranhas presentes nos núcleos de galharia NG-1 e NG-2, respectivamente. **pg.192**

Figura 139. Regenerantes sob a manta de sisal, UAP5-MC. **pg.193**

Figura 140. Imagem demonstrando pontos com vegetação regenerante sobre a parcela com *topsoil* de mata de encosta indicados pelas setas brancas. Avaliação realizada em setembro de 2015. **pg.194**

Figura 141. Detalhe de espécie com potencial ornamental registrada na parcela com *topsoil* de mata ciliar. **pg.196**

Figura 142. Parcela UAP4-CrB soterrada. **pg.197**

Figura 143. Parcela para estimativa de erosão localizada em frente ao NG-1 coberta por sedimentos carregados de montante. **pg.198**

Figura 144: Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos nas unidades de avaliação P1-SeM, P2-ME e P5-MC. As UAs P3-Ts e P4-CrB não foram consideradas por não apresentarem indivíduos além daqueles já presentes na área ou desenvolvidos a partir de um banco de sementes. **pg.200**

Figura 145. Gráfico relacionando o número de diferentes espécies vegetais identificados nas UAs P1-SeM, P2-ME e P5-MC. As UAs P3-Ts e P4-CrB não foram consideradas. **pg.201**

Figura 146. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P1-SeM nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.201**

Figura 147. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P1-SeM nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.202**

Figura 148. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P2-ME nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.203**

Figura 149. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P2-ME nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.203**

Figura 150. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P4-CrB nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.204**

Figura 151. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P4-CrB nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.204**

Figura 152. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P5-MC nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.205**

Figura 153. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P5-MC nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **pg.205**

Figura 154. Bloco diagrama fora de escala, com a representação esquemática das parcelas na área experimental II. **pg.206**

- Figura 155.** Detalhe das mudas na parcela VcM; B - Vista ao fundo das parcelas VcM e VsM e em primeiro plano o capim braquiária cobrindo o solo. **pg.207**
- Figura 156.** Unidade de avaliação VsM em primeiro plano. Ao fundo a parcela Vetiver com manta. **pg.208**
- Figura 157.** Imagem comparativa demonstrando o efeito das baixas temperaturas do inverno sobre as mudas de capim Vetiver nas UAs-VcM e VsM. **pg.209**
- Figura 158.** Aspecto geral das AE-II evidenciando o dano sofrido pela vegetação em função do rigoroso inverno de 2016. **pg.210**
- Figura 159.** Comparativo com os dados relativos ao desenvolvimento do capim Vetiver na AE-II, ao longo de 13 meses de acompanhamento. Sequência em sentido horário. **pg.211**
- Figura 160.** Quantificação dos regenerantes na parcela Mix com o gabarito de 1 m², zona – Z1. **pg.211**
- Figura 161.** Alguns exemplares de regenerantes registrados durante o primeiro monitoramento realizado na AE-II. **pg.212**
- Figura 162.** Detalhe de regenerantes sobre a parcela com *topsoil* de mata ciliar. **pg.212**
- Figura 163.** Indivíduos de trevo vesiculoso sobre a parcela Mix. **pg.214**
- Figura 164.** Regenerantes verificados na zona três Z3, UAP4-MC após 13 meses de deposição do *topsoil*. **pg.215**
- Figura 165.** Gráfico representando o total de indivíduos vegetais registrados para as unidades de avaliação, ao longo dos trezes meses de coleta dos dados em campo. **pg.216**
- Figura 166.** Gráfico representando as diferentes espécies vegetais verificadas para as UAs da área experimental II. **pg.217**
- Figura 167.** Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP1-Mix durante o período avaliado. **pg.217**

- Figura 168.** Gráfico representando as diferentes espécies registradas na parcela UAP1-Mix durante o período avaliado. **pg.218**
- Figura 169.** Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP2-ME durante o período avaliado. **pg.218**
- Figura 170.** Gráfico representando as diferentes espécies registradas na parcela UAP2-ME durante o período avaliado. **pg.219**
- Figura 171.** Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP3-Ts durante o período avaliado. **pg.219**
- Figura 172.** Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP4-MC durante o período avaliado. **pg.220**
- Figura 173.** Gráfico representando as diferentes espécies observadas na parcela UAP4-MC durante o período avaliado. **pg.220**
- Figura 174.** Biomineralizações de sílica em células de gramíneas, fitólitos de solo, identificados na propriedade rural em estudo, meio fortemente instável: **A.** *trapeziform*; **B.** *elongate*; **C.** *cuneiform* e **D.** *bulliform paralelepipedal*. Escala em 10 micrômetros. **pg.230**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantificação dos areas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **pg. 19**

Tabela 2. Resultado das análises - Laboratório de Substrato (FAGRO/UFRGS). **pg.156**

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Resultados das análises físico-químicas dos solos. **pg.141**
- Quadro 2.** Percentual da fração textural de acordo com as análises de sedimentos. **pg.150**
- Quadro 3.** Análise de coloração – laboratório CECO/UFRGS. Predominância das cores vermelho (red), vermelho escuro (dark red) e marrom-avermelhado escuro (dark reddish Brown). **pg.152**
- Quadro 4.** Diagnóstico obtido para as 13 amostras, com base nos laudos das análises de solo. Determinação dos níveis de acidez (pH), teor de macronutrientes, CTC e percentual de matéria orgânica (MO). **pg.160**
- Quadro 5.** Dados obtidos no primeiro monitoramento do Vetiver estabelecido sobre talude de uma ravina, realizado em dezembro de 2015, dois meses após a aplicação de adubo orgânico. **pg.176**
- Quadro 6.** Dados obtidos no monitoramento do Vetiver estabelecido sobre talude de uma ravina, dez meses após a aplicação de adubo orgânico. **pg.178**
- Quadro 7.** Último monitoramento das touceiras de capim Vetiver sobre talude de ravina, treze meses após a aplicação de adubo orgânico. **pg.179**
- Quadro 8.** Cálculo do RDE para o setor à esquerda da bacia hidrográfica Sanga da Areia, sentido nascente-foz. **pg.186**
- Quadro 9.** Cálculo do RDE para o setor à direita da bacia hidrográfica Sanga da Areia, sentido nascente-foz. **pg.186**
- Quadro 10.** Médias mensais de precipitação para o intervalo de tempo considerado. **pg.189**

INTRODUÇÃO

Compreender o ambiente por meio de uma perspectiva da análise ambiental integrada e sistêmica se torna imperativo, pois fatores como a supressão da vegetação original não bastam para explicar a diversidade, a frequência e a intensidade dos processos morfológicos verificados. Para que se consiga alcançar uma análise mais completa, as relações entre elementos da cobertura vegetal, componentes geológicos, padrões climáticos e variáveis meteorológicas, processos pedológicos e edáficos, presença de micro e mesofauna, uso e manejo do solo, dinâmicas hidrológicas, características topográficas entre outras, devem ser consideradas.

A análise do meio a partir da perspectiva geomorfológica se faz fundamental para o diagnóstico ambiental e o desenvolvimento de pesquisas em áreas nas quais estejam em plena atividade processos de erosão hídrica em superfície, ravinas, voçorocas, assim como a formação de núcleos de arenização.

Na região da Campanha Gaúcha, a sudoeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), é registrada a ocorrência de um processo denominado como arenização em um conjunto de municípios da fronteira oeste. Condicionantes específicos constituem um meio de grande fragilidade natural, para o qual a ausência de cobertura vegetal acaba por promover a remobilização de sedimentos arenosos pela ação da água da chuva e do vento, formando núcleos de areais, ravinas e voçorocas.

O processo de arenização no estado do RS tem sido objeto de estudo há mais de duas décadas, com suas temáticas abordadas por diversos profissionais e especialistas através de distintas áreas do conhecimento, Instituições de Ensino e Pesquisa, Órgãos Públicos, entre outros. Há uma vasta bibliografia desenvolvida e disponível sobre o assunto, destacando-se: Cordeiro & Soares (1975), Souto (1985), Suertegaray (1987), Klamt (1994), Ab'Saber (1969), Klamt & Schneider (1995), Suertegaray (1995), Marchiori (1995), Verdum (1997), Suertegaray (1998), Suertegaray *et al.* (2001), Bellanca (2002), Verdum (2003), Trindade (2003), Verdum (2004), Freitas (2006), Rovedder (2007), Mósená (2008), Silva (2009), Boldrini *et al.* (2010), Vieira (2012), Oliveira *et al.* (2015), entre tantos outros.

A região da Campanha gaúcha tem sido historicamente caracterizada pelo predomínio da atividade pecuária desenvolvida sobre áreas campestres originalmente cobertas por espécies vegetais nativas do Bioma Pampa. A partir das últimas décadas do

século XX, no entanto, teve início uma alteração bastante marcante na matriz produtiva, com a introdução de monocultivos de espécies agrícolas anuais e, mais recentemente, o estabelecimento de monocultivos florestais de espécies comerciais. Estas alterações, derivadas pela ação direta e deliberada do homem sobre o ambiente, têm ocasionado grande impacto, promovendo o aumento de focos de arenização, a ampliação daqueles já existentes, além do desencadeamento de processos erosivos avançados, como ravinas e voçorocas. Dentre todos estes impactos, no entanto, a redução do campo nativo se constitui na face mais grave resultante das alterações ambientais geradas pela atividade agrícola praticada em desacordo com o potencial ambiental, colocando o Bioma Pampa na lista dos ecossistemas mais ameaçados do Brasil, com mais de 50% de sua cobertura vegetal original degradada, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA. Apesar de vasta produção bibliográfica e científica a respeito da temática da arenização verifica-se, entretanto, que há um desacordo quanto ao seu entendimento como área degradada, onde tenha havido a perda do potencial de resiliência e da capacidade de restabelecimento das funções ecossistêmicas, mesmo depois de cessados os fatores causadores do distúrbio em seu equilíbrio original.

É notória a escassez de propostas que fomentem o emprego de espécies vegetais nativas e o uso de técnicas de baixo custo direcionadas ao controle dos processos de erosão hídrica e ao restabelecimento de cobertura vegetal nas áreas com arenização. Como produto deste cenário, políticas públicas tem incentivado o plantio de espécies exóticas de interesse comercial, alterando a fitofisionomia original e causando grande impacto nos ecossistemas locais. É exatamente neste contexto que se insere a presente pesquisa. Para a concepção inicial de desenvolvimento do trabalho foram formuladas questões fundamentais como:

1. Quais as principais características e problemáticas relacionadas aos solos de textura predominantemente arenosa no sudoeste do RS?
2. A arenização representa um processo de degradação ambiental, com perda do potencial de resiliência?
3. Existem alternativas técnicas capazes de estabilizar as dinâmicas morfológicas locais e restabelecer uma cobertura vegetal?

A escolha do município de São Francisco de Assis, localizado no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, para a condução do presente projeto de pesquisa foi definido de modo a complementar o trabalho realizado entre os anos de 2010 a 2012. O referido

trabalho resultou na produção de Dissertação de Mestrado, conduzida no Departamento de Geografia da UFRGS, com ênfase na estabilização de processos erosivos avançados em área com ocorrência de arenização. Ao final do mesmo foi possível verificar a ocorrência de um banco de sementes de espécies vegetais nativas com grande potencial de colonização, sendo a maior limitação para o desenvolvimento a constante mobilização do sedimento pela ação da água da chuva e do vento. Ou seja, o entendimento de que os areais são áreas degradadas pode ser abordado sobre uma perspectiva de relatividade, sendo confirmado somente em relação a alguns contextos específicos de uso e manejo do solo.

A justificativa principal para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa teve como base a necessidade em gerar propostas metodológicas que permitam ao produtor rural uma fácil e rápida interpretação dos diferentes contextos relacionados às áreas com ocorrência do processo de arenização no extremo sul do Brasil, permitindo o seu entendimento quanto ao potencial de resiliência e à adoção de técnicas de baixo custo e fácil implantação, que estejam em acordo ao ecossistema original. Desta forma, busca-se promover o fomento à produção e comercialização de sementes e mudas de espécies vegetais nativas do Bioma Pampa, em específico da região com ocorrência do processo de arenização, alinhadas a projetos lançados em escala federal pelo Ministério do Meio Ambiente, como o Projeto Biomas, Projeto Plantas do Futuro, Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG e ao mais recente Projeto que visa a definição de espécies vegetais nativas prioritárias para a Restauração Ecológica do Bioma Pampa, proposto em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA.

De modo a enriquecer o debate sobre os areais da fronteira oeste do RS podem-se evidenciar fatores complementares que caracterizam e diferenciam os processos de arenização e desertificação. Da mesma, forma esses podem estar relacionados ou não a um efetivo diagnóstico de degradação do ambiente, seja a mesma um produto da gênese natural ou desencadeada pela ação humana. Os processos supracitados são, muitas vezes, tomados como sinônimos. Isso se deve, em grande parte, em função de uma lacuna existente com relação à análise do potencial de regeneração natural e das relações ecossistêmicas em áreas com o processo de arenização. Como resultado, são multiplicadas as recomendações baseadas no emprego de espécies exóticas de interesse comercial como única alternativa viável para o estabelecimento de cobertura vegetal, estabilização de núcleos de arenização e controle de processos erosivos. Outro ponto de

discussão muito relevante diz respeito ao atendimento da Nova Lei de Proteção à Vegetação Nativa, Lei nº 12.651 de 2012, também chamado de Novo Código Florestal Brasileiro. De acordo com o depoimento obtido junto à proprietária da área onde foi desenvolvida a pesquisa, sobre os locais onde atualmente se encontram a maioria dos processos erosivos havia um fragmento florestal. A vegetação arbórea fora suprimida de forma brusca após um evento extremo de precipitação, devido a processos avançados de erosão hídrica, à elevação e fluxo e à velocidade de vazão do curso de água adjacente. Nas palavras da produtora rural, a erosão comeu a mata, da noite para o dia (informação verbal). Situado próximo a um curso de água que limita a propriedade a jusante, o local supracitado se encontra grande parte sobre Área de Preservação Permanente – APP, de acordo com a Lei nº 12.651 de 2012. Esta informação gerou questionamentos quanto à possibilidade de ainda haver um banco de sementes viável e quanto à capacidade em se estimular a implantação de nova cobertura florestal no local, desde que identificados e mitigados os principais fatores limitantes. Não se propõe, pelo presente, avaliar com rigor taxonômico a biodiversidade vegetal, mas, sim, a capacidade do ambiente em dar suporte à germinação de sementes e ao estabelecimento de nova cobertura vegetal frente às variáveis climáticas, pedológicas e morfogenéticas atuais.

A distância da área em estudo, o permanente pisoteio do gado que transitava livremente por toda a propriedade rural somado ao fato de não haver morador fixo se mostraram fatores impeditivos ao estabelecimento de experimentos que demandassem monitoramentos e coletas de dados com precisão e periodicidades diária, semanal e mensal. Dessa forma, o protocolo adotado foi partir da observação, registro e avaliação de fatos particulares para então gerar considerações que pudessem ser extrapoladas para um contexto maior, registrando um ganho em informações e não somente a aplicação imediata e lógico-dedutiva de um pressuposto geral sobre um recorte espaço-temporal específico.

Como Hipótese do trabalho foi proposto verificar se uma área com ocorrência de focos de arenização e processos de erosão hídrica corresponde, efetivamente, a uma área degradada pela ação humana e zoógena. Ou seja, a partir de dados específicos foi avaliado o potencial de resiliência e as condições propícias ao estabelecimento de cobertura vegetal nativa, uma vez identificados os filtros ecológicos predominantes.

O objetivo principal fundamenta-se na geração de uma metodologia de análise e diagnóstico que viabilize uma recomendação técnica adequada, direcionada ao estabelecimento de cobertura vegetal sobre áreas com ocorrência do processo de

arenização e erosão hídrica. Como base metodológica foram assumidos princípios fundamentais da restauração ecológica, a ênfase na conservação de ecossistemas campestres, o fomento à produção de espécies vegetais nativas do Bioma Pampa e o incentivo à autonomia de execução pelo produtor rural.

Como objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Compreender, de forma integrada, a dinâmica ambiental regional e local.
- b) Analisar o potencial de regeneração natural da área de estudo por meio de técnicas de nucleação, tendo como base princípios de restauração ecológica.
- c) Identificar algumas espécies e famílias botânicas que tenham potencial de colonização no contexto da pesquisa.
- d) Avaliar a importância dos resultados e a viabilidade para o estabelecimento de cobertura vegetal sobre áreas com arenização e processos erosivos avançados.
- e) Propor uma metodologia que permita a interpretação dos processos morfológicos e a implantação de intervenções técnicas de baixo custo e fácil execução pelo produtor rural.

A Tese está organizada em cinco capítulos teórico-metodológicos principais, sendo seguidos pelo item seis, que trata dos resultados e discussões e pelo item sete, que apresenta as considerações finais. O item oito aborda, de modo complementar, investigações paralelas e perspectivas futuras. Três eixos condutores foram definidos para a abordagem teórica, de acordo com áreas do conhecimento essenciais ao desenvolvimento do trabalho, sendo: Geociências, Ciências Agrárias, e Ciências Biológicas. **O Capítulo um** trata de uma breve conceituação sobre o processo de arenização no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul. **O Capítulo dois** aborda os conceitos relacionados à Restauração Ecológica, Resiliência Ambiental, e a viabilidade do emprego de técnicas de Restauração Ecológica para a recuperação de áreas degradadas.

No **Capítulo três** é apresentada a caracterização da área de estudo com base princípios da Teoria Ecodinâmica de Tricart (1977). Esta metodologia trata da adoção da perspectiva ecossistêmica e da análise ambiental integrada para a interpretação preliminar do ambiente, relacionada a uma correta abordagem e gestão de locais onde são desenvolvidas atividades agroeconômicas.

O Capítulo quatro trata da metodologia aplicada para uma leitura e interpretação integrada da área em estudo visando a produção de um diagnóstico

abrangente, que pudesse fundamentar as técnicas propostas e as discussões finais. Trabalhos de campo, laboratório e gabinete foram realizados em paralelo.

O Capítulo cinco apresenta os procedimentos técnicos adotados para a avaliação do potencial de resiliência com base em técnicas de restauração ecológica e no emprego do Sistema Vetiver (*Vetiver System – VS*), contemplando a execução de áreas para avaliação em campo, atividades periódicas de coleta de dados e monitoramento, análises em laboratório, e trabalhos em gabinete.

A apresentação dos resultados obtidos para o diagnóstico e a avaliação do potencial de resiliência com o devido aporte de considerações, análises e discussões estão considerados no **Capítulo seis**.

O Capítulo sete apresenta considerações engendradas ao longo pesquisa, instigando o debate e as discussões sobre as adequações e as limitações das propostas teórico-metodológicas empregadas. **O Capítulo oito** apresenta investigações realizadas de modo paralelo, com o intuito de enriquecer o debate, complementar a metodologia principal e fornecer argumentos para o desenvolvimento e a implantação de proposições técnicas futuras.

O Capítulo nove encerra o corpo discursivo e argumentativo da Tese, por meio das conclusões.

1 ARENIZAÇÃO

“Las ciencias ambientales buscan analizar las relaciones complejas que afectan el ambiente y los organismos vivos. Los factores involucrados en el proceso son de naturaleza física, química, biológica, socioeconómica y cultural. Es importante establecer interpretaciones multicausales, de modo que cualquier conflicto ambiental no puede ser nunca comprendido exclusivamente en términos ecológicos, como tampoco se reduce a una mera cuestión económica y social”.

(Oscar Simón Rodríguez Parisca, 2010, p. 52).

1.1 O PROCESSO DE ARENIZAÇÃO NO BRASIL

Diversos modelos de uso, ocupação do solo e desenvolvimento de atividades agropecuárias em áreas rurais e periurbanas têm demonstrado um significativo insucesso ao tentar equacionar de forma sustentável questões-chave, tais como: crescimento populacional, produção de alimentos, fornecimento de matérias-primas e conservação ambiental, especialmente nos países em um cenário de desenvolvimento econômico. Considerando o contexto histórico brasileiro, o setor primário segue desempenhando um papel fundamental na construção de indicadores socioeconômicos, como o Produto Interno Bruto (PIB). Sendo um país com significativa extensão territorial e dimensões continentais, o Brasil se apresenta como um dos mais importantes no mundo em termos de biodiversidade de flora e fauna e condições climáticas favoráveis à produção vegetal e à criação animal. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, MMA, são reconhecidos seis Biomas brasileiros, que se destacam por apresentar características específicas quanto às condições climáticas, fitofisionomias, formações rochosas, toposequências, tipos de relevo, bacia hidrográfica, fauna endêmica e certa homogeneidade em termos de Paisagem, sendo denominados: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Os solos arenosos estão presentes nos mais diversos ecossistemas, desde campestres aos ambientes com vegetação de restinga; ecossistemas florestais a ambientes de transição entre a Caatinga e o Cerrado; ecossistemas litorâneos a ambientes de vegetação esparsa e de baixo porte, como estepes e savanas, entre outros. Em escala geológica os solos de textura predominantemente arenosa se encontram relacionados ao Período Quaternário da Era Cenozóica.

O Bioma Pampa, região da Campanha Gaúcha, é assumido como referência para a abordagem do processo de arenização neste trabalho, podendo vir a ser relacionado comparativamente a outros Biomas brasileiros onde também haja a ocorrência do processo e de suas formas.

O termo arenização foi proposto de forma pioneira por Suertegaray em sua Tese de Doutorado defendida na USP, no ano de 1987. A geógrafa assumiu como objeto de estudo sua terra natal, Quaraí, localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. A cidade se encontra estabelecida sobre uma matriz de Latossolos Vermelhos (Lv), onde também estão presentes enclaves de Neossolos Quartzarênicos (RQ), Neossolos Litólicos, dentre outros tipos de solos. Quaraí localiza-se na região da Campanha Gaúcha, Bioma Pampa, constituindo fronteira com o município de Artigas, no Uruguai. A cidade apresenta, pontualmente, extensas áreas de solo descoberto, com acúmulos de sedimentos em forma de dunas e manchas de areia associadas, ou não, a ravinas e voçorocas. Intrigada com a gênese destas áreas, a pesquisadora analisou o processo com sobre as perspectivas Histórica e Geomorfológica, definiu, resumidamente, o processo de arenização como ‘o produto do retrabalhamento de depósitos areníticos pouco consolidados ou arenosos inconsolidados através da ação direta da água da chuva e do vento, o que acaba por promover dificuldade para a fixação da vegetação, devido à constante mobilidade dos sedimentos’ (SUERTEGARAY, 1987, p.122). Em outros estados brasileiros, como Piauí, Tocantins, Maranhão, Bahia, Goiás, Mato Grosso e Amazônia o processo de arenização tem a sua origem prioritariamente associada ao desmatamento e ao manejo inadequado de solos de textura arenosa, utilizados para o desenvolvimento de atividades agropecuárias.

Importantes debates conceituais envolvem a temática da arenização, sendo de suma relevância para este trabalho o questionamento sobre a gênese e a característica dos areais. São, estas formas, o resultado de processos geomorfológicos naturais ou derivam da degradação dos solos causada pela ação humana?

A degradação da qualidade ambiental, segundo o exposto pela Política Nacional do Meio Ambiente Lei nº 6.938 de Agosto de 1981 em seu artigo 3º, é definida como resultado da perda adversa das características do meio ambiente (Ministério do Meio Ambiente - MMA).

No estado de Goiás solos com mais de 90 % de areia quando acometidos por processos de erosão laminar e em sulcos, ravinas e voçorocas, excesso de exploração, ausência de cobertura vegetal, baixos rendimentos em cultivos agrícolas, dentre outros

sintomas, são considerados degradados e recomenda-se que as áreas sobre estes solos arenosos sejam utilizadas para a preservação (SCOPEL *et al.*, 2011, p.16). Estudos realizados no sudoeste do estado de Goiás por Scopel *et al.* (2013) demonstram o mapeamento das áreas com ocorrência do processo de arenização sobre solos arenosos e discorrem acerca da dificuldade em se realizar a produção agrícola na região em função das características físico-químicas típicas de solos muito arenosos, além da elevada taxa de infiltração da água em superfície - Figura 1.

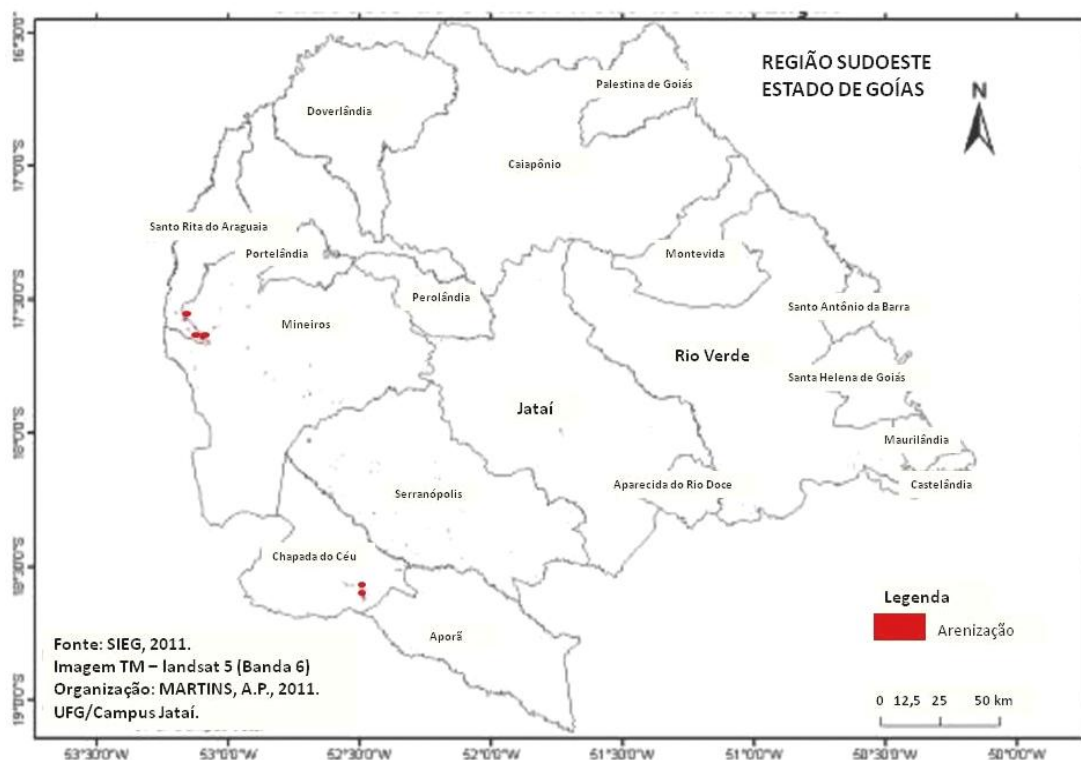


Figura 1: Áreas com manchas de solo exposto, arenização, no sudoeste de Goiás, demarcadas pelos pontos vermelhos. Adaptado de Scopel *et al.* (2013).

Em seu trabalho sobre indicações para uso e manejo de solos arenosos no sudoeste de Goiás, Scopel *et al.* (2011) avaliaram diferentes fatores limitantes quanto aos Neossolos Quartzarênicos, tais como a deficiência de fertilidade, a deficiência de água, o excesso de água ou a deficiência de oxigênio, a suscetibilidade à erosão e os impedimentos à mecanização. Para o contexto daquele estado o processo de arenização teria a sua gênese condicionada, predominantemente, pela expansão da fronteira agrícola, pelo desmatamento e o emprego de práticas inadequadas de uso e manejo do solo. Dessa forma, os autores descreveram e recomendaram o emprego de práticas

vegetativas para cobertura e manejo de baixo impacto dos solos que possuem um teor da fração textural areia superior a 90%. Para as atividades de lavoura, silvicultura e pastagem foram sugeridas práticas conservacionistas, tais como: o consórcio entre gramíneas e leguminosas, o cultivo mínimo, o plantio direto e a correção da acidez através da aplicação de calcário agrícola.

A tendência à arenização na Amazônia foi abordada no trabalho de Albuquerque (1999), no qual a autora realiza uma análise geomorfológica e propõe uma tipologia para as ravinas e voçorocas desenvolvidas em áreas de solos arenosos. A ênfase recaiu sobre locais onde houve impacto ambiental negativo devido à remoção da cobertura vegetal pela ação humana.

Oliveira *et al.* (2015) propuseram a análise de áreas em processo de arenização em municípios de Maçambará, Serranópolis, Mateiros e Gilbués, localizados nos estados brasileiros do Rio Grande do Sul - RS, Goiás - GO, Tocantins – TO e Piauí - PI, respectivamente. De acordo com os autores, nos estados do RS e GO registra-se a ocorrência natural do processo de arenização, agravado pela acelerada expansão do cultivo de espécies alimentícias de ciclo anual como a soja (*Glycine max* L. Merrill) e de espécies florestais comerciais como o eucalipto (*Eucalyptus* sp.). Já nos estados do Piauí e Tocantins são verificados núcleos em processo de desertificação, como uma face expressiva da degradação ambiental em áreas com ocorrência de arenização.

Vieira *et al.* (2016) desenvolveram um projeto de pesquisa utilizando técnicas de restauração ecológica, espécies exóticas e biotêxteis para comprovar que, uma vez identificados os principais filtros ecológicos, as áreas com o processo de arenização, ravinas e voçorocas podem vir a ser estabilizadas e ter a cobertura do solo reestabelecida. Apesar de haver uma grande quantidade de trabalhos desenvolvidos no estado e no Brasil, verifica-se que não há uma ampla divulgação para os produtores rurais em linguagem acessível, restringindo a sua adoção e replicação. Esta situação acaba por viabilizar que empresas estrangeiras do ramo florestal, como a sueco-finlandesa Stora Enso consiga adquirir milhares de hectares destinados ao plantio de arbóreas exóticas, alterando a paisagem da campanha gaúcha. Somado a este fato verifica-se a crescente expansão de lavouras de culturas anuais como a soja sobre áreas onde tradicionalmente se verificaria uma fitofisionomia campestre, contribuindo para que o Bioma Pampa seja hoje um dos mais ameaçados dentre os seis Biomas brasileiros. É a partir desta situação que se constrói a presente proposta de pesquisa, visando produzir um material que ofereça um rol de alternativas técnicas que sejam de baixo

custo e eficazes, sem causar impactos negativos no ecossistema local, servindo como um adequado e abrangente referencial aos produtores rurais, estudantes e pesquisadores com afinidade à temática.

1.2 ARENIZAÇÃO NO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL

A temática que trata do processo de arenização na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, regiões fisiográficas da Campanha, Depressão Central e das Missões, vem sendo objeto de estudo desde as últimas três décadas do século passado até os dias atuais, pelas mais diversas instituições de ensino e pesquisa, com destaque para os trabalhos desenvolvidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal de Santa Maria - RS, junto aos cursos de Geografia e Agronomia, Geologia e Engenharia Florestal, respectivamente. Como marco referencial conceitual têm-se os trabalhos de Ab'Saber (1977), Cordeiro e Soares (1977), Souto (1985), Suertegaray (1987), Verdum (1997), Suertegaray (1998), Suertegaray *et al.* (2001), Verdum (2003), e Suertegaray *et al.* (2012).

Dispõe-se de um amplo e diverso referencial teórico a respeito do processo de arenização na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. A diversidade de enfoques abrange desde a identificação dos condicionantes geológicos, climáticos, geomorfológicos, vegetacionais, históricos e culturais até a interpretação da evolução paleoclimática, elementos pedogenéticos, características edáficas, mudanças na matriz socioeconômica, impactos ambientais, processos erosivos associados, recuperação e implantação de cobertura vegetal em áreas com arenização, conservação das espécies nativas dos areais, dentre tantas outras questões de suma relevância.

Importante ressaltar, da mesma forma, algumas discussões fundamentais abordadas da literatura específica sobre o tema, como: a distinção entre arenização e desertificação; a arenização como processo natural ou como expressão máxima de um processo de degradação ambiental; a conservação de uma fitofisionomia campestre ou o fomento aos monocultivos comerciais florestais; os impactos decorrentes do uso e manejo do solo atual e sua relação com o aumento das áreas com arenização.

Suertegaray (1998, p. 15) cita o trabalho de Le Houérou que trata da natureza e as causas da desertificação para apresentar um debate conceitual de imensa importância. Henry-Nöel Le Houérou, biólogo francês, botânico e especialista em ecossistemas da

região norte do continente africano propôs uma distinção entre os termos Desertização e Desertificação. A palavra desertificação, de acordo com o pesquisador, estaria relacionada à perda dos mais diferentes tipos de cobertura vegetal, sejam estas formações campestres, savanóides, estépicas, florestas úmidas e subúmidas, entre outras, sem haver a especificação quanto à natureza dos desertos, físicos ou biológicos. A influência da ação humana relacionada à supressão da vegetação demonstraria, dessa forma, estreita relação quanto ao entendimento do processo de desertificação bem como a sua forma, os desertos. Desertização, por outro lado, faria menção à ocorrência de formas características dos desertos em extensões da paisagem onde, em um passado recente, as mesmas não seriam até então verificadas. Para este conceito o biólogo francês já teria associado limites de precipitação verificados em regiões localizadas nas margens de desertos, com médias anuais de 100 e 200 mm de chuva (SUERTEGARAY, 1998, p. 15).

Suertegaray, M.R. (2012, p. 393) elaborou uma classificação climática com maior detalhamento para o estado do RS, tendo como base os mapas de variabilidade mensal dos elementos do clima. Associando estes mapas com as unidades de relevo e a análise rítmica dos tipos de tempo desenvolvida para o ano padrão habitual no estado, com referência ao ano de 2000, a autora definiu quatro tipos de clima para o estado, sendo dois deles com subdivisões:

1. Subtropical I – pouco úmido: Subtropical Ia – pouco úmido com inverno frio e verão fresco e Subtropical Ib – pouco úmido com inverno frio e verão quente;
2. Subtropical II – medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias;
3. Subtropical III – úmido com variação longitudinal de temperaturas médias;
4. Subtropical IV – muito úmido: Subtropical IVa – muito úmido com inverno fresco e verão quente, e Subtropical IVb – muito úmido com inverno frio e verão fresco.

Tendo como ênfase a análise dos areais do RS com enfoque no potencial climático, em especial aqueles localizados no município de São Francisco de Assis, Verdum (1997) ratifica argumentos demonstrados em trabalhos anteriores sobre o fato de os areais do sudoeste gaúcho não serem configurados como desertos, pois que as médias anuais de precipitação na região atingem normais pluviométricas em torno de 1.400 mm. De acordo com o autor, um dos principais fatores que condicionam a

formação dos areais no RS diz respeito à má distribuição espacial e temporal das chuvas no estado, além do fato desta dinâmica pluviométrica estar ocorrendo de forma associada às recentes mudanças promovidas na matriz produtiva do setor primário.

Suertegaray, M.R. (2012, p. 410) individualiza o tipo climático Subtropical Ib para a região sudoeste do estado. Segundo a autora, a região climática que abrange os areais caracteriza-se pela má distribuição das precipitações, com ocorrência de chuvas concentradas em poucos dias e fluxo torrencial em grande parte dos eventos. Dessa forma, os processos de escoamento concentrado do fluxo de água acabam por ser potencializados, dando condições à formação dos areais. Esta interpretação vai ao encontro da dinâmica ambiental apresentada por Verdum (1997).

A precipitação de chuvas de elevada intensidade em um curto período de tempo e intervalos irregulares confere uma dinâmica de elevado potencial erosivo, promovendo uma constante mobilização e transporte dos sedimentos arenosos, o que gera dificuldade no estabelecimento da cobertura vegetal nativa.

Segundo Suertegaray (1998, p. 16) apesar de haver uma vegetação de estepe, verifica-se uma condição de umidade bem distribuída ao longo do ano, com o registro de temperaturas médias variando entre 14,3° no inverno e 26,3° no verão, para a região de ocorrência dos areais o que, por si só, exclui a possibilidade de se denominar como desertos as áreas com a superfície ausente de vegetação e solo exposto (“manchas de areia”). Tanto Suertegaray (1987) quanto Verdum (1997) reforçam o fato de que as recentes mudanças nas formas de uso e manejo do solo, passando de uma criação extensiva de gado bovino a monocultivos anuais são inadequados à fragilidade natural do meio, potencializando a ocorrência de processos de arenização e, conseqüentemente, a formação de areais. Este pressuposto já havia sido abordado no importante trabalho produzido na forma de relatório por Cordeiro e Soares (1977, p.95) para a então Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), vinculada à Diretoria Técnica do IBGE. Os autores afirmam que a utilização inadequada de terras cuja vocação natural tem como base o cultivo e a preservação de pastagens naturais para o cultivo de lavouras de monoculturas anuais pode acarretar em prejuízos de difícil recuperação, chegando ao extremo de se tornarem irrecuperáveis ou mesmo originarem desertos na Campanha Gaúcha. De modo complementar, os autores afirmam que a erosão zoógena, provocada pelo constante pisoteio e pastoreio do gado, associada à utilização de áreas com cobertura vegetal rarefeita para o descanso noturno destes animais também são causas frequentes de remoção e impedimento de desenvolvimento

da cobertura campestre nativa, predispondo os frágeis solos arenosos à formação de areais (CORDEIRO e SOARES, 1977, p.113).

A descrição das principais etapas evolutivas que dão origem à formação dos areais em média vertente tem uma interpretação esquemática e ricamente ilustrada apresentada no trabalho de Suertegaray *et al.* (2001, p. 10), - Figura 2.

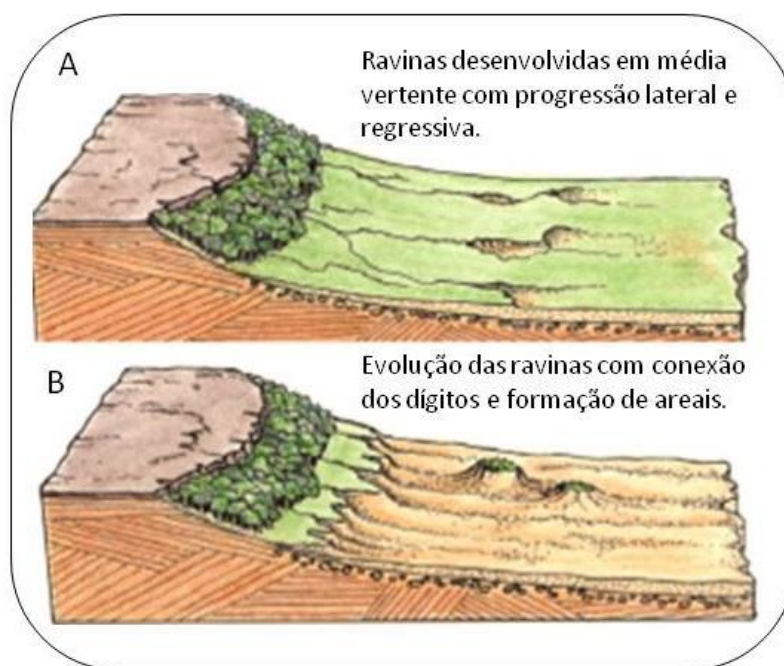


Figura 2: Ilustração esquemática representando sinteticamente a gênese dos areais em rampas, desenvolvidos sobre depósitos arenosos, em contato subjacente com Formações areníticas. Adaptado de Suertegaray *et al.* (2001, p.10).

À época de sua publicação, havia o entendimento de que os areais se desenvolviam sobre os sedimentos produzidos a partir da decomposição de rochas areníticas da Formação Botucatu, sendo a água da chuva o principal agente morfogenético. Com base em uma interpretação geomorfológica o processo de arenização parte da premissa inicial de que haja uma topografia favorável ao desenvolvimento de erosão em sulcos, ravinas e voçorocas. A partir de uma evolução lateral e regressiva estas formas erosivas seguem em sua expansão, com o alargamento de suas bordas. A água das chuvas que escoam pelo canal das feições erosivas carrega sedimentos ao longo de seu trajeto, em uma quantidade diretamente proporcional à intensidade das chuvas e à duração do período de estiagem anterior - Figura 3. Os sedimentos são então depositados em formato de leque, à jusante das ravinas e voçorocas, sobre uma cobertura vegetal de fitofisionomia campestre. Os depósitos

subsequentes acabam por se agrupar e suprimir grande parte da vegetação soterrada, dando início então aos núcleos de areais - Figura 4. Este material solto, não consolidado, fica facilmente suscetível à remobilização pela ação da água da chuva e dos ventos, permitindo que haja a expansão da arenização (SUERTEGARAY *et al.*, 2001, p. 10).



Figura 3. Fotografia tirada sobre área de colúvio, mostrando a ocorrência de ravinas (à esquerda), focos de arenização (à direita) e um areal consolidado (ao fundo). **Fonte:** L.M.B. de Lima (Setembro, 2011).



Figura 4. Detalhe de um areal com vegetação nativa remanescente. Quaraí RS. **Fonte:** L.M.B. de Lima (Setembro, 2011).

Cordeiro e Soares (1977, p. 114) definem de modo semelhante o processo de formação de areais a partir da dinâmica hídrica e erosão pluvial, como resultado do

transporte da areia por eventos de chuvas torrenciais através do canal de ravinas, formando um largo cone de dejeção do material a jusante. Uma vez seco e deslocado pelo vento, este acaba por recobrir o pasto adjacente, formando manchas de areia.

Desde a formulação do conceito de arenização por Suertegaray (1987) diversos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos e publicados, havendo substancial enriquecimento para o entendimento processual, fatores morfogenéticos, agentes condicionantes e feições morfológicas associadas ao processo no RS. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos há mais de 25 anos e amplamente divulgados pelo grupo de estudos em arenização do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) denominado '*Arenização-Desertificação: questões ambientais*', com livre acesso das informações pelo site oficial (http://www.ufrgs.br/areais-pampa/p_publica.htm).

O resultado destas constantes revisões e aprimoramentos reflete-se na construção de novas interpretações sobre a formação dos areais no sudoeste gaúcho. De acordo com Suertegaray (2011, p. 61) seriam quatro as principais fases relacionadas ao processo de arenização:

1. Fase inicial de instabilidade de determinados lugares. Esta fase estaria associada às condições estruturais da área (fraturas, diaclases e depressões), causando instabilidade em determinados recortes espaciais;
2. Fase de intensificação da dinâmica hídrica superficial e subsuperficial. Esta fase seria facilitada pelas características estruturais, que permitem a formação de degraus de abatimento nas médias encostas;
3. Fase de continuidade dos processos de erosão hídrica. Nesta fase ocorre a formação de ravinas e voçorocas com depósitos de areia a jusante, na base das feições erosivas, em forma de leques aluviais;
4. Fase de evolução erosiva das ravinas e voçorocas. Nesta etapa ocorre a evolução lateral e remontante dos processos avançados de erosão hídrica, promovendo a coalescência de depósitos arenosos e a consequente formação de areais sobre a superfície.

Os areais no extremo sul do Brasil estão localizados em uma área que compreende toda a porção oeste do estado do RS, delimitada pelas coordenadas geográficas entre as latitudes de 29°00 S e 31°00 S e as longitudes de 54°30 W Gr e 58°45 W Gr. O limite norte desta área tem como referencial o rio Ibicuí e ao sul o rio

Quaraí, na fronteira como Uruguai. Ao leste tem-se como limite o meridiano de 54°30' W Gr e a oeste a calha do rio Uruguai, na fronteira com a Argentina (SUERTEGARAY, 1998, p. 21) - Figura 5.

Em referência à malha hídrica, de acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA/RS, a ocorrência dos areais está contemplada na Região Hidrográfica do Uruguai, especialmente na área de influência da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. Localizada a sudoeste do estado, a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí abrange as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central. O rio Ibicuí surge a partir da confluência dos rios Ibicuí-mirim e Santa Maria, sendo o principal afluente do Rio Uruguai, marco divisório natural da fronteira oeste do estado com a Argentina - Figura 6.

Utilizando uma perspectiva de paisagem, Guasselli e Evers (2012, p. 231) esclarecem que a arenização no RS ocorre onde predominam as paisagens do 'pampa gaúcho', caracterizada pela ocorrência de relevos do tipo colinas, regionalmente denominadas por coxilhas, e morros testemunhos com cotas altimétricas em torno de 200 m, denominados como cerros, de acordo com a toponímia local.

Guasselli (2012) utilizou imagens de satélite como ferramenta para a análise do processo de arenização, buscando por meio desta a explicação sobre a localização, distribuição, a quantificação e a gênese dos areais, construindo uma tabela onde constam os principais municípios acometidos pelo processo, assim como a área mobilizada pelos areais em hectares (ha) e percentualmente, em relação à área total dos municípios considerados - Tabela 1. Os principais municípios relacionados à problemática dos areais encontram-se destacados em um trabalho precursor de espacialização e divulgação das informações denominado 'Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul', produzido no ano de 2001, em uma parceria da UFRGS com o governo do estado do RS - Figura 7.

Partindo-se de uma perspectiva de análise com base no estudo da estrutura do meio e do potencial ecológico e ênfase nos aspectos geo-pedológicos, geomorfológico e florístico, foram definidos três Compartimentos Geo-ecológicos na região de ocorrência dos areais, sendo: 1. Compartimentos dos campos limpos do alto Platô Vulcânico; 2. compartimentos arbóreos dos rebordos inclinados e dos vales encaixados do Platô Vulcânico e 3. compartimentos limpos da Depressão Periférica (SUERTEGARAY *et al.*, 2001, p. 12).

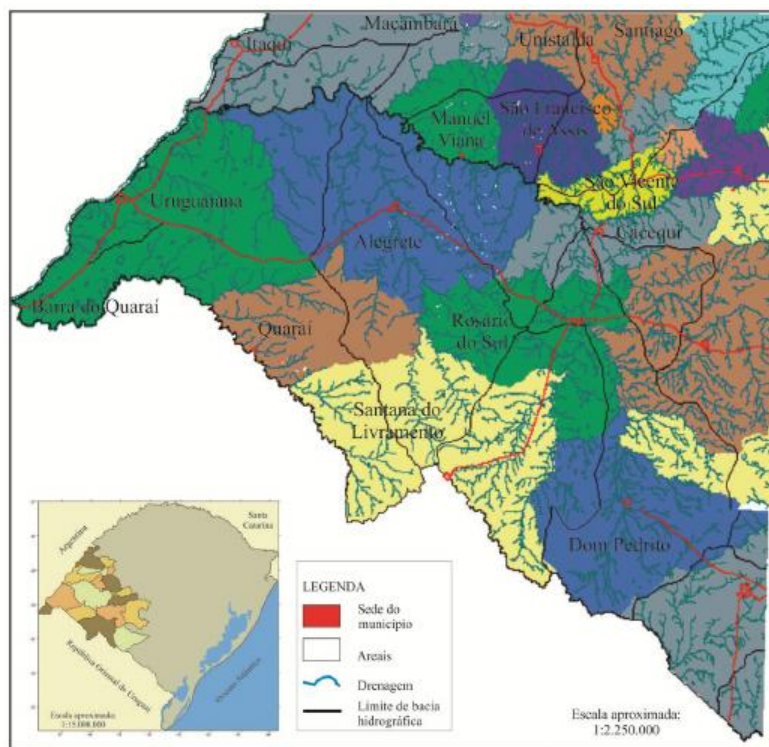


Figura 5. Destaque para a região e os municípios com a ocorrência do processo de arenização na porção sudoeste do estado do RS. **Fonte:** Suertegaray *et al.* (2001, p. 9).

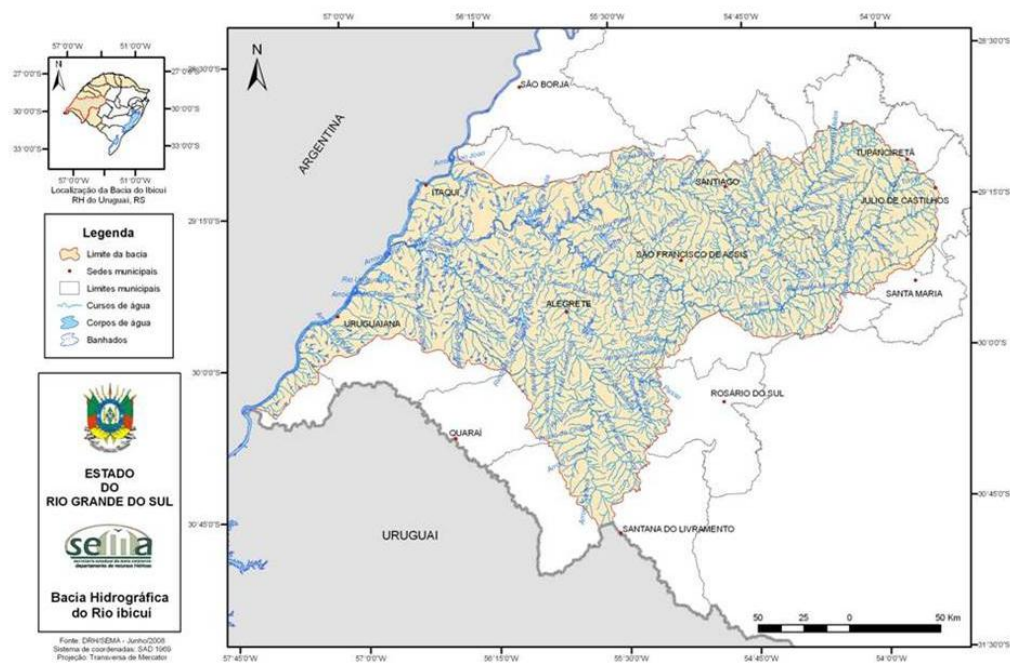


Figura 6. Área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, região sudoeste do RS. **Fonte:** SEMA – RS.

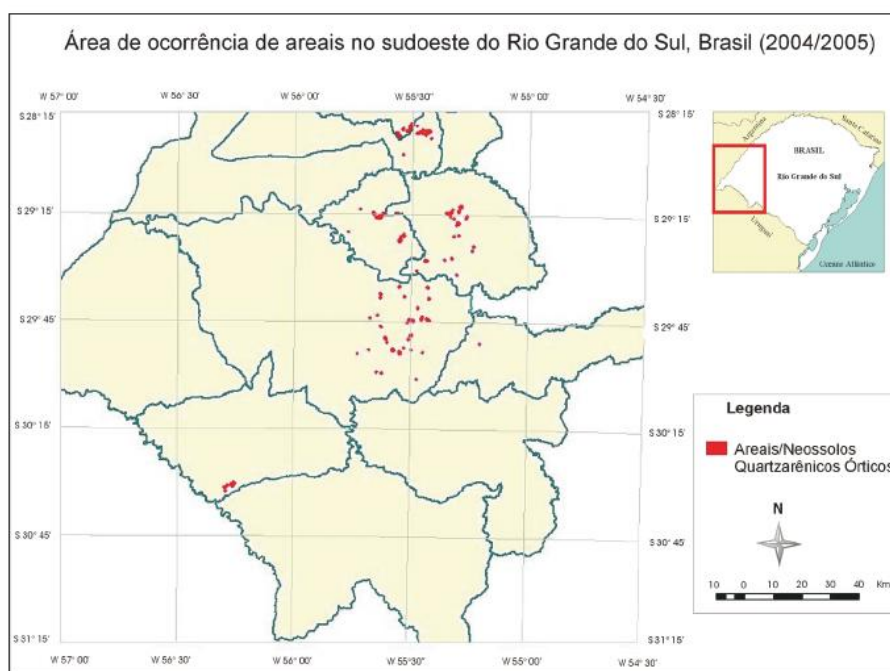


Figura 7: Indicação das áreas de mapeamento com maior ocorrência do processo de arenização, região sudoeste do RS. **Fonte:** Suertegaray (2011, p. 5).

Tabela 1. Quantificação dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul.

Município	Área do município (ha)	Área de areais (ha)		% de areais por município	
		1989	2004/2005	1989	2004/2005
Alegrete	772.060,00	934,67	939,87	0,1211	0,1217
Cacequi	233.307,00	9,36	18,00	0,0040	0,0077
Itaqui	329.675,00	23,30	14,48	0,0071	0,0044
Maçambará	178.857,00	276,66	276,12	0,1547	0,1544
Manuel Viana	128.738,00	551,97	561,78	0,4287	0,4364
Quaraí	322.466,00	230,40	234,09	0,0714	0,0726
Rosário do Sul	437.887,00	15,39	26,46	0,0035	0,0060
São Borja	380.185,00	194,94	212,40	0,0513	0,0559
São Francisco de Assis	259.859,00	765,27	720,72	0,2945	0,2773
Unistalda	57.061,00	22,41	23,49	0,0389	0,0408
TOTAL	3.100.635,00	3.024,37	3.027,41	0,0975	0,0976

Fonte: Guasselli (2012, p. 103).

Uma das linhas de entendimento para os areais qualificam os mesmos como expressão de um processo de degradação do solo, caracterizado pela diminuição do potencial biológico em função de uma conjuntura que combina a fragilidade do substrato pedológico com uma cobertura vegetal rarefeita e a abundância de água, em uma região de clima subtropical (SUERTEGARAY, *et al.*, 2001, p. 8).

O Instituto Nacional do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, IBAMA, a fim de unificar o conceito de área degradada para fins legais em âmbito nacional, define como área degradada, de acordo com o promulgado pela Instrução Normativa - IN nº 04 de 13 de Abril de 2011, Capítulo II, Art. 4º, inciso I:

“Área impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado conhecido antes, ou para outro estado que poderia ser esperado”.

Ou seja, basicamente se entende por área degradada aquela onde houve alteração intensa em seus processos ecossistêmicos naturais acarretando na perda da sua capacidade de resiliência, necessitando de uma intervenção externa para que possa recuperar algumas funções ecológicas básicas. Os conceitos sobre degradação, potencial de resiliência, processos ecossistêmicos e funções ecológicas serão debatidos em capítulos posteriores.

Outra linha interpretativa entende a gênese dos areais como resultante de uma dinâmica geomorfológica natural, sendo os fatores geológicos e climáticos os principais condicionantes. O arenito Botucatu, rocha constituída por arenitos feldspáticos róseos depositados pela ação do vento, com estratificação cruzada, se constitui no substrato litólico das áreas de ocorrência do processo de arenização. Sobre esta formação Mesozóica, datada do período Juro-Cretáceo, foram assentados pacotes de sedimentos arenosos inconsolidados depositados pela ação eólica e hídrica decorrentes das alterações nas condições climáticas globais ocorridas durante o Pleistoceno e o Holoceno. São estas deposições de sedimentos que predisõem o ambiente, em um período geológico recente, à ocorrência do processo de arenização (SUERTEGARAY *et al.*, 2001, p. 10).

Além da Formação Botucatu, trabalhos mais recentes conduzidos pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) para a elaboração do Mapa Geológico do RS confirmaram a inclusão de mais uma Formação Geológica para o sudoeste do estado. Dessa forma, a Formação Guará, de origem flúvio-lacustre e gênese anterior ao Botucatu, passou a ser objeto de estudo quanto ao mapeamento da

ocorrência de areais sobre a mesma (GUASSELLI, 2012, p. 120). A partir de um cruzamento entre os pontos mapeados com ocorrência de arenização com os arenitos da Formação Botucatu e Guará foi possível verificar que 98,52 % das manchas arenosas estão localizadas sobre as Formações Botucatu, Guará ou sobre áreas mapeadas como depósitos aluviais em contato com essas Formações, segundo Guasselli (2012, p. 122). De modo mais específico, o autor aponta que 38,45 % dos areais estão localizados sobre a Formação Botucatu e 52,92 % sobre a Formação Guará.

Os solos derivados da decomposição das Formações Guará e Botucatu apresentam coloração com tonalidades avermelhadas, em função do recobrimento das partículas minerais por óxidos de ferro e alumínio - Figura 8. Este enriquecimento por óxidos metálicos se explica, possivelmente, pela decomposição de rochas basálticas da Formação Serra Geral. A região sudoeste do estado do RS, estendendo-se pelo Planalto Rio-grandense e chegando até o litoral na fronteira com o estado de Santa Catarina foi testemunha da ocorrência de um dos maiores eventos de vulcanismo fissural do mundo - Figuras 9 e 10. Ocorrido durante o Cretáceo superior, sobre a Bacia sedimentar do Paraná, o derramamento atingiu grande parte das rochas areníticas, ficando estas recobertas por material ígneo.



Figura 8. Detalhe do pacote sedimentar Holocênico de coloração avermelhada, em areal localizado no município de Quaraí, RS. **Fonte:** L.M.B de Lima (Setembro, 2011).



Figura 9. Corte para abertura de estrada deixa exposto um talude formado por rochas basálticas ácidas pertencentes à Formação Serra Geral, no caminho para Quaraí, RS. **Fonte:** L.M.B de Lima (Setembro, 2011).



Figura 10. Areal em primeiro plano e relevo residual ao fundo. Quaraí, RS. **Fonte:** L.M.B de Lima (Setembro, 2011).

Para a região de ocorrência dos areais destaca-se a presença dos Neossolos Quartzarênicos órticos típicos. A subordem dos Neossolos Quartzarênicos compreende solos que não apresentam contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com uma sequência de horizontes A-C, predomínio de textura areia ou areia franca em todos os horizontes até um mínimo de 1,50 m a partir da superfície do solo ou até que haja um contato lítico. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, os Neossolos são essencialmente quartzosos, e praticamente não se verifica a presença de materiais minerais suscetíveis ao intemperismo. Registra-se uma participação igual ou

maior que 95% de quartzo, calcedônia e opala nas frações areia grossa e areia fina (EMBRAPA, 2013, p. 222).

Em Streck *et al.* (2008, p. 147 - 166) a classificação pedológica para o RS tem como base o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul produzido em 1973 pelo Ministério da Agricultura e IBGE - Figura 11, em uma escala 1:750.000 e se encontram distribuídos nas regiões fisiográficas da Depressão Central, região das Missões e região da Campanha Gaúcha. Nesta escala de mapeamento não se torna possível observar com maior detalhamento os enclaves de Neossolo Quartzarênico inseridos em uma matriz de Latossolo Vermelho para os municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana, por exemplo, sendo para tal os solos destes municípios classificados como Latossolos Vermelhos distróficos (LVd), em dissonância com o apresentado em vários trabalhos realizados nestes municípios, produzidos com base em escalas de maior detalhamento, expedições em campo e análises laboratoriais.

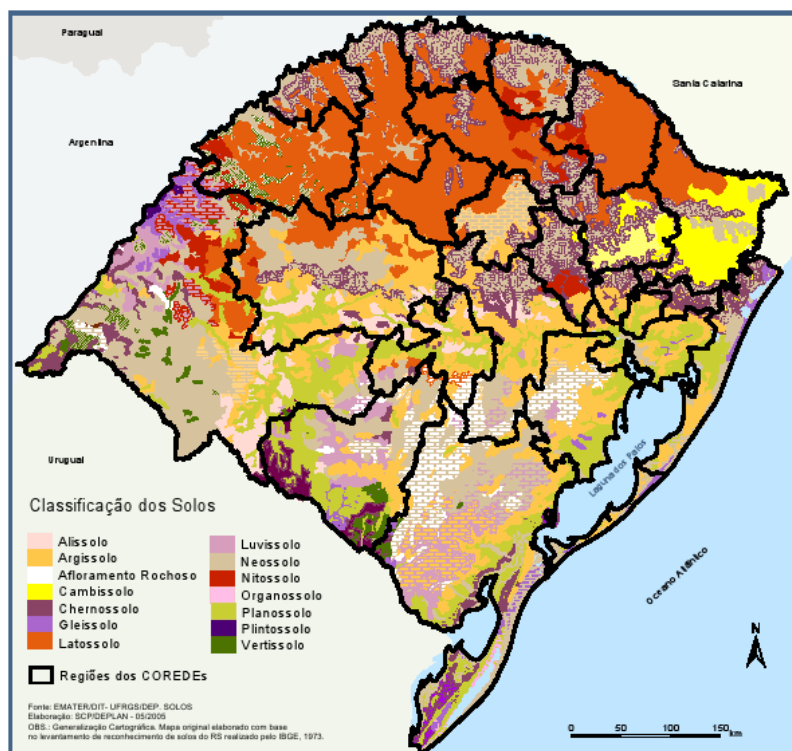


Figura 11. Classificação dos solos do RS. Elaboração SCP/DEPLAN, 05/2005. **Fonte:** EMATER/DIT – UFRGS/DEP. SOLOS e Atlas Socioeconômico do RS.

Quanto aos processos morfogenéticos, Suertegaray *et al.* (2001, p. 12) descrevem quatro conjuntos de processos identificados na região dos areais. Estes

conjuntos seriam exemplificados pelos ravinamentos (incipiente, concentrado, fundo de valão/canal de paleodrenagem e anfiteatro de erosão), pelo encaixamento da rede de drenagem (associado a redes de drenagem), aluvionamentos (cones de dejeção e diques marginais) e processos eólicos (representados pelos depósitos eólicos e deflação).

Os areas do RS desenvolvem-se sobre locais cuja cobertura vegetal se caracteriza por ecossistemas campestres, relativos ao bioma que originalmente cobria a maior parte do território gaúcho, aproximadamente 62%, o Bioma Pampa - Figura 12. De ocorrência restrita ao estado do Rio Grande do Sul, considerando somente o território brasileiro, o Pampa também se estende áreas dos países vizinhos, Uruguai e Argentina. Esta unidade ecológica pode ser dividida em pelo menos 10 unidades fitofisionômicas, tamanha sua diversidade florística, estrutural e composição de espécies (BOLDRINI *et al.*, 2010, p. 8-11) - Figura 13.

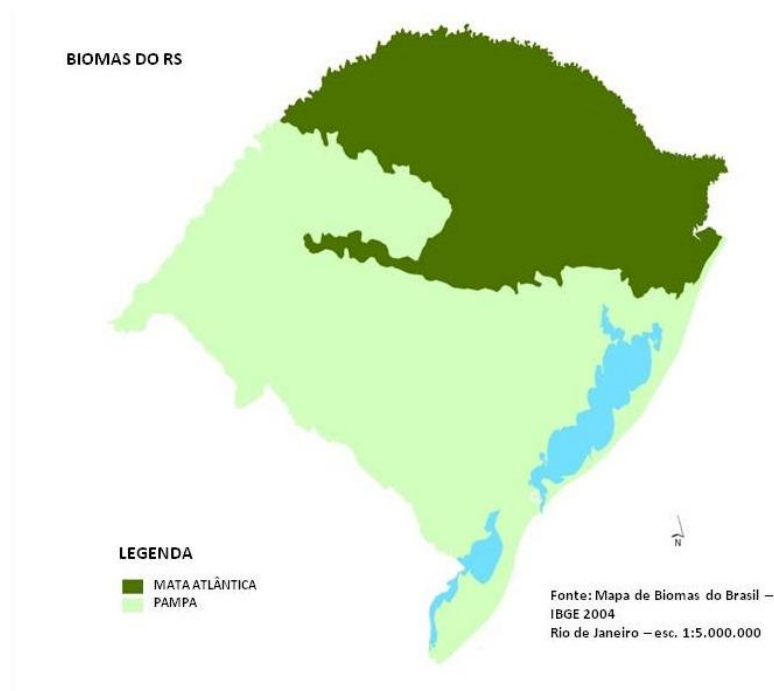


Figura 12. Localização e distribuição do Bioma Mata Atlântica e Bioma Pampa no RS. **Fonte:** Adaptado de IBGE, 2004.

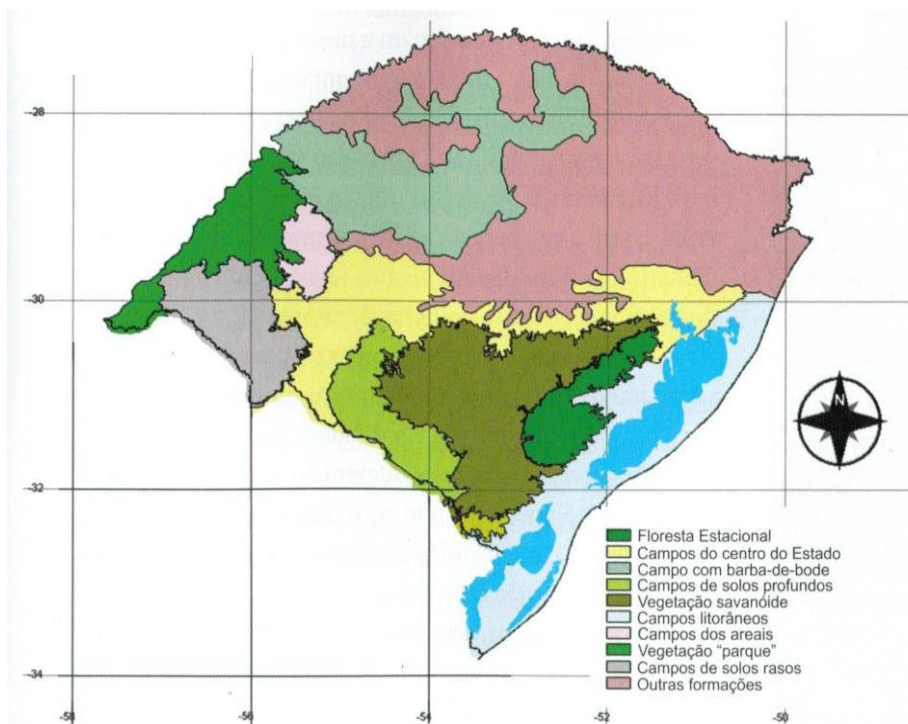


Figura 13. Unidades de fitofisionomias presentes no Bioma Pampa. **Fonte:** Boldrini, 2010, p. 11.

Apesar de se destacar por espécies rasteiras, herbáceas e rupícolas, os campos com arenização no Bioma Pampa também apresentam uma grande riqueza de espécies florestais, especialmente nas formações de Matas de Galeria, Matas Ciliares e Matas desenvolvidas sobre as encostas dos relevos residuais areníticos. Estas distinções e riqueza florística são facilmente perceptíveis em campo. A fisionomia dos ‘Campos dos Arenais’ no entanto, é definida por espécies endêmicas representadas pelas gramíneas *Paspalum leptum*, *Axonopus argentinus* e *Elionurus* sp. Espécies adaptadas ao estresse hídrico como as cactáceas *Cereus hildmannianus* (K. Schuman) e *Parodia ottonis* (Lehm, N.P. Taylor), compõem um rico mosaico vegetal junto a espécies com potencial ornamental como *Senecio cisplatinus* (Cabrera), *Vernonia macrocephala* (Less), *Lupinus albescens* (Hook. & Arn), *Galactia neesii* var. *australis* (Malme), *Kelissa brasiliensis* (Baker) Ravenna, *Moritzia ciliata* (DC), *Lathyrus nervosus* Lam. e *Staelia thymoides* (Cham & Schltdl). Complementam esta diversidade espécies arbustivas como a *Baccharis dracuncifolia* (DC), *Heterothalamus alienus* (Spreng., O. Kuntze), *Baccharis multifolia* (A.S. Oliveira, Deble & Marchiori), assim como a bromeliácea *Dyckia vicentensis* (T. Strehl) e a surpreendente espécie com estipe subterrânea, característica de ambientes áridos, *Butia Lallemandii* (BOLDRINI *et al.*, 2010, p. 36-

45). Anteriormente referida como uma palmeira “acaule” denominada butiá-do-campo, esta espécie tem recebido grande destaque quanto ao seu potencial para controle de processos de erosão hídrica superficial e erosão eólica, além de ser uma alternativa para o estabelecimento de cobertura vegetal nativa dos campos com arenização no sudoeste gaúcho (CORDEIRO e SOARES, 1977, p. 126).

Dispõe-se de vasta produção científica relacionada às espécies vegetais nativas do Bioma Pampa, contemplando diferentes hábitos de crescimento, arquitetura do sistema radicular, locais de ocorrência, potencial medicinal, valor ornamental, produção de frutos, atração de insetos e animais polinizadores, diversidade taxonômica, bioindicadores paleoclimáticos, dentre tantos outros tópicos. Alguns dos aspectos relacionados às espécies vegetais endêmicas e ocorrentes nos areais do RS serão aprofundados nos capítulos que tratam da caracterização da área de estudo bem como da discussão dos resultados.

2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

“Adquirimos conhecimentos inauditos sobre o mundo físico, biológico, psicológico, sociológico. Na ciência há um predomínio cada vez maior dos métodos de verificação empírica e lógica. As luzes da razão parecem fazer refluir os mitos e trevas para as profundezas da mente. E, no entanto, por todo lado, erro, ignorância e cegueira progridem ao mesmo tempo que os nossos conhecimentos”.

(Edgar Morin, 2011, p. 9)

Nos capítulos precedentes procurou-se descrever e apresentar brevemente o contexto relacionado ao processo de arenização no Brasil e na região sudoeste do RS. Verifica-se o quão diversos são os fatores condicionantes e os agentes geomorfológicos pertinentes à região em estudo. Elementos geológicos, pedológicos, climáticos, biológicos e socioeconômicos podem atuar significativamente tanto para a formação quanto para a expansão dos areais. Em consonância com a proposta do trabalho, direcionada a avaliação do potencial de resiliência em uma área rural com ocorrência de processos erosivos e o desenvolvimento de focos de arenização, a perspectiva de uma análise ambiental integrada inserida em uma abordagem ecossistêmica se mostra mais adequada. A escolha em se utilizar técnicas de Restauração Ecológica (RE) como a nucleação por transposição de solo (*topsoil*) e a nucleação por galharia deu-se em função de um pressuposto básico da RE para o qual a ação humana deve auxiliar os processos de resiliência natural do ambiente, sem haver uma intervenção externa planejada e implantada rapidamente, em dissonância com os processos ecológicos locais e regionais. Dessa forma, a proposta para o trabalho foi a de utilizar poucos recursos externos para verificar a resposta do ambiente para o restabelecimento de cobertura vegetal e a estabilização de processos erosivos.

2.1 RESILIÊNCIA AMBIENTAL

De modo genérico, o conceito de resiliência remete à capacidade que um ser vivo ou ambiente tem para restabelecer um novo ponto de equilíbrio e recuperação após ter sido submetido a determinados estímulos e pressões externas, responsáveis por gerar certo distúrbio e perturbação na sua condição original. Aronson *et al.* (2011, p. 28) realizaram um breve e essencial trabalho direcionado à construção de um glossário produzido a partir da compilação de diversos conceitos relacionados às questões

ambientais e à restauração ecológica, no qual se encontra relacionado o seguinte verbete:

Resiliência (Resilience): habilidade de um ecossistema natural em, após um distúrbio, retornar à condição anterior à intervenção humana (Westman, 1978). Pode ser avaliada pelo tempo necessário para retorno à estrutura e riqueza anteriores. Em uma definição alternativa e de aceitação crescente (Brand e Jax, 2007), que de certa maneira incorpora a noção de resistência (Westman, 1978), um ecossistema resiliente pode suportar impactos e se reconstruir ou persistir em determinada trajetória ou em determinado estado – regime, em sistemas nos quais múltiplos regimes são possíveis (Walter e Salt, 2006). (ARONSON *et al.*, 2011, p. 28)

Em grande parte dos trabalhos que lidam com problemáticas ambientais como a recuperação de áreas degradadas, desmatamentos, desertificação, poluição das águas e dos solos, movimentos de massa, erosão, dentre outras questões, a palavra resiliência é frequentemente mencionada. Seu conceito, na maioria das vezes não é esclarecido, assumindo-se que haja um domínio implícito e generalizado quanto ao seu significado. Quando associado a outros vocábulos, no entanto, fica clara a necessidade de se estipular uma correta acepção para determinados contextos. O processo de arenização no sudoeste do RS se encontra relacionado ao conceito de degradação em diversas publicações sobre o tema. Ou seja, a partir de algumas leituras pode-se inferir que o processo de arenização no extremo sul do Brasil seja o resultado de um processo de degradação do solo em um meio de intensa fragilidade natural. Por sua vez, verifica-se que o conceito de degradação está frequentemente relacionado à perda de resiliência em um ambiente afetado de modo direto pela ação humana, o que acaba por gerar impactos negativos significativos.

Holling (1973), pesquisador considerado como um dos precursores nos estudos sobre a resiliência ambiental propôs debates bastante relevantes em seu artigo sobre a resiliência e a estabilidade dos ‘Sistemas Ecológicos’. Em uma de suas argumentações, o autor afirma que percepções diferentes e úteis podem ser obtidas a partir do momento em que se observa o comportamento dos sistemas ecológicos em relação à probabilidade de extinção de seus elementos e, ao mudar a ênfase dos estados de equilíbrio para as condições de persistência (HOLLING, 1973, p. 02). Ao tratar dos Ecossistemas autossuficientes, o autor analisa o impacto das ações humanas nos ecossistemas aquáticos nos Estados Unidos da América em 1961, e menciona o termo resiliência como sendo a capacidade do meio em absorver mudanças sem que altere drasticamente as suas condições (HOLLING, 1973, p. 07). Como exemplo de padrões

gerais de alteração o autor menciona o repentino surgimento de populações como algas causadoras de eutrofização em corpos de água contaminados pela adição de produtos utilizados na produção agrícola, assim como o desaparecimento de espécies de peixes pela pesca irregular e poluição da água. Outro ponto fundamental de análise recai sobre a grande amplitude de flutuações das populações de peixes e o estabelecimento de novos predomínios, passando de uma situação com alto equilíbrio para uma condição com baixo equilíbrio (HOLLING, 1973, p. 08).

Segundo Romeiro *et al.* (2014, p. 1) a degradação pode ser natural ou antrópica, podendo atingir o solo, a vegetação, o ar e a água, e está inerente ao conceito de capacidade de resiliência do meio.

Vieira (2012) realizou o monitoramento de processos de erosão hídrica avançada no município de São Francisco de Assis/RS, observando a ocorrência de espécies vegetais nativas em áreas com o processo de arenização. Um dos principais objetivos do trabalho propunha a recomendação de técnicas mistas que fossem efetivas na estabilização de ravinas. Conjuntos de paliçadas e retentores orgânicos de sedimentos foram instalados em nove pontos distintos no interior da feição erosiva, desenvolvida de modo adjacente a um relevo residual arenítico. Verificou-se que houve a rápida germinação de espécies vegetais nativas, não somente colonizando como estabilizando os sedimentos recentemente depositados junto às estruturas. Para surpresa da autora, as espécies colonizadoras foram aquelas as quais se mostraram menos frequentes durante os monitoramentos efetuados junto à área de contribuição superficial, taludes e ao canal da feição erosiva. Dessa forma, foi possível confirmar que o filtro ecológico, ou seja, o fator limitante ao restabelecimento da vegetação em área com o processo de arenização e desenvolvimento de processos de erosão hídrica avançada estava relacionado à constante mobilidade dos sedimentos arenosos e, não, à ausência de banco de sementes, depauperamento das características químico-físico-biológicas do solo ou a um baixo potencial de resiliência do meio. Considerar estas como áreas degradadas, com perda do potencial de resiliência seria, então, incorreto.

Com base nesta divergência teórico-prática entre o potencial de resiliência e a aceção de área degradada tomada para os areais do RS, a verificação das respostas ambientais nos trabalhos em campo se tornou ponto fundamental para o desenvolvimento da presente pesquisa. O entendimento do que vem a ser resiliência ambiental assume, então, caráter essencial.

2.2 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: CONCEITOS

Conforme a Lei nº 9985 de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, no seu Art 2º do Capítulo I, a atividade de restauração se caracteriza pela restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada, o mais próximo possível de sua condição original. De acordo com a Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica – SER (2004), a ‘Restauração Ecológica’ é o processo de conduzir a recuperação de um ecossistema que tenha sido degradado, alterado ou destruído. De modo complementar, a ‘Restauração Ecológica’ pode ser concebida como a ciência, prática e arte de promover e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, levando em consideração os seus valores ecológicos, econômicos e sociais (SER, 2004). Rodrigues (2004) conceitua a ‘Restauração Ecológica’ como uma atividade intencional que inicia ou acelera a recuperação de um ecossistema em relação à sua saúde, integridade e sustentabilidade. As razões que levam à implantação de projetos de restauração são variadas, e podem incluir a recuperação de determinadas espécies, o fortalecimento das funções ecossistêmicas ou de conectividade das paisagens em escala terrestre ou marítima, o restabelecimento ou enriquecimento de serviços ecossistêmicos, entre outros (SER, 2004). Fonseca *et al.* (2013) conceitua de maneira sintética a ‘Restauração Ecológica’ como uma prática que auxilia a recuperação de um ecossistema, de modo que o mesmo se torne sustentável e siga seu processo de sucessão natural.

O ecossistema, para a ecologia, é a unidade funcional básica composta pela soma de todos os organismos vivos, a comunidade biótica, e o seu ambiente, o entorno físico associado aos componentes abióticos, sendo ambos necessários para a conservação da vida (PARISCA, 2010). Os ecossistemas, segundo o autor, são sistemas abertos que se caracterizam por fluxos de energia e matéria com o seu entorno, sendo estes denominados ciclos.

Determinar o estado de diferenciação de um ecossistema em relação à sua condição original tem gerado as mais diferentes acepções e conceitos, muitas vezes divergentes ou até mesmo conflitantes entre si. É imperativo, no entanto, definir se uma área está alterada, danificada, degradada ou perturbada, previamente ao projeto e implantação de um trabalho de ‘Restauração Ecológica’. A atividade de ‘Restauração

‘Ecológica’ é uma tentativa de retornar o ecossistema à sua trajetória histórica de desenvolvimento, considerando uma área impactada direta ou indiretamente por agentes naturais ou humanos, a tal ponto de não permitir sozinha o retorno ao seu estado original, anterior à perturbação (RODRIGUES, 2004).

Fazendo uma maior distinção e classificação dos impactos sobre o ambiente, Corrêa (2005) afirma que o desmatamento praticado em uma determinada área ou a deterioração das propriedades do solo pode ser considerado degradação ou perturbação, dependendo da intensidade do dano. Segundo o autor, o ambiente é considerado degradado quando não apresenta condições de se recuperar sozinho, em um período de tempo razoável, sendo necessária a intervenção humana. Prosseguindo em sua conceituação, ele esclarece que o ambiente é considerado perturbado quando mantém sua capacidade de regeneração ou depuração (resiliência), sendo que a intervenção humana apenas acelera o processo de recuperação. Ou seja, áreas degradadas seriam aquelas nas quais se verifica a perda de resiliência (CORRÊA, 2005).

Para Castro *et al.* (2012) a degradação estaria relacionada às mudanças sutis ou graduais que reduzem a integridade e saúde de um ecossistema, do ponto de vista ecológico. Dando seguimento em sua diferenciação conceitual, o autor esclarece que quando as mudanças são agudas e óbvias em um ecossistema têm-se uma situação de dano, sendo que o mesmo fica destruído quando a degradação ou dano remove uma parte substancial ou toda a vida macroscópica e comumente arruína também o meio físico. A transformação se caracteriza pela conversão de um ecossistema a outro tipo de ecossistema ou de uso da terra (CASTRO *et al.*, 2012).

Corrêa (2005) esclarece haver três áreas de enfoque que visam à recuperação de áreas degradadas, sendo a revegetação, a remediação e a geotecnia. O objetivo destas estaria relacionado às estabilidades ecológica e ambiental, à estabilidade química e à estabilidade física, respectivamente, com intensa interação entre as mesmas (CORRÊA, 2005).

Outra questão que precisa ser esclarecida diz respeito à diferenciação entre ‘Restauração Ecológica’ e ‘Ecologia da Restauração’. De acordo com Hilderbrand *et al.* (2005) a ‘Ecologia da Restauração’, e os seus pressupostos, não obstante serem amplamente relegados às práticas científicas que sustentam os objetivos da restauração, as trajetórias e os resultados, também incluem testes de hipóteses, observações e experimentos a campo e em laboratório. Segundo Higgs (2005) embora algumas vezes inclua elementos da ‘Ecologia da Restauração’, a ‘Restauração Ecológica’ pode ser

compreendida como um somatório de práticas que conduzem às metas de restauração, incluindo aquelas que envolvam as dimensões humanas, seja esta social, política, tecnológica, econômica, cultural e religiosa. Rodrigues *et al.* (2011) pontuam que os projetos de restauração de áreas degradadas estão baseados no desencadeamento ou na aceleração do processo de sucessão ecológica. Segundo os autores, a ‘sucessão ecológica’ se caracteriza como um o processo através do qual uma comunidade evolui no tempo e cuja tendência é se tornar progressivamente mais complexa, diversificada e estável. Uma linha de ação complementar para a recuperação de áreas degradadas tem como base a visão sistêmica, sendo dessa forma denominada como ‘Restauração Ambiental Sistêmica’ ou ‘Recuperação Ambiental’ com enfoque Ecosistêmico.

Brancalion *et al.* (2013) traz uma questão ainda incipiente no Brasil, com respeito à conexão entre trabalhos de restauração ecológica e de ecologia da paisagem. De acordo com o autor, usar a perspectiva da paisagem como base para ações de restauração pode auxiliar no planejamento de ambientes com enfoque no reequilíbrio dinâmico, aliando a produção econômica à conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Faz-se necessário compreender que, apesar de a trajetória história ser o ponto de partida para a recuperação de uma determinada área, as limitações e condições atuais podem ter alterado de tal forma o ecossistema degradado, que poderá não ser mais possível conduzi-lo ao estado prévio. Estabelecer a direção geral e os limites desta nova trajetória para fins de planejamento e monitoramento de projetos de restauração é fundamental. Isso se torna possível a partir da combinação do conhecimento da estrutura do ecossistema previamente ao impacto, conhecimento de sua composição e funcionamento, estudo de ecossistemas similares que ainda estejam intactos e levantamento de informações sobre as condições ambientais regionais (clima, solo, vegetação, bacias de drenagem), relacionando estes parâmetros a outras referências, tais como características ecológicas, culturais e históricas (RODRIGUES, 2004).

Diversas são as metodologias e técnicas desenvolvidas para promover o resgate de ambientes impactados negativamente, de acordo com o grau e severidade na deriva das qualidades físicas, químicas e biológicas do elemento componente ou do ecossistema como um todo, assim como da urgência de seu reestabelecimento e manutenção. Torna-se imperativo definir em qual escala será feita a abordagem do problema e qual o recorte espaço-temporal considerado, de modo a contemplar as diversas variáveis atuantes e as redes de interações pertinentes a um ecossistema, admitindo-se este como

sistema aberto. Segundo Reis e Hmeljevski (2009) um pressuposto básico para lidar com ecossistemas diz respeito à conscientização de que não existem respostas diretas e simples, além do fato de as variáveis serem pouco controláveis ou previsíveis. Um ecossistema em equilíbrio dinâmico, com alta capacidade de resiliência se consolida, segundo os autores, a partir da relação harmônica entre os estímulos que causam desequilíbrio e distúrbio, em relação às respostas ou compensações. É dentro deste contexto, onde predominam situações mais complexas, com diferentes perspectivas e diferentes relações, numa interação dialética entre ordem e caos, que se insere a ‘Restauração Ecológica’. De acordo com Reis e Hmeljevski (2009) há duas linhas principais de pensamento relacionadas à ‘Recuperação de Áreas Degradadas’ (RAD). Uma delas, a mais antiga, teria como enfoque a criação de uma nova natureza, um novo ambiente, de modo semelhante aos processos produtivos e à imagem do próprio homem. A outra, mais recente e em processo e consolidação de seus fundamentos teóricos, consideraria o homem como um coadjuvante, um agente incentivador dos processos naturais de sucessão, buscando como produto final a criação de um ambiente à imagem e semelhança da própria natureza. A ‘Restauração Ecológica’ tem como base esta segunda linha de pensamento, cujo enfoque se volta para a complexidade e dinâmica da natureza. Ou seja, a busca deve ser pela formação e resgate de ecossistemas onde as funções tenham maior importância do que, meramente, sua estrutura e composição estética.

2.3.1 Restauração Ecológica no Brasil

A ‘Restauração Ecológica’ tem sido empregada, de maneira mais significativa, para a recuperação de ambientes florestais impactados ou mesmo suprimidos pela atividade de comércio de madeira, exploração do subsolo pela mineração, atividades agropecuárias, construção civil, entre outras. Esta realidade se faz mais evidente no contexto brasileiro em função da grande importância dada à preservação dos Biomas Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Amazônico, tanto pela comunidade científica, sociedade civil, como por ambientalistas do mundo todo. Brancalion *et al.* (2013) afirmam que a atividade de restauração florestal necessita de avanços muito maiores para atingir de modo efetivo seus propósitos de recuperação, especialmente no âmbito

das florestas tropicais e subtropicais biodiversas inseridas em paisagens transformadas pelas intervenções sociais. Segundo os autores:

(...) potencializando a formação e florestas biologicamente viáveis por meio do uso ou favorecimento de uma riqueza de espécies vegetais condizente com a dos ecossistemas de referência, é que muitos grupos de pesquisa no Brasil tem desenvolvido e testado seus métodos de restauração ecológica no contexto de florestas tropicais inseridas em paisagens antrópicas. (BRANCALION *et al.*, 2013, p. 566)

De acordo com Kageyama e Santos (2011) o processo de restauração no estado de São Paulo, por exemplo, teve início há mais de vinte anos, quando pesquisadores de diferentes áreas, mas ligados à temática de florestas nativas se aliaram com o intuito de reconstruir um novo ecossistema nas áreas degradadas da Mata Atlântica. Segundo o autor, diversos são os trabalhos desenvolvidos e os estudos conduzidos no estado de São Paulo ao longo das últimas duas décadas, promovendo a criação de políticas públicas específicas e tornando o referido estado uma referência para a maioria do país. Exemplos claros dos produtos advindos dessas ações estão representados pelos grupos formados na Universidade de São Paulo/USP, Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Esalq/USP, pelos trabalhos realizados pela Coordenação Especial de Recuperação de Áreas Degradadas/CERAD do Instituto de Botânica do Jardim Botânico de São Paulo – Ibot/SP, assim como, pelas pesquisas e trabalhos divulgados e debatidos através da Rede Brasileira de Restauração Ecológica – REBRE (<http://www.rebre.org/>). As pesquisas e trabalhos têm abordado desde as avaliações quanto aos avanços de programas de plantios de proteção com espécies nativas em grande escala, incluindo aqueles voltados ao mercado de crédito de carbono, avanços e propostas de metodologias de restauração com enfoque ou prioridade na regeneração natural, produção de sementes para a restauração, fluxo gênico, entre outros.

Gandolfi (2011) esclarece que a partir da criação do Código Florestal Brasileiro, em 1965, foram introduzidos avanços extraordinários na legislação até então em vigor em que foram articulados de forma conveniente os usos rurais tradicionais, a proteção de ecossistemas e o uso sustentável da biodiversidade. A proteção e a recuperação de florestas brasileiras tem sido, desde então, objeto principal em projetos de Restauração Ecológica. Brancalion *et al.* (2013) citam como exemplo o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (detalhes em <http://www.pactomataatlantica.org.br>). Criado em 2006, o projeto se constitui, segundo os autores, como um dos mais importantes e ambiciosos

programas de restauração de florestas tropicais no mundo. A importância deste programa se deve ao fato de ter como foco não somente o restabelecimento de vegetação nativa no Bioma Mata Atlântica, como a geração de trabalho e renda, bem-estar humano e múltiplos produtos e serviços ecossistêmicos.

Viana *et al.* (2010) chamam a atenção para o fato de que no Brasil, apesar de abundantes, os estudos relacionados à ‘Restauração Ecológica’ de florestas nativas estarem predominantemente relacionados a determinadas regiões e Biomas, além de apresentarem um caráter predominantemente descritivo. Os autores também enfatizam a necessidade de serem realizados estudos que tenham como propósito investigar os fatores específicos que influenciam a dinâmica de regeneração natural sob os plantios, assim como a abrangência de outras regiões fitogeográficas em pesquisas com esta temática.

Somam-se à dificuldade em se restaurar áreas muito degradadas os custos excessivamente elevados ao se priorizar plantios florestais com uso exclusivo de espécies nativas. Como forma de viabilizar tais projetos têm-se direcionado estudos para plantios puros ou consorciados de espécies nativas e exóticas para o estímulo à sucessão florestal não somente no Brasil como em outras regiões do mundo (VIANA *et al.*, 2010). É neste cenário é que se afirma a extrema importância de se conduzir estudos pioneiros na tentativa de se recuperar ambientes degradados pela ação humana e processos erosivos avançados em áreas com processo de arenização, a sudoeste do estado do Rio Grande do Sul.

2.3.2 A Restauração Ecológica na Recuperação de Ambientes Degradados

Diversas são as técnicas desenvolvidas que tem como premissa básica estimular as funções ecológicas danificadas em um ecossistema por um impacto negativo, ou mesmo promover a geração de novas relações que conduzam ao resgate e equilíbrio do ecossistema. Transposição de solo, transposição da chuva de sementes, construção de poleiros artificiais, implantação de abrigos para a fauna e plantio de espécies funcionais nucleadoras tem se consagrado como aquelas de maior estudo, emprego e difusão, tanto no meio acadêmico como em projetos conduzidos por empresas públicas e privadas para a recuperação de áreas degradadas (REIS e HMELJEVSKI, 2009). A viabilidade para o seu uso e a efetividade para o objetivo proposto está grandemente relacionada ao grau

de degradação e ao diagnóstico da área a receber o planejamento e as intervenções técnicas. Ecossistemas que tiveram a cobertura florestal suprimida estão entre aqueles sobre os quais recai a maior parte dos projetos que tem na restauração ecológica o embasamento metodológico para recomposição de áreas degradadas. Este fato pode ser facilmente verificado, por exemplo, ao se analisar anais de eventos científicos direcionados especificamente à Restauração Ecológica no Brasil, como Barbosa (2011; 2013). De modo associado à supressão da cobertura vegetal - seja esta florestal, campestre, arbustiva ou herbácea - desenvolvem-se, com certa frequência, processos erosivos em superfície tipo escoamento laminar, erosão em sulcos, ravinas, voçorocas, arenização, dentre outros (SUERTEGARAY *et al.*, 2012; VERDUM e BASSO, 2000). Ecossistemas que sofreram a perda recente de sua cobertura florestal devido a intensos processos erosivos podem expressar ainda o potencial climático para sustentação deste tipo de fitofisionomia, desde que sejam controlados os fatores que impeçam a vegetação de se estabelecer, promovendo uma melhoria nas condições edáficas através de técnicas de restauração ecológica associadas a outras técnicas mecânico-vegetativas. A produção primária e a expansão da fronteira agrícola no Brasil tem preconizado o desmatamento de áreas estratégicas quanto ao seu patrimônio genético e biodiversidade. Estas ações estão concentradas em áreas classificadas pelo código florestal brasileiro como Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Áreas de Reserva Legal (RL). O uso e o manejo inadequado do solo tem ocasionado a degradação de extensas áreas da floresta amazônica, caatinga, cerrado, mata atlântica e áreas campestres, como verificado nos campos nativos ao sul do Brasil.

A desertificação e a arenização (SUERTEGARAY, 1987; VERDUM, 1997) são processos geomorfológicos derivados diretamente da perda de cobertura vegetal e consequente favorecimento à ocorrência de processos erosivos. Localizar fragmentos florestais ou vegetacionais remanescentes pertencentes à mesma bacia hidrográfica pode servir como fonte de propágulos vegetativos, matéria orgânica e *input* de micro e mesobiota do solo, estimulando e fortalecendo conexões entre os elementos em um ecossistema degradado em processo de recuperação. De acordo com Rodrigues *et al.* (2011), nas últimas décadas houve um acúmulo de conhecimento sobre os processos envolvidos na dinâmica de formações naturais, assumindo-se a tarefa de reconstruir as complexas interações existentes numa comunidade, de modo a permitir sua auto-perpetuação local. Segundo os autores, trabalhos de adequação ambiental em propriedades rurais devem, dentro do possível, priorizar a restauração das formações

vegetacionais naturais no menor custo possível, por meio da manipulação do potencial autorregenerativo dessas áreas. A viabilidade desta proposta de torna efetiva através da avaliação do histórico de uso e a proximidade da fonte de propágulos, tendo em vista sempre a manutenção da biodiversidade e a interligação dos fragmentos (RODRIGUES *et al.*, 2011).

Os critérios para restauração de áreas degradadas em propriedades rurais variam com as realidades de cada caso e devem ser definidos dentro de cada microbacia, com base na erodibilidade do solo nas áreas a serem restauradas. As atividades de recomposição podem ser compostas por diferentes técnicas, tais como isolamento e retirada dos fatores de degradação, eliminação seletiva ou desbaste de espécies vegetais competidoras, condução da regeneração natural, indução do banco de sementes local (autóctone), adensamento e enriquecimento de espécies com mudas, implantação de grupos de plantio e implantação de mudas de espécies frutíferas para atração de dispersores (RODRIGUES *et al.*, 2011).

2.3.3 Emprego da Restauração Ecológica no do RS

O Rio Grande do Sul tem se caracterizado, historicamente, pela atividade da pecuária extensiva na metade sul do estado, com destaque para as criações de gado bovino e ovino sobre pastagens naturais do Bioma Pampa. Em parte da região noroeste e, predominantemente, sobre as regiões norte e nordeste do estado localizadas sobre o Planalto Rio-grandense, as pequenas propriedades, a atividade da agricultura familiar e a produção diversificada de alimentos e matéria prima assumem maior relevância. Reis (2003) destacam a necessidade em se promover a conectividade e maior sinergia entre paisagens drasticamente fragmentadas pelos espaços produtivos. Um ponto fundamental quando em face de necessidade de se restabelecer áreas impactadas negativamente pela ação humana diz respeito à concepção da natureza como algo imutável e fixo. Há uma nova tendência nas ações que visam recuperar, restaurar, restabelecer e mitigar os impactos ambientais. Passa-se de modelos estáticos, determinísticos e quantitativos para projetos que visam não somente garantir uma biodiversidade, mas também a manutenção de uma biofuncionalidade e o resgate de interações entre os organismos no sistema, aumentando as probabilidades de sucessão e a ocorrência de fenômenos eventuais (REIS, 2003). Mudanças na matriz produtiva tem estimulado a migração de

produtores da região do Planalto gaúcho para áreas de domínio do Bioma Pampa, nas porções sudoeste e sul do estado, introduzindo de forma intensiva e crescente lavouras de *commodities* agrícolas e monocultivos de espécies florestais comerciais em áreas até então cobertas por espécies nativas características de uma fisionomia campestre. Este cenário tem colocado este Bioma em uma posição de grande vulnerabilidade, vindo a se tornar um dos ecossistemas mais ameaçados no Brasil. O Pampa possui diferentes relevos, fisionomias campestres e formações florestais, expressando importante riqueza florística e biodiversidade.

A gravidade deste quadro tem promovido ações legais e técnicas no sentido de se estabilizar e reverter este cenário. O Ministério do Meio Ambiente – MMA em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA tem promovido reuniões técnicas para a definição de estratégias e métodos para a restauração ecológica deste Bioma, promovendo o diálogo entre diferentes profissionais e instituições de ensino e pesquisa. Como produto destas reuniões, planilhas são elaboradas com a relação de espécies vegetais consideradas prioritárias, sendo enriquecidas com informações quanto aos seus atributos e locais preferenciais de colonização no estado. Aspectos como prioridade, região de ocorrência, tolerância à sombra, grupo ecológico, atributos do solo (textura, fertilidade, drenagem, profundidade), época de floração e frutificação, informações sobre sementes e plântulas, classificação do percentual de germinação, taxa de crescimento das mudas, informações bibliográficas e autores de referência foram cruzados em uma matriz avaliativa. Nesta matriz são atribuídos pesos e debatidas todas as informações sobre determinadas espécies vegetais nativas, resultando na elaboração de uma lista onde constam especificações sobre família, gênero e espécie. Tendo como ponto de partida algumas espécies vegetais relacionadas no projeto Plantas do Futuro (MMA, 2011) as oficinas sobre Restauração no Bioma Pampa objetivaram, de modo complementar, gerar informações e tecnologias para atender à Lei nº 12.651 de 2012, também conhecida como ‘Novo Código Florestal Brasileiro’.

A Restauração Ecológica preconiza uma menor intervenção possível do homem no ambiente sobre o qual exista a necessidade de restabelecer suas funções ecológicas e ecossistêmicas. Ou seja, o objetivo da RE não constitui planejar e implantar modelos que tenham como base o aporte de materiais vivos e inertes obtidos predominantemente fora do local a ser tratado, mas enfatizar o papel do restaurador como um promotor de

eventualidades, um conservador de contextos e processos do sistema, concebendo uma Natureza Participativa (REIS, 2003).

Trabalhos de Restauração Ecológica no Bioma Pampa vem sendo conduzidos de forma ainda incipiente e pioneira, com destaque para as ações do Departamento de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

Marcuzzo *et al.* (2014, p.1) realizaram um experimento comparativo com a implantação de técnicas de RE em uma unidade de conservação integral no município de Santa Maria, Bioma Mata Atlântica, utilizando a composição florística, a estrutura da vegetação e a atividade enzimática do solo para análise comparativa em relação a um trecho de floresta utilizada como área de referência (AR). De acordo com os autores, a atividade enzimática se mostrou viável como bioindicador para as diferentes áreas em restauração. Diversas são as temáticas, propostas e objetivos para o emprego de técnicas de RE, abrangendo desde um plano de reflorestamento até o resgate de funções ecológicas e a avaliação do ecossistema e o seu potencial de resiliência.

Analisando os projetos de Restauração Ecológica implantados no Brasil, verifica-se que há a predominância do emprego de técnicas desenvolvidas para a reintrodução de espécies vegetais com base no plantio de mudas, especialmente em ecossistemas originalmente florestais, como a Mata Atlântica. Há uma diversidade mínima de espécies determinada por lei, especificada para cada estado, com referência ao Bioma e fitofisionomia dominante. Técnicas de nucleação por galharia, transposição de solo, núcleos de Anderson¹ e poleiros² se tornam alternativas para os ecossistemas campestres ou mistos, como a Caatinga, o Cerrado e o Pampa gaúcho. O objetivo principal destas técnicas é o de introduzir organismos vegetais chave, atrair animais polinizadores e dispersores de sementes, assim como restituir as funções da pedobiota e incorporar matéria orgânica ao solo.

¹ Núcleos de Anderson são plantios de arranjos compostos por mudas de diferentes espécies vegetais nativas, dispostos na forma de grupos organizados, com a finalidade de desencadear funções ecológicas básicas à recuperação de um ambiente degradado (BECHARA, 2006)

² Poleiros são estruturas verticais constituídas por galhos, ramos, hastes rígidas de material natural ou sintético com o objetivo de servir de local atrativo para o descanso e pouso a animais dispersores de sementes, como aves e morcegos (BECHARA, 2006).

De acordo com Reis (2003) as técnicas nucleadoras nunca são implantadas na área total, deixando espaços vazios para que o eventual possa se expressar. Para os autores os núcleos funcionam como *gatilhos de biodiversidade*, representam um espaço para o imprevisível, geram fenômenos aleatórios e permitem maiores aberturas para as variedades de fluxos, próprios dos sistemas naturais.

Verdum (1997, 2004) e Mósená (2006), dentre outros autores, ressaltam para o fato de a ação humana relacionada a práticas agropecuárias inadequadas ao contexto de fragilidade ambiental dos areais do sudoeste do estado do Rio Grande do Sul estarem contribuindo para a sua expansão e o agravamento das feições erosivas, resultando em degradação acelerada da cobertura vegetal nativa do Bioma Pampa. Esta abordagem já havia sido ressaltada por Souto (1985) quando descreve a estratégia adotada para combate aos “desertos do Rio Grande do Sul” em um plano técnico denominado Plano Piloto de Alegrete, desenvolvido em 1978 e implantado no local conhecido como ‘Deserto de São João’. Tendo como base o plantio de espécies arbóreas, arbustivas, gramíneas, leguminosas exóticas e o uso de anteparos físicos para a contenção dos processos erosivos, o projeto não obteve o resultado esperado em grande parte por dependência de recursos públicos para a sua continuidade e manutenção, além da falta de compreensão mais profunda sobre o processo de arenização e os seus fatores condicionantes. A espécie que demonstrou melhor adaptação nesta proposta foi o eucalipto (*Eucalyptus* sp.). A fitofisionomia predominante nas áreas de relevo plano a suavemente ondulada é composta por espécies campestres herbáceas e rasteiras típicas do Bioma Pampa (FREITAS, 2006). Em relação às espécies vegetais nativas destaca-se o trabalho desenvolvido por Rovedder (2007) em sua tese de doutorado com a espécie *Lupinus albus* (tremoço). A autora avaliou o potencial de utilização desta leguminosa nativa para a recuperação de solos com arenização, prevenindo a evolução para ravinas e voçorocas. Uma das conclusões mais importantes diz respeito ao efeito da espécie herbácea em relação à incorporação de nitrogênio ao solo, ciclagem de nutrientes e produção de matéria seca, favorecendo que outras espécies consigam colonizar a área após o plantio com tremoço. Ou seja, a espécie atuaria como uma vegetação pioneira, estabelecendo condições favoráveis para que outras espécies possam de modo subsequente, se desenvolver e proteger a superfície do solo contra os agentes erosivos. A autora também verificou uma redução em 93% da taxa de movimentação dos sedimentos arenosos pela ação eólica em áreas onde foi estabelecido o consórcio entre o tremoço e a aveia-preta (*Avena strigosa*), gramínea exótica de ciclo

hibernal. Na Fazenda Paredão, localizada no município de São Francisco de Assis, RS, foi implantado um modelo com base no plantio em curva de nível da espécie nativa conhecida como Butiá-anão (*Butia lalemantii*) para formar barreiras transversais ao sentido predominante de escoamento da água, associando o plantio de gramíneas exóticas no espaço entre as curvas de nível. A iniciativa para a recuperação das áreas degradadas partiu do próprio produtor rural, para o qual a gramínea braquiária (*Brachiaria* sp.) teria apresentado melhor resultado (SUERTEGARAY, 2011). Considerando o mesmo município, diversas técnicas idealizadas a partir do emprego de materiais obtidos nas propriedades, como ramos/galhos de espécies arbóreas e arbustivas e barreiras de pedra foram empregadas diretamente nos canais das ravinas e voçorocas, sendo observado o acúmulo de sedimentos, o progressivo preenchimento da feição morfológica e, conseqüentemente, a estabilização dos processos erosivos pelo agente hídrico (SUERTEGRAY *et al.*, 2001). Nos trabalhos desenvolvidos por Vieira (2012) e Vieira & Verdum (2015) na localidade da Esquina, em São Francisco de Assis, intervenções técnicas preconizaram a instalação de paliçadas em nove pontos diferentes no interior do canal de uma ravina, utilizando colmos de bambu coletados na propriedade rural, biorretentores de sedimentos e barreiras de pedra. Dentre os resultados mais significativos destacam-se o espesso acúmulo de sedimentos na base das paliçadas, face frontal em relação ao sentido de escoamento da água da chuva, e a rápida colonização destes ‘acúmulos de areia’ por espécies herbáceas nativas. A partir do momento em que o sedimento foi estabilizado, a vegetação conseguiu germinar e se desenvolver rapidamente, impedindo que o processo erosivo se aprofundasse. Vieira *et al.* (2016) propuseram utilizar a espécie de gramínea exótica, sem comportamento invasor *Chrisopogon zizanioides*, o Capim Vetiver, como barreira vegetal e cobertura do solo. Os autores verificaram uma resposta bastante evidente em relação ao desenvolvimento vegetal após a aplicação de esterco animal para a adubação do solo, associado à cobertura da superfície com geotêxtil, em comparação às áreas onde não houve aplicação de condicionadores de fertilidade. Foi possível comprovar que havia potencial de resiliência tanto em núcleos de arenização quanto em taludes de ravinas, bastando somente identificar qual o filtro ecológico que estava atuando de modo predominante. Ou seja, o perímetro de arenização da propriedade rural situada na Vila Kramer, município de São Francisco de Assis, não se configurava, efetivamente como uma área degradada, com perda do seu potencial biológico. O capim Vetiver apresenta vasta literatura e utilização no mundo para controle de processos erosivos, recuperação

de áreas degradadas, fitorremediação e, até mesmo, geração de renda por meio de artesanato, extração de óleo essencial, construção de moradias, dentre outras potencialidades (Vieira, 2012; Veira *et al.*, 2016). Machado (2012) realizou uma pesquisa direcionada à recuperação de solo em processo de arenização com o uso de espécies vegetais em pomar de amoreira-preta (*Morus nigra*), chegando à conclusão de que a espécie apresentou boa adaptação às condições edafoclimáticas dos solos arenosos do RS, com potencial de uso e alternativa viável à recuperação de áreas com arenização, além de constituir outra fonte de renda ao produtor rural. O debate entre utilizar ou não espécies exóticas para o restabelecimento de cobertura vegetal e controle do processo de arenização tem importante acréscimo no relatório publicado pela assembleia legislativa do RS (AL/RS, 2008), apresentando perspectivas de diferentes pesquisadores e institutos de pesquisa. Neste documento estão presentes pontos resultados e pontos de vista que recomendam desde a calagem e a adequação da lotação animal, até o isolamento das áreas, o plantio de espécies nativas em consórcio com espécies forrageiras exóticas, o cultivo de espécies frutíferas como videiras, produção de frutas cítricas, cultivo de melancia, cana-de-açúcar, dentre outras técnicas vegetativas. Neste mesmo relatório é sugerido que, ao exemplo do estado de Pernambuco, seja instituído um Fundo Nacional para dar suporte financeiro ao desenvolvimento de projetos que visem o uso sustentável e racional dos recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas, especialmente aquelas inseridas em um cenário de suscetibilidade à desertificação e/ou arenização. Distintas abordagens foram empregadas na tentativa de conter o avanço dos areais em municípios localizados na fronteira sudoeste do estado, buscando a estabilização dos processos erosivos e a recuperação de áreas degradadas. De acordo com Duarte & Filho (2015), “as políticas educacionais adotadas foram em grande parte equivocadas, porque buscavam uma solução em curto espaço de tempo, e resultaram em novos problemas”. Segundo os mesmos, deve ser feito um planejamento adequado das áreas, com base em ações políticas consistentes, capazes de trazer soluções eficazes e economicamente viáveis tanto para a população local quanto para o governo. Ao final desta breve discussão com alguns referenciais metodológicos percebe-se que há diferentes formas de atuação quanto às intervenções técnicas em áreas com o processo de arenização, ravinas e voçorocas, no âmbito estadual e nacional. Algumas ações partem um entendimento do processo como natural, o qual deveria ser isolado e isento de ações humanas diretas. Outras perspectivas partem do princípio de que a arenização é um processo de degradação do solo, devendo ser estabilizado e

revertido, pois que ocasiona a perda de áreas agrícolas e prejuízo ao produtor rural. Neste sentido também há divergências quanto ao emprego de espécies vegetais isoladas, nativas ou exóticas, em consórcio ou mesmo associadas a anteparos físicos, como paliçadas e técnicas de conservação do solo, como plantio em curvas de nível. Estas diferentes abordagens se dão em função dos objetivos delineados pelo produtor rural e agentes públicos. Assim despontam ora recomendações voltadas ao plantio de espécies florestais exóticas como o eucalipto (*Eucalyptus* sp.), o pinus (*Pinus elliotti*) e a acácia negra (*Acacia mearnsii*), ora o emprego exclusivo de espécies vegetais nativas, típicas do Bioma em questão.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

“Ao longo do Ibicuí crescem salgueiros, cristas-de-galo, sarandis, sebastianas e frygilantas. À esquerda, ao longe, continuam os morros de arenito, todos com seus típicos chapéus de lava”. (Pe. Balduino Rambo, 2014, p. 33)

Trabalhar com a temática da arenização do sudoeste do estado do Rio Grande do Sul envolve considerações e debates em diferentes escalas espaço-temporais para o entendimento das condicionantes, fragilidades e os principais agentes de transformação do ambiente. O recorte espacial adotado, mesmo contemplando uma escala local, em nível de propriedade, necessita considerar elementos mais abrangentes, a fim de que se consiga ter uma leitura partindo de uma camada de menor nível de detalhe e maior percepção espacial para uma de maior detalhamento e menor delimitação espacial.

Como referencial teórico ao desenvolvimento deste trabalho assumiu-se a ‘Teoria Ecodinâmica’ proposta pelo biólogo francês Jean Tricart (1977) como embasamento fundamental para a interpretação ambiental. Tricart, cuja trajetória preconizou o estudo da integração dos solos na ambiência ecológica, teve seu primeiro contato com o Brasil no ano de 1956. Além de desenvolver diversos trabalhos no país, Tricart realizou, posteriormente, trabalhos destinados ao levantamento de solos na região do Pampa Argentino junto ao Instituto de Tecnologia Agrária (INTA) como acessor e enviado da FAO, tendo realizado trabalho similar no Uruguai. Estes trabalhos dialogam intimamente com a região dos areais do RS.

Jean Tricart, ao considerar a intensidade dos processos morfogênicos, toma como objeto de análise o fluxo de energia no meio ecológico em integração com os fatores e características ambientais. A partir desta abordagem, o autor constrói a proposição de que a conservação da natureza se constitui, primeiramente, por um problema de dispersão de energia (TRICART, 1977, p.7-8).

Para Tricart (1977, p. 28-29) a adoção do conceito ecológico para o estudo das relações entre os diversos componentes do meio ambiente se torna mais adequada quando realizada com base no instrumental lógico dos sistemas. É neste contexto que se torna possível reequilibrar as contradições dialéticas do pensamento científico, em sua excessiva fragmentação e disjunção das partes para estudos ambientais, típicas de uma abordagem positivista. O autor ressalta haver certa carência técnica, no entanto, para a

exata identificação e quantificação destes fluxos de matéria e energia nos ecossistemas. O suprimento desta carência assume fundamental importância ao se considerar, por exemplo, os processos morfogenéticos os quais além de promover instabilidade na superfície terrestre, podem gerar uma condição limitante para o desenvolvimento dos seres vivos. Dessa forma, o estabelecimento de uma taxonomia dos ambientes com base nos diferentes graus de estabilidade e instabilidade morfodinâmica se torna primordial em um contexto de conservação e restauração ambiental (TRICART, 1977, p. 29).

A ideia de unidade tem assumido uma relevância cada vez maior para a gestão socioambiental mundial nas últimas décadas, principalmente a partir do advento do movimento ambientalista, posto em evidência a partir dos anos 60-70 do século XX.

A metodologia de estudo do ambiente com base nas dinâmicas dos ecótopos e a distinção em ‘Unidades Ecodinâmicas’ vai ao encontro da metodologia proposta neste trabalho, objetivando a verificação do potencial de resiliência em um ecossistema campestre desenvolvido sobre solos arenosos.

A ‘Unidade Ecodinâmica’, segundo Tricart (1977, p.31) se caracteriza por uma dinâmica do ambiente que exerce um impacto mais ou menos determinante sobre a biocenose. Seu conceito está efetivamente integrado ao de ecossistema, considerando todas as relações e fluxos pertinentes. A dinâmica se consagra, para o autor, no critério fundamental para análise e organização do espaço, o que repercute na proposta de taxonomia para os meios morfodinâmicos tendo como base intensidade dos processos atuais, sendo então denominados: 1. *meios estáveis* (mecanismos de compensação e auto-regulação); 2. *meios intergrades* (predominância ora de processos pedogenéticos ora dos morfológicos) e 3. *meios fortemente instáveis* (predominam os processos morfológicos).

Pelo anteriormente exposto sobre o processo de arenização no sudoeste do RS, torna-se coerente classificar os areais do sudoeste gaúcho como ‘Unidades Ecodinâmicas’ (UE), as quais apresentam diferentes intensidades dos processos morfogenéticos. Estas UEs se comportam ora como meio estáveis, ora intergrades e ora fortemente instáveis, de acordo com a escala de análise, o estágio do processo de arenização e as modificações exercidas pelas ações humanas.

Para a propriedade rural em questão, serão verificadas três situações distintas, com referência ao critério do balanço morfogênese/pedogênese para a classificação do grau de estabilidade do ambiente. No terço inicial da propriedade verifica-se uma dinâmica mais próxima de um ambiente *estável*, no setor médio o ambiente se comporta

como *intergrade* e para uma porção localizada a jusante, o ambiente apresenta uma dinâmica *fortemente instável*, conforme será descrito e analisado nos capítulos posteriores.

Perceber o ambiente como uma grande esfera onde se realizam trocas de matéria e energia é de fundamental importância para não somente regular a forma como exercemos as interferências nos ciclos naturais, mas, sobretudo, para prever os possíveis impactos das ações e amenizar os resultados destas sobre os demais seres e elementos do Planeta.

Sucessivos derrames de lava de componentes básicos ocorridos durante o Jurocretáceo originaram capeamentos basálticos sobre a Bacia do Paraná, o que representa a unidade denominada Formação Serra Geral. De acordo com Suertegaray (1998, p. 24) a sequência estratigráfica regional corresponde a sedimentos paleozóicos recobertos por sedimentos mesozóicos do período Triássico e arenitos da formação Botucatu, seguidos pelo capeamento pelas rochas eruptivas da formação Serra Geral e, mais recentemente, identifica-se a cobertura destas formações por sedimentos Cenozóicos. Segundo a autora, ocorrem afloramentos da formação Botucatu nas áreas onde houve a cobertura do reverso da Cuesta do Haedo pela formação Serra Geral, sendo estes pontos denominados como “as janelas de Botucatu”. Sobre estas janelas estão localizados muitos dos areais identificados através de mapas geológicos (SUERTEGARAY, 1998, p. 24).

Relevos residuais areníticos, em grande parte com o seu topo plano preservado por concreções de sílica ou ferruginosas, formam tabuleiros e são entremeados por uma superfície de conformação plana a suavemente ondulada. A Cuesta do Haedo e os relevos testemunhos podem ser o resultado de duas fases distintas de aplainamento (pediplanação), a primeira com altitudes entre 300 e 320 metros e a segunda, neógena, com altitudes menores, entre 200 e 220 metros, com remanescentes entre 140 e 180 metros nas porções centrais. Estes eventos teriam então propiciado o nível a partir do qual foi elaborado o relevo atual da região sudoeste, dando origem à região da campanha (SUERTEGARAY, 1998, p. 24).

Robaina *et al.* (2010, p. 11 -12) realizaram estudos e mapeamentos temáticos com ênfase para a identificação das formas e feições do relevo, substrato litológico e solos na porção sudoeste do RS. Para a realização do trabalho os autores definiram a área de estudo com referência a área drenada pela bacia hidrográfica do rio Ibicuí cuja delimitação é dada pelas coordenadas geográficas 28° 53' de latitude sul e 30° 51' de

longitude oeste. Esta bacia drena 31.292 km² e abrange 27 municípios da região oeste do estado do Rio Grande do Sul, onde estão localizados os processos de arenização - Figuras 14 e 15.

Com base na metodologia de hierarquização, os autores geraram como produto uma representação em três níveis:

- a) 1º nível - reflete as formas regionais, unidades morfoestruturais, com dois compartimentos: Depressão Periférica do Rio Grande do Sul e Serra Geral;
- b) 2º nível – reflete os compartimentos que foram gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com três compartimentos: Depressão do Ibicuí, Planalto das Missões e Planalto da Campanha;
- c) 3º nível – reflete as unidades morfológicas obtidas a partir da integração de variáveis do relevo e substrato rochoso primeiramente, seguido dos materiais e processos superficiais, definindo-se oito compartimentos: Modelado de Patamares Residuais em Arenito, Modelado de Relevo Ondulado em Rochas Friáveis, Modelado de Áreas Planas Aluviais, Modelado de Patamares do Planalto das Missões, Modelados de Rebordo do Planalto, Modelado dos Patamares da Campanha, Modelados do Baixo Platô Arenítico-Basáltico e Modelado das Áreas Planas e Aluviais.

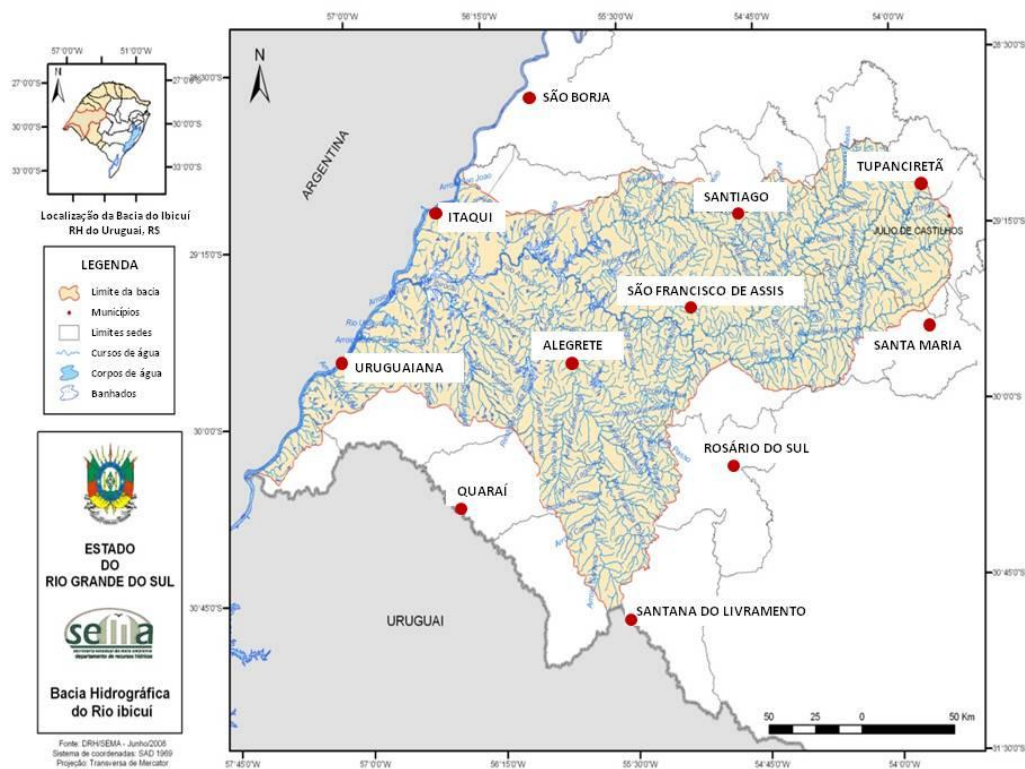


Figura 14. Localização da bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí na região da fronteira oeste do RS. Adaptado de DRH/SEMA – RS (2008).

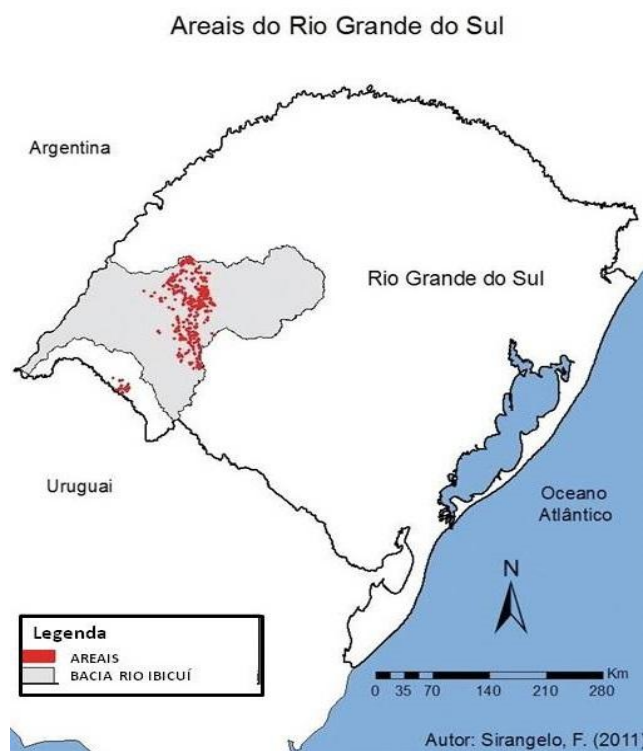


Figura 15. Localização dos principais focos de arenização no RS. Adaptado de Sirangelo (2011).

Para Guasselli (2012, p. 113) a região com ocorrência do processo de arenização se caracteriza, de forma geral, pela presença de dois compartimentos geomorfológicos principais. O primeiro se define como a escarpa erosiva do Planalto Meridional, onde se verifica um relevo acidentado e a presença de relevos testemunhos - Figuras 16 e 17. O segundo compartimento é definido como Depressão Central, localizado mais a jusante da bacia hidrográfica do rio Ibicuí, e apresentando formas de relevo mais suaves, tipo colinas, nas proximidades das várzeas - Figura 18.



Figura 16. Relevo residual arenítico com forma de topo plana, preservado por concreções de sílica e escarpas íngremes vegetadas, com formação florestal típica da Mata Atlântica Subtropical - Município de Manuel Viana, RS. **Foto:** C.L.Vieira (Julho, 2010).

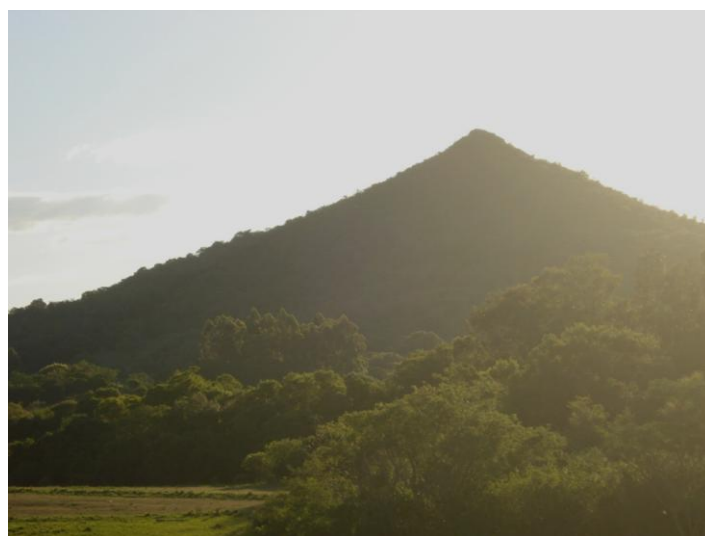


Figura 17. Relevo residual com evidência de ocorrência de processos erosivos e recuo das encostas, tendo em vista a forma de topo em cume triangular - Município de Manuel Viana, RS. **Foto:** C.L.Vieira (Julho, 2010).



Figura 18. Relevo suavemente ondulado formado por colinas adjacente às várzeas - Município de Manuel Viana, RS. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2010).

Rambo (2014, p. 81) enriquece a descrição das formações rochosas na região de Quaraí, RS, com observações feitas do alto do Cerro do Jarau, relevo arenítico testemunho:

(...) Daqui de cima, percebe-se claramente que toda a sequência de elevações é formada por arenito cozido e trabalhado por intempéries. Em alguns pontos as camadas são perpendiculares. A superfície da rocha está fortemente decomposta. O morro como um todo dá a impressão de uma ruína. (Pe. RAMBO, B. 2014, p. 81)

De Nardin e Robaina (2005, p. 3576) realizaram o mapeamento das Unidades Homogêneas de relevo na bacia hidrográfica do Arroio Miracatu, afluente do rio Ibicuí, com base em parâmetros quali-quantitativos do relevo e da rede de drenagem. A partir de índices morfométricos obtidos dentro dos limites da bacia hidrográfica e critérios de classificação do relevo propostos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) como amplitude local, declividade e comprimento de rampa. Os autores individualizaram três formas predominantes e seis unidades homogêneas de relevo resultantes de processos erosivos e acumulativos, destacando-se: áreas de rampas com relevo plano associado às áreas de topo de vertente e fundo de vale, as colinas com relevo ondulado e suavemente ondulado (amplitude local < 100 e gradiente entre 5 e 15%), os morrotes (amplitude local <100 e gradiente superior a 15%), os morros com

encosta suave (amplitude local 100 a 300 e gradiente entre 5 e 15%) e os morros (amplitude local 100 a 300 e gradiente > 15%).

De acordo com Guasselli (2012, p. 120-122), o cruzamento de dados com os locais de ocorrência dos areais e os arenitos demonstrou que 98,52% das manchas arenosas estão localizadas sobre as Formações Botucatu e Guará ou mesmo sobre as áreas mapeadas como sendo depósitos aluviais, e que estão em contato com estas formações. A Formação Botucatu é constituída por arenitos localmente feldspáticos, com diâmetro nominal de partículas de finos a médios, predominância do quartzo, cores avermelhadas, laminação plano-paralela e estratificação cruzada. A Formação Guará apresenta fácies caracterizadas pelas sucessões de deposição fluvial e de formação de dunas, como produto de mudanças climáticas e períodos intercalados de maior umidade e maior aridez no ambiente. O soerguimento regional da Formação Botucatu a uma cota de 200-300 metros, aproximadamente, gerou uma nova reestruturação do padrão de drenagem, deixando expostas as camadas subjacentes da Formação Guará, cujos sedimentos erodidos passam a ser retrabalhados pela erosão hídrica, dando início ao processo de arenização.

Ao longo do Pleistoceno e do Holoceno houve a contínua deposição de sedimentos arenosos, seja pela deposição fluvial, em períodos de maior umidade, seja pelo agente eólico, em períodos de maior ressecamento ambiental. Este pacote de material sedimentar arenoso e inconsolidado fora depositado sobre os substratos litólicos das Formações Guará e Botucatu. A partir de uma análise geomorfológica associada às dinâmicas hídrica e eólica torna-se possível a interpretação da gênese dos areais com indicativo de que estas feições superficiais resultam, inicialmente, de processos de escoamento hídrico. Havendo uma topografia que favoreça os processos de erosão linear por escoamento concentrado ocorre, então, a formação de ravinas e voçorocas, com o subsequente desenvolvimento lateral e regressivo e o alargamento de suas bordas. Cones de dejeção em forma de leque são formados a jusante das ravinas e voçorocas pelo material carregado através do canal. Este material se deposita sobre a cobertura vegetal, ocasionando a sua morte e gerando condições para que o sedimento seja transportado pelo vento e depositado em outros locais, aumentando os focos de arenização (GUASSELLI, 2012, p. 121).

Os solos na região dos areais apresentam a areia como fração textural predominante e caracterizam-se pelo alto teor de areias (maior que 90%), de granulometria fina e média. Como características bioquímicas associadas verificam-se

baixíssimos teores de matéria orgânica, silte, argila e bases trocáveis, além de alto teor de acidez ativa e potencial. Características intrínsecas como textura, estrutura e consistência predispõem a uma alta suscetibilidade à erosão, principalmente quando desprovidos de cobertura vegetal. Fatores como topografia, clima, relevo e atividades agrícolas podem potencializar a suscetibilidade dos solos quanto à ocorrência de processos erosivos ocasionados pela ação da água da chuva que escoar sobre a superfície, gerando sulcos, ravinas e voçorocas (VERDUM, 1997).

Estudos realizados por Suertegaray (1998, p. 35) nos areais do município de Quaraí, fronteira do RS com o Uruguai, apontam a ocorrência de campos cobertos de fragmentos de rochas, sendo denominados localmente como “campos de rochas”, assim como os campos de matacões e seixos. De acordo com a autora, é de grande relevância considerar estes fatores associados aos areais, pois que levam a refletir sobre as condições litológicas e paleoclimáticas da área. Relatos do padre jesuíta, intelectual, professor e naturalista Balduino Rambo (2014, p. 21) ao empreender viagem científica ao sudoeste do estado do RS em meados do século XX, já mencionavam grande interesse pela conformação litológica da região, conforme as passagens:

(...) Tiro uma série de fotos pelos fundos do trem. Baixadas, morros com montes de escombros, blocos, bastiões. Para essa região deverei voltar algum dia. Antes do Alegrete começam a predominar as rochas eruptivas. Os blocos cinzentos espalhados pelo campo são todos oriundos e lava. (Pe. RAMBO, B., 2014, p. 33-34)

(...) Perto de Quaraí ainda aflora o arenito. De lá até Uruguaiana, só terreno vulcânico. De longe, contornamos o Jarau¹. Pelo que posso perceber, uma mata apreciável cobre a serra. Parece que é formada por basalto. (Pe. RAMBO, B., 2014, p. 36)

Quaraí está situado, geomorfologicamente, no reverso da Cuesta do Haedo e apresenta como predomínio geológico a formação Serra Geral, composta por rochas basálticas datadas do Jurocretáceo. Em menor escala apresenta a ocorrência da Formação Botucatu, composta por arenitos depositados durante o período Cretáceo.

Guasselli (2012, p. 104) realizou o mapeamento das áreas de ocorrência de arenização buscando esclarecer se havia alguma relação entre a ocorrência de areais em função de características do padrão de drenagem e a orientação das vertentes. O autor partiu da seleção de algumas bacias hidrográficas com maior ocorrência de areais para a investigação destas variáveis e procurou verificar se havia, efetivamente, o condicionamento para a ocorrência restrita do processo de arenização em determinadas áreas. Em relação à orientação das vertentes foi possível concluir que os areais são

comuns nas médias colinas ou nas rampas em contato com escarpas de morros testemunhos. Complementando, Guasselli (2012, p. 106) discorre sobre a ação do pisoteio do gado e o uso de maquinário agrícola pesado como fatores desencadeantes de escoamento concentrado, gerando condições para a formação de ravinas e voçorocas, cujos processos estariam na origem dos areais.

Outro fenômeno que pode estar na origem do processo de arenização com o desencadeamento de ravinas e voçorocas é a formação de degraus de abatimento em cabeceiras de drenagem. Isto ocorre em função da lixiviação e o carreamento de óxidos de ferro por fluxos superficiais e subsuperficiais, ocasionando a desestruturação do pacote sedimentar, a acomodação das partículas minerais pela remoção de sua matriz agregadora e a posterior subsidência ou colapso da superfície. Formam-se desníveis no terreno em formato circular e semicircular, com solo exposto, onde antes não havia erosão significativa (FUJIMOTO *et al.*, 2010, p. 69).

Por meio da superposição de lineamentos estruturais, dos areais e da drenagem o autor verifica que ocorre um predomínio dos areais voltados para o sudeste e, de modo subsequente, pelos areais com orientação sudoeste. Estas formas estariam principalmente relacionadas com as drenagens secundárias e, de forma, indireta, aos lineamentos de menor extensão, confirmando a predominância de orientação SE-NW assim como um padrão regular entre ambos. O entalhamento fluvial por reativação da drenagem pode estar ocorrendo em função do diaclasamento das Formações Guará e Botucatu, o que determinaria a orientação de ravinas e voçorocas, se constituindo em um fator fundamental para a ocorrência do processo de arenização em escala regional. Feições derivadas da subsidência por erosão hídrica superficial, denominadas degraus de abatimento, também apresentam uma relação bastante estreita com os lineamentos do substrato rochoso, mas não estão restritas às áreas de ocorrência dos areais (GUASSELLI, 2012, p. 106-110).

Em relação à forma do terreno, Guasselli (2012, p. 112) afirma ser possível evidenciar que os areais desenvolvidos sobre as encostas de morros testemunhos estão associados às vertentes de formas retilíneas, divergentes e planares.

Considerando uma abordagem sistêmica na qual se insere de modo fundamental a ação humana na fisiologia da paisagem, De Nardin e Robaina (2010) realizaram o zoneamento geoambiental em dois municípios do oeste do RS considerando duas categorias de análise fundamentais, os Sistemas e as Unidades. Quanto aos impactos e conflitos ambientais verificados pela atividade do homem no Sistema Urbano, restrito

aos municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis, os autores destacam o lançamento de esgoto nas águas do rio Ibicuí (Sistema Ibicuí), alteração das drenagens, impermeabilização das margens, construção de aterros nos terrenos, geração de resíduos sólidos sem adequado local para descarte e instalação das vias de acesso (DE NARDIN e ROBAINA, 2010, p. 492).

3.1 SÃO FRANCISCO DE ASSIS, ESTADO DO RS

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2010) o município de São Francisco de Assis faz parte da mesorregião do Sudoeste Rio-grandense, microrregião da Campanha Ocidental, localizado pelas as coordenadas geográficas 29°33'01" de latitude sul e 55°07'52" de longitude oeste, a uma altitude 151 metros - Figura 19. Os Biomas Pampa e Mata Atlântica se encontram representados pela ocorrência de formações vegetais típicas, como fisionomias campestres, matas de galeria, matas ciliares e fragmentos de floresta encobrindo as escarpas dos relevos residuais areníticos. Como área da unidade territorial tem-se 2.508,453 km² e uma população estimada de 19.437 habitantes (IBGE, 2016). Os municípios limítrofes são representados por Santiago, Manoel Viana, Alegrete, Jaguari e Maçambará.



Figura 19. Localização do município de São Francisco de Assis, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Elaboração:** C.L.Vieira (Janeiro, 2017).

Oliveira e Suertegaray (2014, p. 214 - 215) realizaram a análise de colunas estratigráficas coletadas em dois pontos em uma propriedade rural situada na localidade de Esquina, próximo ao centro urbano do município. De acordo com os autores, o relevo da área de estudo é constituído pela presença de morros testemunhos, rampas e colinas, várzeas e fundos de vales, tendo identificado a ocorrência de um conjunto de morros testemunhos com topo relativamente plano e altimetrias em torno de 225 m - Figura 20. Estes relevos constituem a prova topográfica de um processo pretérito de aplainamento seguido de posterior entalhamento da superfície da Campanha. A formação Guará, originada por deposição de sedimentos a partir de dinâmicas fluviais constitui a escarpa destes morros. Em referências anteriores, neste setor, a Formação Guará fora então identificada como sendo constituída pelo arenito Botucatu.

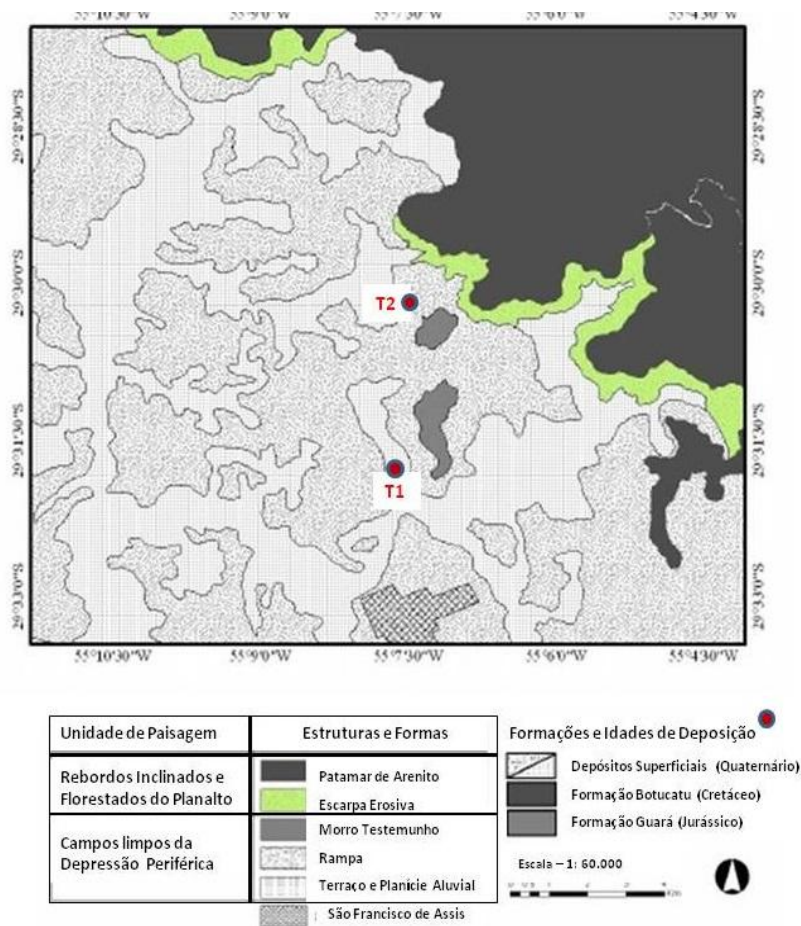


Figura 20. Identificação dos compartimentos de relevo e pontos de coleta de coluna sedimentar (T1 e T2) na localidade Cerro da Esquina, município de São Francisco de Assis, RS. **Fonte:** Oliveira e Suertegaray (2014, p. 2015).

As escarpas destes relevos testemunhos são constituídas pela Formação Guará, segundo mapeamentos e indicações geológicas mais recentes. Os compartimentos mais rebaixados com referência a estes relevos são denominadas rampas. As rampas apresentam constituição arenosa e inconsolidada, tendo sido formadas por depósitos sedimentares recentes. Estas unidades estão conectadas tanto aos relevos testemunhos quanto às áreas de várzeas. Os compartimentos de várzea apresentam menor altitude, são formados por depósitos aluviais e acompanham os cursos de água (OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 215).

Dando prosseguimento os autores identificaram na Localidade de Esquina a ocorrência de, ao menos, três momentos distintos de formações aluviais e de pedimentação considerando-se do Pleistoceno superior até o presente. De forma resumida transcrevermos as seguintes considerações a respeito deste amplo e minucioso

estudo conduzido para reconstrução cronológica e paleoestratigráfica. A primeira e mais antiga fase propõe que no passado também houvesse depressões rasas e úmidas preenchidas por matéria orgânica, sendo estas alimentadas pelo direcionamento das águas de recarga, cujo fluxo estava direcionado para o vale. Esta possibilidade é levantada a partir da datação pelo isótopo C^{14} de uma turfeira formada em aproximadamente 42.000 anos AP e outra em 23.000 anos AP (OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 217).

A segunda fase considera o intervalo de transição do Pleistoceno para o Holoceno, sendo atestada uma curta fase úmida precedida de um ressecamento ambiental, evidenciado pelos depósitos de sedimentos com coloração avermelhada, acastanhada ou amarelada. Estas tonalidades estariam associadas à oxidação do ferro. Da mesma forma, é observado o desaparecimento de esporos característico de espécies aquáticas por volta de 10.000 anos AP e um aumento de esporos de musgos representativos de solos secos e climas mais quentes, como o *Phaeoceros laevis*, até 7.500 anos AP. Após este período verifica-se o aparecimento das primeiras espécies arbóreas típicas de matas de galeria, devido ao aumento da umidificação engendrado pela elevação do nível do mar em torno de 6 a 10 metros, em relação ao nível atual ocorrido, provavelmente, por volta de 3.500 anos AP. Para São Francisco de Assis outro provável período de ressecamento é verificado através de análise polínica, em um intervalo mais recente, que abrange de 3.500 a 2.000 anos AP (OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 220). De acordo com os autores, este novo intervalo de ressecamento não representa, necessariamente, a ausência de chuvas, podendo ser ocasionado por eventos de baixa intensidade e má distribuição espaço-temporal das precipitações. Este fato teria estimulado condições para um lento desenvolvimento da vegetação, significativo percentual de solo com ausência de cobertura vegetal, incremento nos processos eólicos sobre as áreas descobertas e a consequente formação de depósitos de sedimentos pela ação da deflação (SUERTEGARAY, 1998, p. 46; OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 221).

A última fase de análise geomorfológica realizada na localidade de Esquina em São Francisco de Assis através da coleta de colunas estratigráficas atesta a relação com um passado mais recente, quando houvera uma maior disponibilidade de água no ambiente. Esta condição de maior umidade promoveu a dissolução de incrustações ferruginosas, o entalhamento de antigas várzeas e a formação de solos hidromórficos, de acordo com o observado nas amostras coletadas. A expansão das matas de galeria e da

vegetação de porte arbóreo colonizando as encostas úmidas teria se dado, segundo os autores, a partir de 1.500 anos AP até os dias atuais.

Na localidade de Esquina foram identificadas duas situações principais de ocorrência das formas que atestam as dinâmicas do ambiente, como ravinas, voçorocas e areais. Na área de estudo considerada, estas feições superficiais se desenvolvem comumente nas áreas de rampa em contato com morros testemunhos e em médias colinas associadas às cabeceiras fluviais (OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 222).

Fujimoto *et al.* (2010, p. 71) investigaram formas denudacionais desenvolvidas sobre cabeceiras de drenagem em dois municípios com da região dos areais, partindo do pressuposto de que processos físicos e químicos ocasionavam a perda de elementos do solo e da rocha, levando ao abatimento do relevo. Em São Francisco de Assis foram amostrados quatro pontos testemunhos, localizados no terço superior da vertente, dispostas de modo adjacente ao relevo arenítico de topo plano denominado Cerro da Esquina. Após investigações em campo e laboratório os autores chegaram à conclusão de que havia pequena alteração no teor de partículas de granulometria fina e grossas em relação aos pontos à montante e à jusante do degrau de abatimento, indicando atividade de pedogênese. Após a subsidência da superfície a área desprovida de vegetação ficava sujeita à ação da erosão pluvial. A análise por morfoscopia indicou a predominância de grãos polidos em relação aos foscos, podendo ter origem na decomposição de arenitos fluviais da Formação Guará. Disposta de forma sobrejacente à Formação Botucatu, que sustenta os topos convexos dos morros, acredita-se que o arenito Guará dê sustentação para as encostas retilíneas e côncavas destes relevos residuais.

De modo geral, compreende-se o desenvolvimento de processos erosivos lineares nos setores de contato entre relevos residuais e pacotes sedimentares inconsolidados depositados nas rampas adjacentes e nas médias vertentes. O fluxo de água da chuva que escoar por superfícies de maior declividade a montante atingem os depósitos arenosos ausentes ou com escassa cobertura vegetal, dando início à formação de ravinas e voçorocas. O material carregado pelos fluxos de água e depositado a jusante das formas originadas por processos avançados de erosão hídrica terminam por formar camadas de sedimentos dispostas em leques, formando núcleos de arenização (SUERTEGARAY, 1998, p. 52; OLIVEIRA e SUERTEGARAY, 2014, p. 222-224).

Verdum (1997) analisando, entre outros parâmetros, a relação entre a dinâmica hidrológica e os principais processos morfogênicos verificou a importância dos

lençóis freáticos na alimentação da rede hidrográfica assim como a relação entre os eventos atmosféricos de forte intensidade e as cheias. Fases de escoamento superficial ocorrendo de modo brusco e com significativo potencial erosivo tornam-se eficientes no desencadeamento de processos morfogenéticos sobre um ambiente com grande fragilidade natural (VERDUM, 2012, p. 75-76). Segundo o autor, devem-se levar em conta dois diferentes pressupostos lógicos para a compreensão da dinâmica dos fenômenos que existem entre o meio e a sociedade, sendo a abordagem analítica e a abordagem sistêmica. No caso específico dos areais do sudoeste do RS, a partir da aplicação destes pressupostos podem-se obter resultados e gerar conclusões que permitem atribuir a sua origem tanto às dinâmicas do meio, bem como um resultado destas dinâmicas em associação às atividades de uso e ocupação do solo pelo homem (VERDUM, 2012, p 80).

Considerando a metodologia de análise geomorfológica apresentada no trabalho de Robaina *et al.* (2010) é de suma relevância destacarmos o compartimento classificado como Patamares Residuais em Arenitos, onde está inserido o município de São Francisco de Assis. Este setor, de acordo com os autores, está localizado na porção oeste da Depressão do Rio Ibicuí e compreende uma área aproximada de 12,1 % da bacia - Figuras 21 e 22. O relevo arredondado formado por colinas, com inclinações inferiores a 15%, estão associados a morrotes isolados de arenito, com inclinações superiores a 30%. Estes morrotes, localmente denominados cerros, apresentam topo plano preservado por camadas sub-horizontais cimentadas por óxidos de ferro ou sílica e pode haver a ocorrência de degraus de rocha exposta preservados na meia encosta. Latossolos arenosos compostos por arenitos de baixa coesão caracterizam o tipo de solo desenvolvido sobre as colinas, promovendo a geração de processos acelerados de erosão hídrica e eólica e a formação de feições como ravinas, voçorocas e areais (ROBAINA *et al.*, 2010, p. 16) – Figuras 23 e 24.

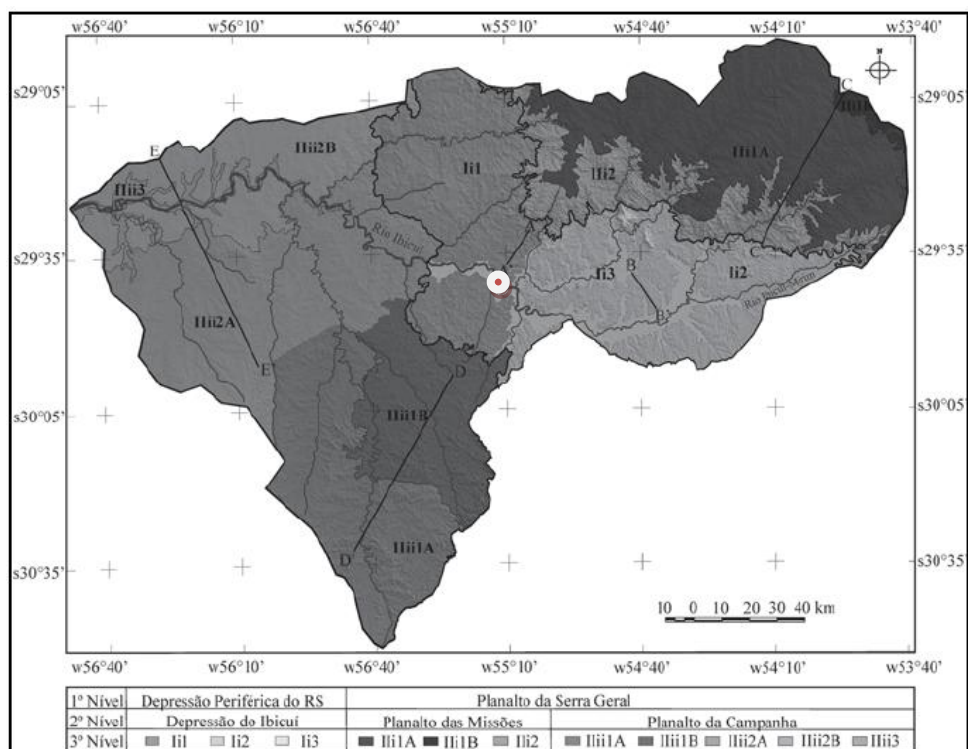


Figura 21. Compartimentação da região oeste, bacia hidrográfica do rio Ibicuí, com ocorrência da arenização no RS. O ponto em destaque localiza-se o município de São Francisco de Assis. Adaptado de Robaina *et al.* (2010, p. 15).

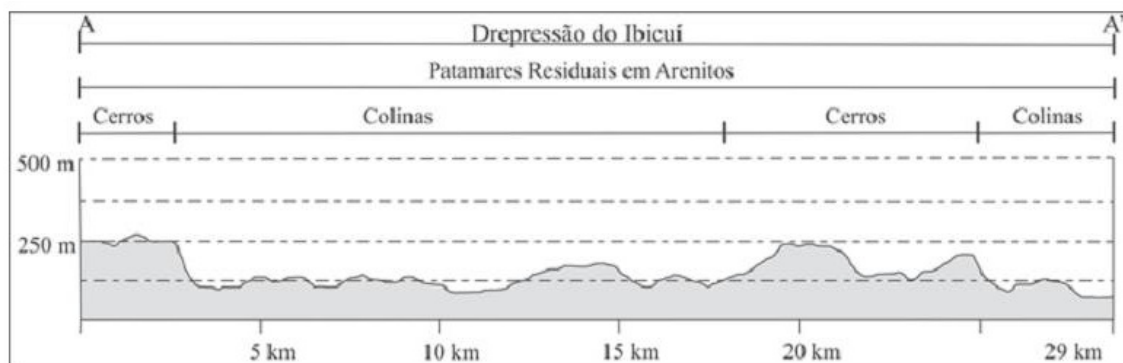


Figura 22. Localização dos Patamares Residuais de Arenito, sobre os quais se desenvolvem processos de erosão hídrica avançada e arenização no RS. Adaptado de Robaina *et al.* (2010, p. 13).



Figura 23. Perfil de Latossolo Vermelho distrófico em São Francisco de Assis, RS. **Foto:** L.M.B. de Lima (Setembro, 2011).



Figura 24. Ravina em primeiro plano; areal em média vertente ao centro e relevo arenítico residual ao fundo - Município de São Francisco de Assis, RS. **Foto:** L.M.B. de Lima (Setembro, 2011).

Vieira e Verdum (2015, p. 15), desenvolveram um trabalho em escala local, voltado ao monitoramento da dinâmica de um processo de erosão hídrica e a geração de uma proposta que pudesse contribuir para a estabilização de uma ravina. Para a

compreensão do ambiente, dentre outros elementos, foi utilizada uma imagem com o traçado de transectos e a distinção dos diferentes compartimentos geomorfológicos identificados em uma propriedade rural na localidade de Cerro da Esquina - Figura 25, assim como o perfil topográfico correspondente - Figura 26.

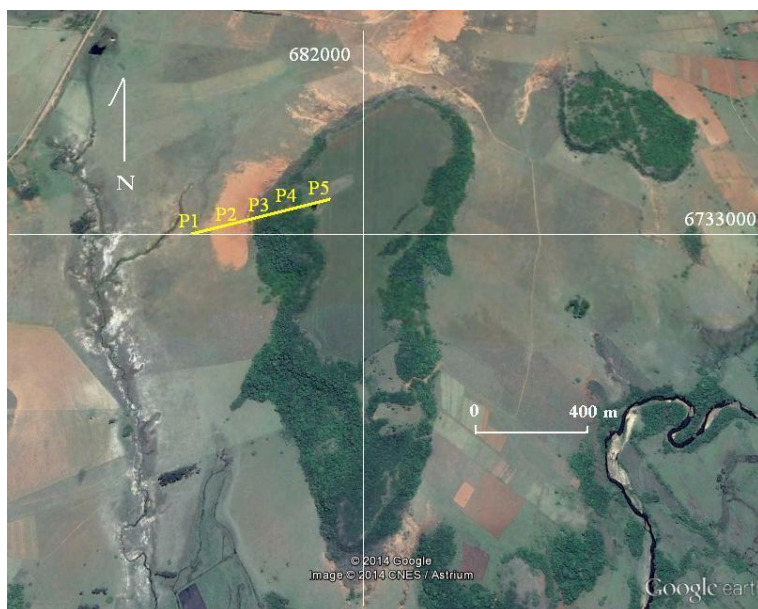


Figura 25. Transectos em compartimentos geomorfológicos junto ao Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS. P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matacões e P5: topo do cerro. **Fonte:** Vieira e Verdum (2015, p. 54).

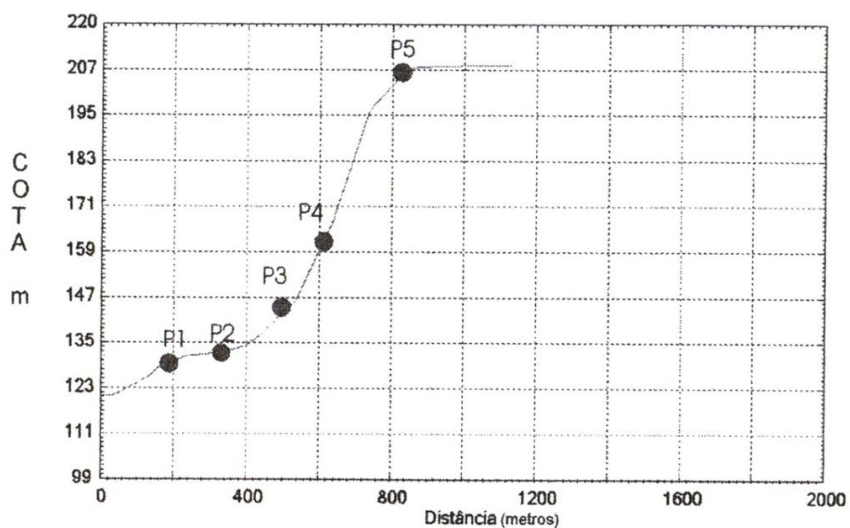


Figura 26. Perfil topográfico elaborado a partir de transecto no Cerro da Esquina e os diferentes compartimentos geomorfológicos. P1: borda do vale fluvial; P2: porção a jusante da rampa com formação do areal; P3: porção a montante da rampa com a formação das ravinas; P4: vertente com a presença de matacões e P5: topo do cerro. **Fonte:** Vieira e Verdum (2015, p. 55)

3.1.1 Localidade de Vila Kramer - Propriedade rural

O recorte espacial utilizado para o desenvolvimento da pesquisa compreende uma propriedade rural com 30 hectares localizada no caminho em direção à localidade de Vila Kramer, 5º Distrito de São Francisco de Assis, distante cerca de 50 minutos do centro urbano, coordenadas UTM 671999.76 mE e 6746019.48 mS - Figura 27. De Nardin e Robaina (2010, p. 498) caracterizaram a localidade de Vila Kramer como uma unidade de transição entre duas bacias hidrográficas, Sanga da Areia e Taquari, individualizada por escarpas. Segundo os autores, observa-se para esta unidade o contato entre as litologias vulcânicas e os arenitos eólicos e fluviais e um relevo formado por patamares amplos e declividades mais suaves. A Formação Guará seria a litologia característica para os areais localizados no município, de acordo com os mapeamentos realizados e a metodologia adotada por De Nardin e Robaina (2010, p. 500), diferindo de informações disponibilizadas por estudos precedentes.

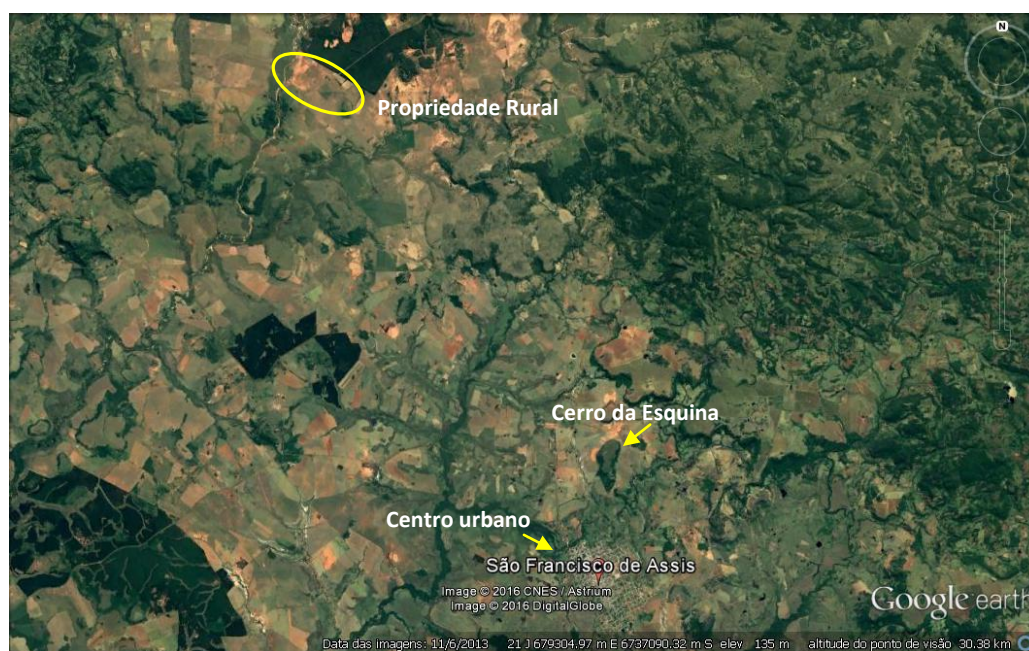


Figura 27. Localização do centro urbano do município de São Francisco de Assis na parte inferior da imagem, Cerro da esquina (relevo residual) e área de pesquisa no canto superior. **Fonte:** Google Earth. Acesso em 31/10/2016.

O uso e o manejo de solo são caracterizados pelo cultivo de espécies olerícolas e frutíferas, assim como a criação de aves para a subsistência. Como base econômica tem-se a atividade pecuária bovina e ovina, com grande impacto em relação à capacidade de suporte do meio, de alta fragilidade natural. O imóvel rural está localizado na Região Hidrográfica Brasileira do Rio Uruguai, Unidade Hidrográfica regional da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (U050), Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu, Micro-bacia Hidrográfica da Sanga da Areia com 97,08 km² - Figura 28.

A propriedade limita-se a oeste por um curso de água denominado Sanga do Rolador, a norte por um florestamento comercial de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) de propriedade da empresa Finlandesa Stora Enso, ao sul por propriedade rural adjacente e a leste pela estrada municipal conhecida como ‘corredor do eucaliptal’.

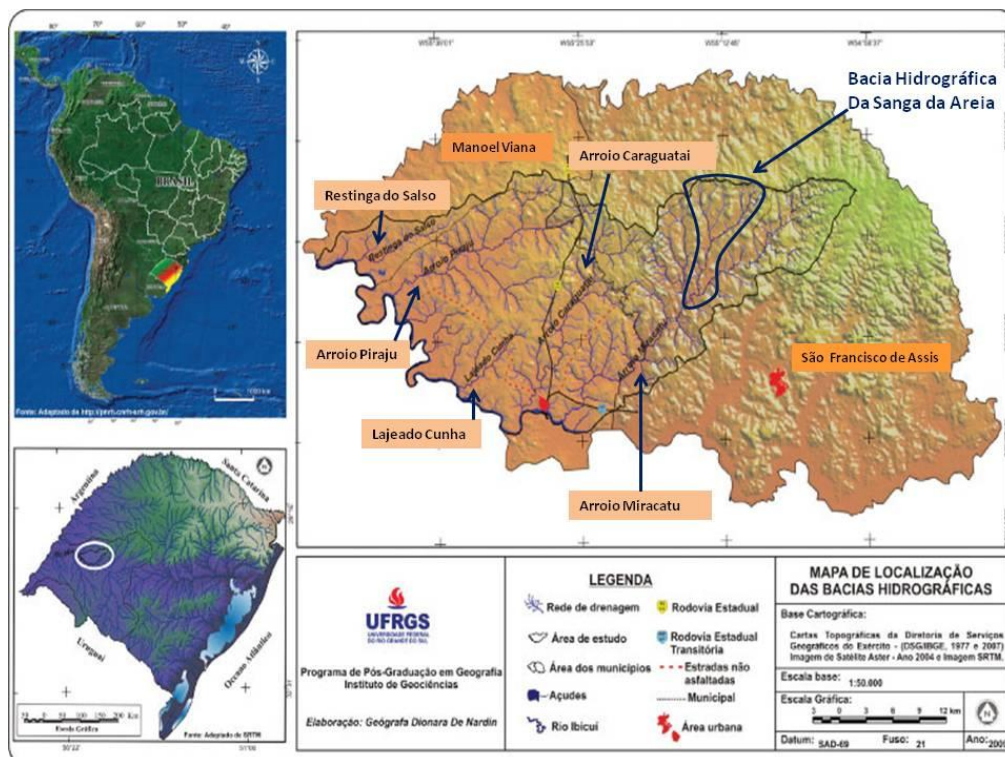


Figura 28. Delimitação da micro-bacia hidrográfica da Sanga da Areia, São Francisco de Assis, RS. Adaptado de De Nardin (2010).

Como características físico-ambientais, essenciais para elaboração de um panorama da propriedade, destacam-se: relevo suavemente ondulado; cobertura vegetal de fisionomia campestre entremeada por espécies herbáceas e arbustivas esparsas - ‘campos sujos’; processos morfológicos do tipo ravinas e voçorocas cobrindo

aproximadamente metade da área útil; e o limite geográfico à jusante por pequeno curso de água, nível de base local - Figura 29.

Arenitos da Formação Guará compõem o Sistema Sanga da Areia conferindo grande fragilidade ambiental por serem litologias friáveis facilmente predispostas à desagregação, o que favorece a formação de feições erosivas de grandes extensões. O relevo apresenta o domínio de colinas arenosas côncavo-convexas com inclinações entre 5 a 15 %. Os solos são espessos, profundos, arenosos, com elevada permeabilidade, denominados Latossolos Vermelhos arenosos em maior proporção neste setor e, em menor representatividade, Neossolos Quartzarênicos. Voçorocas em cabeceiras de drenagem tipificam as feições superficiais (DE NARDIN e ROBAINA, 2010, p. 493).

A dinâmica hídrica do curso de água local denominado Sanga do Rolador é bastante intensa, podendo-se observar meandros abandonados através de fotos de satélite. O limite da propriedade à jusante foi modificado pela ação da água, havendo grande deposição de sedimentos e intensa erosão no talude fluvial, com perda de 20-30 metros em relação à área originalmente demarcada.

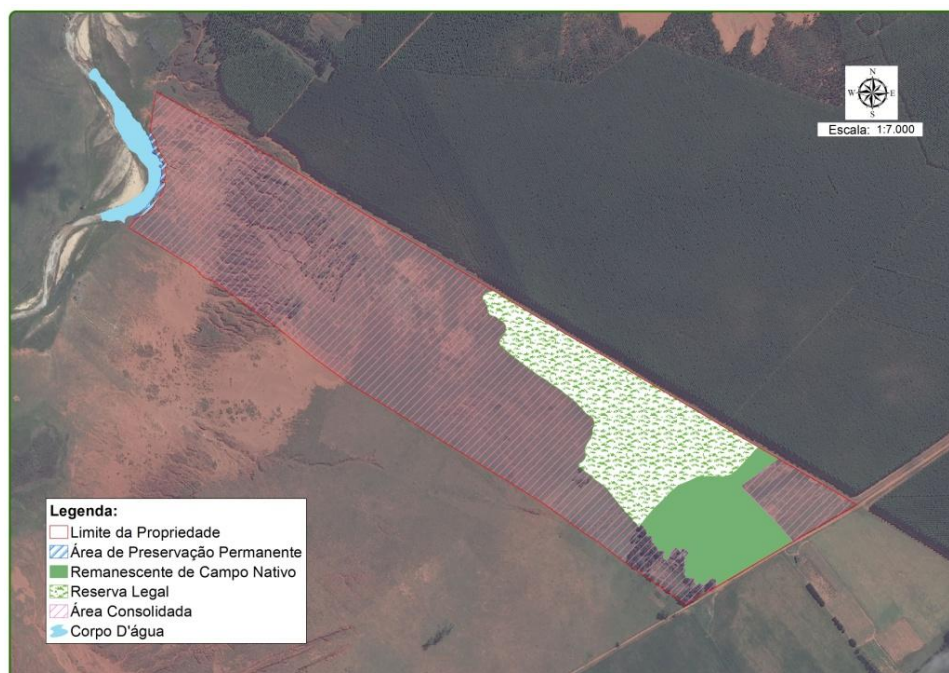


Figura 29. Delimitação da propriedade e uso da área. **Elaboração:** A.G. Goulart (Maio, 2016).

Verificam-se intensos processos erosivos avançados na metade inferior da propriedade, sentido montante-jusante. A declividade média é de 4% no terço inferior

da área, onde estão concentrados os areais, ravinas e voçorocas. A inclinação dos taludes das ravinas e voçorocas é, em sua maioria, de 50-60° e altura de média de 2-3 metros. O imóvel rural está assentado sobre um pacote sedimentar classificado como Areias Quarzosas – AQ, com perfis profundos, fração textural composta predominantemente por areia média e fina, coloração avermelhada, havendo afloramento de rochas com concreções ferruginosas a montante e a jusante da propriedade. A cobertura do solo é composta predominantemente por espécies forrageiras típicas do campo nativo. Em alguns setores se apresenta de modo rarefeito sobre a superfície, configurando manchas de solo exposto - Figura 30. Mudras de capim-limão (*Elyonurus* sp.), gramínea nativa típica da região dos areais - Figura 31, são encontradas próximas ao perímetro erosivo da propriedade rural. Neste setor verifica-se o desenvolvimento significativo de ravinas, voçorocas e núcleos de arenização.



Figura 30. Mosaico da propriedade rural. A) Vista frontal da entrada com afloramento de arenito no centro e sede à esquerda. B) Meia encosta e limite com propriedade lindeira à direita, junto ao monocultivo de eucalipto. C) Areal, próximo ao curso de água, nível de base local. D) Ravinas adjacentes à ‘Sanga do Rolador’, limite jusante. **Fotos:** C.L. Veira (Outubro, 2016).



Figura 31. Mudanças de capim-limão (*Elyonurus* sp.) próximas ao perímetro erosivo. **Foto:** C.L.Vieira (Junho, 2014).

4 ANÁLISE DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA

“(...) O mesmo é verdade considerando os pampas da América do Sul, sobre o qual W.H. Hudson ressaltava ser realmente espantoso o fato de que somente um pequeno ruminante poderia ser encontrado nesta imensa área de pastagem, tão admiravelmente adaptada aos herbívoros quadrúpedes. Milhões de ovelhas, gado bovino e cavalos, introduzidos pelo homem, pastejam agora, como se sabe, sobre uma parcela destas pradarias.”
(Peter Kropotkin, 2009, p. 309-310. Tradução própria)

4.1 PROCEDIMENTOS PRELIMINARES PARA O DIAGNÓSTICO

Para que se possa planejar a metodologia adequada à avaliação do potencial de resiliência se faz necessário, primeiramente, o entendimento das dinâmicas ambientais e a caracterização geomorfológica, conforme informações e debates proporcionados nos capítulos precedentes. De forma mais pontual e em uma escala de análise adequada ao nível de fisiologia da paisagem é primordial investigar elementos fundamentais relacionados ao relevo, ao solo, vegetação, processos morfológicos, dinâmica hídrica e características pluviométricas. Procedimentos em campo, gabinete e laboratório foram realizados entre o primeiro semestre de 2014 e o segundo semestre de 2016. Inicialmente foram realizadas atividades para reconhecimento da área de estudo. Posteriormente foi realizado o planejamento das intervenções em campo, atividades de execução, manutenção e monitoramento, totalizando onze visitas ao longo do período de desenvolvimento da pesquisa.

Em maio de 2014 foi realizado o primeiro campo para reconhecimento da propriedade junto à produtora rural. Em um primeiro momento, livros e croquis esquemáticos foram mostrados e as propostas debatidas conjuntamente para a verificação de expectativas e a viabilidade de implantação das intervenções técnicas na área. Em um segundo momento, percorreu-se a propriedade para a seleção das áreas piloto. A interação e o diálogo com a produtora rural foram fundamentais, pois diversas informações sobre o histórico de uso e manejo do solo, evolução dos processos erosivos, suas expectativas e perspectivas futuras foram explicitadas pela mesma, contribuindo para o planejamento das ações.

Com base na teoria ecodinâmica (TRICART, 1977) e nas expedições de reconhecimento em campo, foi possível distinguir com bastante nitidez três setores com diferentes dinâmicas em superfície. No terço inicial da propriedade a superfície do solo

estava bem preservada, com a cobertura composta por vegetação campestre típica do Bioma Pampa e específica para a região com ocorrência de arenização no RS. Apenas um ponto com afloramento de rocha arenítica e solo exposto foi verificado, bem próximo à porteira de entrada e a um ponto escavado utilizado como fonte de água subterrânea para o consumo humano (poço). Este setor equivale ao exposto por Tricart (1977) como Unidade Ecodinâmica referente ao *meio estável*, com predomínio do pedogênese em relação aos processos morfogenéticos. No setor médio da propriedade rural havia a transição gradual de um meio estável para um *meio intergrade*, sendo possível verificar núcleos significativos de arenização, maior porção de solo descoberto e uma mudança no tipo de cobertura vegetal mais a jusante, com colonização abundante de espécies endêmicas dos areais, como o capim limão (*Elyonurus* sp) e a mirtácea de porte anão *Eugenia pitanga*. O terço mais a jusante da propriedade correspondeu à Unidade Ecodinâmica onde prevalecem, sobremaneira, os processos morfológicos em detrimento da pedogênese, com a ocorrência de núcleos de arenização e ravinas em intensa atividade erosiva, cobrindo toda a porção a jusante da propriedade, junto ao limite local, o curso de água denominado ‘Sanga do Rolador’. Este setor, caracterizado como um *meio fortemente instável*, somado à porção do meio *intergrade* onde havia processos de arenização e solo descoberto compõe o ‘perímetro erosivo’, cuja abrangência perfaz cerca de 40 % da área útil do imóvel rural.

Duas áreas foram definidas como adequadas para a proposta do trabalho, tanto pelo critério de necessidade de isolamento do acesso animal devido à intensidade dos processos erosivos, quanto por indicação e vontade expressa da própria produtora rural. Ambas estavam localizadas no meio fortemente instável. A primeira área selecionada foi uma porção da superfície mais plana, cerca de 4 % de declividade, onde havia um núcleo de arenização situado próximo ao limite da propriedade com o curso de água. O perímetro com 15 metros de largura por 15 metros de comprimento foi demarcado em maio de 2015, totalizando 225 m² de área para estudo, sendo denominada *Área Experimental I* (AE-I). Esta área foi subdividida em cinco parcelas denominadas *Unidades de Avaliação* (UA), com 10 m² cada (2 m x 5 m). A outra área de estudo localiza-se à direita da primeira, sentido montante-jusante, sobre um núcleo de ravinas em superfície com 30 - 40 graus de inclinação. Esta área foi implantada em setembro de 2015 e contemplou cerca de 580 m², sendo subdividida em seis parcelas ou unidades de avaliação - UAs. Para cada parcela foi determinado um modelo de nucleação com

base no referencial teórico sobre as técnicas de restauração ecológica que já são usualmente empregadas no Brasil. A partir da demarcação das áreas experimentais e da implantação das unidades de avaliação estabeleceu-se um cronograma de manutenção e monitoramento com intervalo de dois meses, em média, e período total de um ano de atividades em campo para cada área experimental. Maiores detalhamentos quanto à implantação das áreas e unidades de avaliação serão descritos ao longo deste capítulo.

Elementos chave foram considerados para auxiliar na interpretação e no diagnóstico da área, assim como servir de suporte ao entendimento e à discussão dos resultados obtidos, sendo relacionados a seguir.

4.1.1 Relevô

Com relação à topografia, buscou-se compreender se havia algum componente de declividade atuando de forma contundente no desencadeamento de processos morfológicos observados de forma mais aguda no terço a jusante da propriedade. A partir de Carta Topográfica elaborada pelo Exército Brasileiro para a região sul do Brasil (1975) Folhas Vila Kramer SH-21-X-D-14 e Caraguatá SH-21-X-D-I-3, projeção em UTM, Datum Horizontal Córrego Alegre-MG, escala 1:50.000 e equidistância entre curvas de nível de 20 metros traçou-se um transecto Y – Z para a elaboração de um perfil topográfico, representando o comprimento da propriedade, da menor à maior cota. A plotagem dos dados foi feita em planilha do programa Excel com posterior geração do gráfico. A partir da visualização do produto gerado verificou-se que a escala da carta não correspondia ao nível de detalhamento necessário para a avaliação requerida. Dessa forma, procedeu-se à coleta de dados em 30 pontos no terreno, com o uso de equipamento de precisão *Global Position System* (GPS), partindo-se de jusante (talude fluvial) para montante (início da propriedade) - Anexo A. Os procedimentos de coleta e registro dos dados foram feitos em acordo ao manual do equipamento, com prévia calibragem da bússola e captação dos dados de satélite sendo aguardados cerca de cinco minutos em cada ponto até a estabilização do sinal - Figura 32. O tratamento dos dados registrados foi executado em *software* do GPS utilizado, GIS DataPRO 3.00 Build 318, permitindo a geração de um perfil topográfico com maior detalhamento da superfície e as diferenças de altitude em imagem correspondente.

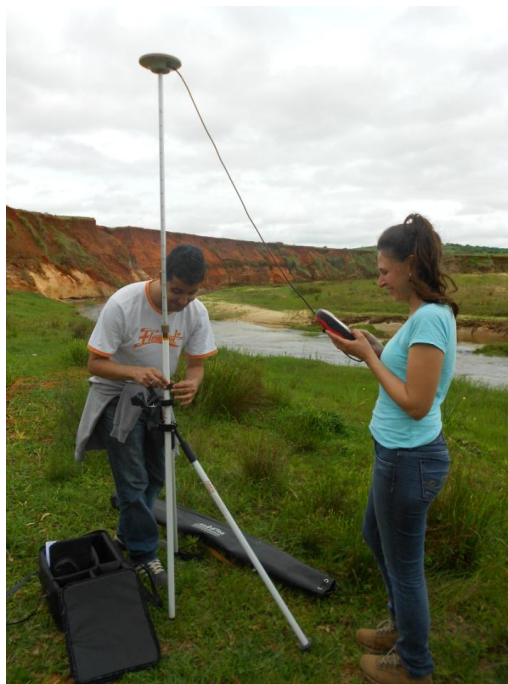


Figura 32. Tomada de pontos com GPS de precisão para elaboração de perfil topográfico da propriedade.
Foto: C.L. Vieira (Novembro, 2014).

O cálculo das declividades para as diferentes linhas de cota no terreno foi realizado com base nos dados do GPS Topográfico, permitindo uma análise preliminar quanto às diferenças e amplitudes de variação altimétricas assim como as possíveis relações com a intensidade dos processos de erosão hídrica verificados em superfície.

4.1.2 Solo

Para a definição dos parâmetros e propriedades do solo optou-se pelas seguintes etapas: consulta a material bibliográfico específico; coleta de amostras para análises das características físico-químicas em laboratório; tabulação dos dados e avaliação comparativa em gabinete. A fim de se averiguar a suscetibilidade do solo à erosão foram realizadas estimativas de remobilização do material em superfície com base na Equação Universal de Perda dos Solos (USLE) e por meio da instalação de parcelas abertas em forma de meia-lua nas áreas experimentais I e II.

Amostras de solo foram coletadas ao longo da propriedade e a localização de cada ponto foi realizada utilizando GPS de navegação, sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), *Datum* WGS 84. Os pontos foram

sobrepostos a imagem do Google Earth para a visualização do traçado de coleta das amostras solo. As coletas foram tomadas a 20-30 centímetros de profundidade, retirando-se qualquer material em superfície que pudesse causar contaminação e discrepâncias nas análises. Os primeiros cinco (5) a sete (7) cm de solo foram descartados em função do frequente trânsito de gado bovino, abundante presença de raízes e bioturbação por invertebrados da família *Formicidae* e térmitas de solo. Procurou-se atentar para elementos topográficos e de relevo, assim como acúmulos de água sobre a superfície, talvegues naturais, afloramentos de rocha, presença de crostas biológicas, núcleos de arenização, erosão em canalículos e ravinas, concentração de maciços vegetais, assim como demais características que pudessem orientar a coleta do material. Observaram-se, também, as distâncias em relação às benfeitorias e as estradas, os locais preferenciais de trânsito e defecação dos animais, a proximidade com poços artesianos, entre outros fatores. No total foram obtidas 13 amostras, com aproximadamente dois quilos e meio de material coletado, individualizadas pelo código alfanumérico: MI - 01 (limite a montante da propriedade) ao MI -13 (talude fluvial - limite a jusante). Análises das características físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios de Análise de Solos – Anexo B e Análise de Substratos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Anexo C e no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO) do Instituto de Geociências da UFRGS - Apêndice A. Os parâmetros básicos avaliados para cada amostra nas análises do laboratório de sedimentologia foram: densidade real (g/cm^3), granulometria e classificação textural (%), morfoscopia e teor de matéria orgânica (%) - Figuras 33 a 35.

O intervalo dimensional das partículas minerais para determinação das classes texturais seguiu o definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT (NBR 6502/95). Para a análise granulométrica foram utilizadas como referências as escalas logarítmicas de Krumbein (1941) e C.K.Wentworth (1963). Determinou-se o teor de materiais finos com base na sedimentação gravitacional exemplificado na Lei de Stokes (PERGAMENT, 2015). A matéria orgânica teve seu teor determinado por meio do modelo de Wetzell (1983). Para a descrição morfométrica utilizaram-se as metodologias de Suguio (2003), Bigarella (1955) e a relação esfericidade-forma de Krumbein (1941). Esta metodologia de análise segue o protocolo padrão do laboratório CECO, segundo informações recebidas pelo técnico laboratorista que orientou os procedimentos.



Figura 33. Análise granulométrica, teor de matéria orgânica e morfoscopia no CECO/UFRGS. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).



Figura 34. Avaliação do percentual de argila em amostras analisadas no CECO/UFRGS. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).



Figura 35. Análise de morfooscópica de sedimentos em microscópio estereoscópico binocular, laboratório do CECO/UFRGS. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).

Em análises realizadas no laboratório de solos as principais características verificadas foram: concentração de íon hidrogênio livre na solução do solo ou acidez ativa ($\text{pH} - \text{H}_2\text{O}$); acidez potencial ($\text{Al} + \text{H} - \text{cmol}_c/\text{dm}^3$); índice SMP (mede a acidez a partir de uma solução tamponada a $\text{pH} 7,5$); teor dos macronutrientes fósforo (P) e potássio (K) em mg/dm^3 ; teor de argila (%); teor de matéria orgânica (M.O.%); quantidade de íons trocáveis alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; capacidade de troca de cátions (CTC - $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), percentual de saturação da CTC por bases e Al (%) além das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.

As amostras submetidas ao laboratório de análise de substrato do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia foram reagrupadas em três (3) amostras maiores e compostas, denominadas MI – A, MI – B e MI – C. As amostras de solo MI - 01 a MI - 04 compuseram a amostra para análise de substrato MI – A; amostras MI - 05 a MI - 08 compuseram MI – B e as amostras MI - 09 a MI - 12 compuseram MI C conforme esquema da Figura 36. A amostra MI – 13 obtida junto à base do talude fluvial da Sanga do Rolador foi descartada para esta composição amostral, pelo fato de ter sido intencionalmente coletada em um horizonte subsuperficial argiloso, onde havia a presença de caulim. Esta composição, em amostras maiores e permitindo uma menor quantidade de análises, foi necessária por uma questão de limitação quanto à disponibilidade de recursos financeiros para o custeio de todas as amostras. Os principais parâmetros e características verificadas nas análises de

substrato, com metodologia do próprio laboratório, foram: o potencial hidrogeniônico ou acidez ativa ($\text{pH} - \text{H}_2\text{O}$), a condutividade elétrica ($\text{CE} - \text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), as densidades úmida ($\text{DU} - \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) e seca ($\text{DS} - \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), o teor de umidade atual da amostra ($\text{UA} \%$), a porosidade total ($\text{PT} \%$), o espaço aéreo ($\text{EA} \%$), o teor de água facilmente disponível ($\text{AFD} \%$), o percentual de água tamponante ($\text{AT} \%$), o teor de água remanescente ($\text{AR} \%$), a capacidade de retenção de água sob sucção de 10; 50 e 100 cm de coluna de água determinado em base volumétrica v/v e, finalmente, o percentual de água disponível ($\text{AD} \%$) obtida pela soma $\text{AFD} + \text{AT}$. Para todas as coletas foram anotadas informações do entorno conjugadas a registros fotográficos, de modo a enriquecer o banco de dados, auxiliando nos trabalhos de interpretação e diagnóstico ambiental.

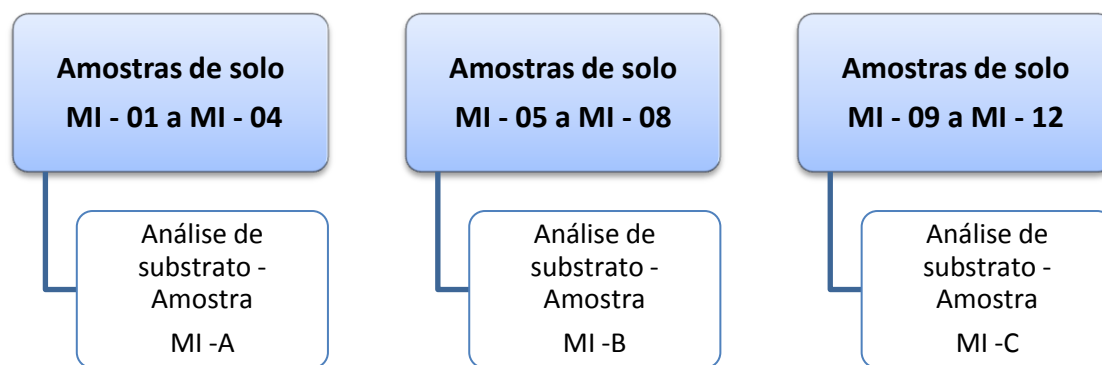


Figura 36. Esquema demonstrando a composição das amostras destinadas às análises de solo e substrato. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

Análises visuais de aspectos qualitativos foram realizadas com o auxílio de Lupa manual (lente com aumento 10), identificando-se presença de matéria seca vegetal (raízes, folhas, hastes), pedofauna, agregados de solo, concreções ferruginosas e propágulos vegetativos (sementes) - Figura 37.



Figura 37. Avaliação de material orgânico proveniente das amostras analisadas no CECO/UFRGS. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).

Um memorial de fotos com as espécies vegetais nativas foi elaborado para cada ponto de coleta de solo, assim como o registro em caderneta de campo quanto à florística, hábito de crescimento, sinais de deficiências nutricionais, potencial ornamental, atração de polinizadores, unidade ecológica onde foi observada, dentre outras características que pudessem auxiliar na leitura do ambiente. Para a classificação do Neossolo Quartzarênico inserido em uma matriz em Latossolo Vermelho distrófico órtico típico utilizaram-se as determinações em acordo ao Sistema Brasileiro de Classificações dos Solos (SBCS), elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - EMBRAPA (2013).

Cálculos referentes à necessidade de adubação e calagem foram realizados com base nos resultados dos laudos de análises de solo para todos os pontos amostrados e com referência ao recomendado no Manual de Adubação e Calagem para o estado do RS e SC (2004), de modo a se obter um parâmetro da quantidade de corretivos de acidez e condicionadores da fertilidade seriam necessários para o caso de uma adequação do ambiente edáfico à uma condição mínima viável que vise a introdução de vegetação para a cobertura do solo.

4.1.3 Vegetação

Caraterísticas da vegetação na área em estudo foram descritas por meio da observação direta em campo, amplo registro de memorial fotográfico - Figuras 38 a 42, consulta ao Herbário do Instituto de Botânica da UFRGS - Figura 43, e análise comparativa com base no material teórico relacionado à vegetação nativa dos campos com arenização no sudoeste do RS, tais como Marchiori (1995; 2004), Kissmann (1991-1995; 1997; 1999), Freitas (2006; 2010^a; 2010^b), Boldrini (2010), Silva (2012), Rambo (2014), Pillar e Lange (2015).



Figura 38. Mosaico da diversidade de espécies vegetais presentes na área de campo nativo, terço inicial da propriedade. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).



Figura 39. Detalhe da riqueza botânica compoendo as áreas de campo nativo à esquerda e a espécie *Waltheria douradinha* no setor classificado como *meio intergrade*, à direita da imagem. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 40. *Eugenia pitanga*, espécie mirtácea anã típica dos campos com arenização no sudoeste do RS colonizando de forma significativa o *meio intergrade* e formando uma pequena mancha na área experimental II, *meio fortemente instável*. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 41. Espécies nativas com potencial ornamental, como a *Portulaca oleracea*, à direita da imagem. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 42. Espécie nativa de porte rasteiro registrada no *meio integrade* e cactácea de porte ereto colonizando o canal de uma ravina no *meio fortemente instável*. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 43. Identificação de material vegetal coletado em campo junto ao Herbário do Departamento de Botânica/UFRGS. **Foto:** C.L. Vieira (Outubro, 2015).

Em junho de 2014 selecionou-se, de modo preliminar, uma superfície sobre um talude, localizada na porção a jusante de uma ravina ativa, coordenadas UTM 0679930 mE; 6746546 mS para averiguar a viabilidade de emprego das técnicas voltadas ao estabelecimento de cobertura vegetal em áreas localizadas no meio fortemente instável.

O talude da ravina foi remodelado, procedendo-se a uma suavização na inclinação do perfil e da crista da feição erosiva em relação à superfície do solo. Imperfeições internas foram homogeneizadas para que não houvesse pontos preferenciais de escoamento de fluxo de água proveniente do topo da ravina, ou seja, de montante.

A área selecionada para a intervenção no talude foi de 2,5 metros de altura por 10 metros de comprimento, totalizando aproximadamente 25 m². O ângulo de inclinação predominante aferido foi de 60°, em média. Equipamentos básicos foram utilizados para as atividades de campo, como: trena, GPS de navegação, pá de corte, enxada e bússola como.

As ações idealizadas objetivaram verificar qual a melhor forma de se promover o reordenamento de escoamentos concentrados, a correção do ângulo de inclinação do talude, o plantio de mudas vegetais, a viabilidade na aplicação de *topsoil* sobre o talude remobilizado, a germinação material propagativo proveniente do banco de sementes presente no *topsoil* de mata ciliar, assim como a viabilidade em se aplicar uma proteção

sobre a superfície por meio do emprego de cobertura têxtil confeccionada com fibra vegetal denominada, *biomanta* - Figuras 44 a 47.



Figura 44. Talude da feição erosiva selecionada, localizada de modo adjacente a um grande monocultivo de eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2014).



Figura 45. Canal da feição erosiva selecionada. Talude em estudo à esquerda da imagem, em primeiro plano. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2014).



Figura 46. Aferimento de porção do talude para intervenção preliminar. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2014).



Figura 47. Remodelação do talude para aplicação de *topsoil*, plantio de mudas de capim Vetiver e cobertura com biomanta. **Foto:** C.L.Vieira (Junho, 2014).

4.1.4 Processos morfológicos

Processos de erosão hídrica em superfície e a ocorrência de pontos com arenização foram observados por meio de fotos de satélite e diretamente em campo, assumindo um recorte espacial relativo aos limites da área de estudo e uma escala temporal atual.

O terço inicial da propriedade não apresentava processos erosivos exceto um ponto com afloramento de rocha na entrada e próximo à sede do imóvel rural - Figura

48. Focos de arenização foram verificados no terço médio, meio *intergrade* - Figura 49, e no terço final da propriedade, meio fortemente instável - Figuras 50 e 51.



Figura 48. Afloramento de rocha arenítica e concreções ferruginosas na entrada da propriedade. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).



Figura 49. Foco de arenização no terço médio da propriedade, meio *intergrade*, perímetro erosivo. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).



Figura 50. Núcleo de arenização à esquerda, sentido montante-jusante, terço final da propriedade, meio fortemente instável. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 51. Início do setor de ravinas localizado à direita, sentido montante-jusante, terço final da propriedade, meio fortemente instável. **Foto:** C.L.Vieira (Novembro, 2014).

4.1.5 Dinâmica hídrica da Sanga do Rolador

A influência hidrodinâmica do curso de água que delimita a propriedade a jusante foi avaliada através de parâmetros morfométricos calculados para toda a bacia hidrográfica da Sanga da Areia. Localmente foi feita a observação em campo, ao longo de três anos consecutivos e abrangendo as quatro estações do ano, de variações na sanga do Rolador, como alterações na direção do fluxo direção, altura de lâmina de água, ação erosiva junto aos taludes fluviais, impacto na reativação de paleodrenagens e o surgimento de ravinas em superfície - Figuras 52, 53 e 54.

Estas observações em campo forneceram argumentos para que uma caracterização mais detalhada da bacia fosse realizada de modo a tornar possível a construção de uma perspectiva de evolução dos processos e suscitar o questionamento sobre até que ponto se tornaria viável propor técnicas para a implantação de vegetação e a possibilidade de se continuar a utilizar a propriedade para atividades de produção rural.

A hierarquização da bacia hidrográfica da Sanga da Areia teve como base a metodologia de Strahler (1964). Parâmetros morfométricos da bacia como a densidade de drenagem ($Dd = \sum L_n/A$), o fator forma ($K_f = AL/L^2$), a sinuosidade ($Sin = L/L_t$), o componente de compacidade ($K_c = 0,28 \times P/\sqrt{A}$), fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), fator de Simetria Topográfica Transversa (FSTT) e um possível basculamento estrutural também foram calculados e investigados com base em dados das Cartas Topográficas do Exército Brasileiro, Folhas Vila Kramer e Caraguataí, escala 1:50.000, e em análise comparativa a artigos e material teórico relacionado, como em Filho *et al.* (2012), Gass (2015) e Binda (2016). Os dados levantados foram tabulados e analisados em planilha do programa Excell.



Figura 52. Margem esquerda do talude fluvial da ‘Sanga do Rolador’, sentido montante-jusante. **Foto:** C.L.Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 53. Margem direita do talude fluvial da ‘Sanga do Rolador’, sentido jusante-montante. **Foto:** C.L.Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 54. Área superficial adjacente à margem esquerda do curso de água, apresentando uma significativa quantidade de ravinas ativas conectadas à rede de drenagem. **Foto:** C.L.Vieira (Dezembro, 2015).

A avaliação de uma possível influência de controles estruturais no ambiente foi analisada com base no parâmetro de Relação Declividade-Extensão – RDE (*stream gradient index*), proposto por Hack (1973) para o qual um perfil longitudinal é conformado, permitindo que sejam identificadas alterações no curso de água - Figura 55.

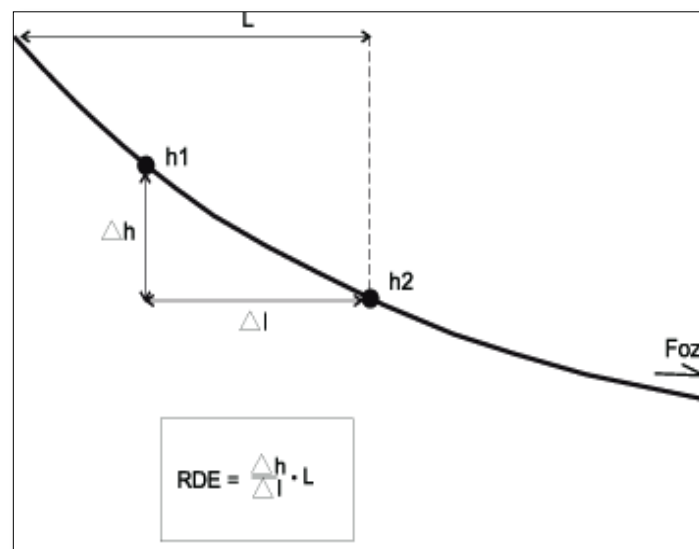


Figura 55. Parâmetros do cálculo RDE: **L** = comprimento da drenagem da cabeceira a jusante; **Δh** = diferença de altitude entre duas isoípsas subsequentes; **Δl** = projeção horizontal do comprimento do segmento de drenagem entre duas isoípsas subsequentes. **Fonte:** Hack, 1973.

4.1.6 Características pluviométricas

A frequência e intensidade das precipitações em forma de chuva foram avaliadas com base nos dados obtidos através da estação pluviométrica do município fronteiriço de Manuel Viana e analisadas por meio do *software* Hydra/CPRM, já que São Francisco de Assis não dispõe de estação própria. Foram utilizados dados registrados durante o período de 2012 a 2015 e analisadas questões como intervalo entre eventos de precipitação, chuvas com potencial erosivo, médias mensais e anual e períodos de estiagem, dentre outras informações relevantes para um contexto de erodibilidade de solos arenosos - Figuras 56 a 57.

Dados pluviométricos - 2012	mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
	1450,00	120,83	3,93

Janeiro		Abril	
dias de Precipitação	5	dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Janeiro/dias	2	chuvas erosivas Abril/dias	3
maior P	12,70	maior P	63,90
menor P	2,00	menor P	3,50
maior intervalo sem chuva/dias	9	maior intervalo sem chuva/dias	10
menor intervalo entre P/dias	2	menor intervalo entre P/dias	1

Fevereiro		Maio	
dias de Precipitação	9	dias de Precipitação	3
chuvas erosivas Fevereiro/dias	2	chuvas erosivas Maio/dias	1
maior P	16,20	maior P	32,40
menor P	0,90	menor P	1,20
maior intervalo sem chuva/dias	12	maior intervalo sem chuva/dias	15
menor intervalo entre P/dias	1	menor intervalo entre P/dias	2

Março		Junho	
dias de Precipitação	5	dias de Precipitação	4
chuvas erosivas Março/dias	1	chuvas erosivas Junho/dias	3
maior P	45,30	maior P	42,70
menor P	0,60	menor P	2,90
maior intervalo sem chuva/dias	18	maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	1	menor intervalo entre P/dias	2

Figura 56. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2012 - primeiro semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos - 2012		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		1450,00	120,83	3,93

Julho	
dias de Precipitação	5
chuvas erosivas Janeiro/dias	2
maior P	12,70
menor P	2,00
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	2

Outubro	
dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Abril/dias	3
maior P	63,90
menor P	3,50
maior intervalo sem chuva/dias	10
menor intervalo entre P/dias	1

Agosto	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Fevereiro/dias	2
maior P	16,20
menor P	0,90
maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	1

Novembro	
dias de Precipitação	3
chuvas erosivas Maio/dias	1
maior P	32,40
menor P	1,20
maior intervalo sem chuva/dias	15
menor intervalo entre P/dias	2

Setembro	
dias de Precipitação	5
chuvas erosivas Março/dias	1
maior P	45,30
menor P	0,60
maior intervalo sem chuva/dias	18
menor intervalo entre P/dias	1

Dezembro	
dias de Precipitação	4
chuvas erosivas Junho/dias	3
maior P	42,70
menor P	2,90
maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	2

Figura 57. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2012 - segundo semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos - 2013		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		1684,80	140,4	4,67

Janeiro	
dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Janeiro/dias	3
maior P	69,20
menor P	0,50
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Abril	
dias de Precipitação	5
chuvas erosivas Abril/dias	4
maior P	75,70
menor P	1,40
maior intervalo sem chuva/dias	16
menor intervalo entre P/dias	2

Fevereiro	
dias de Precipitação	10
chuvas erosivas Fevereiro/dias	5
maior P	84,00
menor P	0,80
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Maio	
dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Maio/dias	4
maior P	65,40
menor P	0,50
maior intervalo sem chuva/dias	7
menor intervalo entre P/dias	2

Março	
dias de Precipitação	8
chuvas erosivas Março/dias	6
maior P	37,40
menor P	1,80
maior intervalo sem chuva/dias	10
menor intervalo entre P/dias	1

Junho	
dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Junho/dias	1
maior P	10,10
menor P	1,40
maior intervalo sem chuva/dias	17
menor intervalo entre P/dias	1

Figura 58. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2013 - primeiro semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos - 2013		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		1684,80	140,4	4,67

Julho	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Julho/dias	6
maior P	37,60
menor P	1,20
maior intervalo sem chuva/dias	10
menor intervalo entre P/dias	1

Outubro	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Outubro/dias	4
maior P	34,20
menor P	1,90
maior intervalo sem chuva/dias	11
menor intervalo entre P/dias	1

Agosto	
dias de Precipitação	10
chuvas erosivas Agosto/dias	2
maior P	22,80
menor P	0,80
maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	1

Novembro	
dias de Precipitação	8
chuvas erosivas Novembro/dias	7
maior P	134,20
menor P	8,90
maior intervalo sem chuva/dias	7
menor intervalo entre P/dias	1

Setembro	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Setembro/dias	1
maior P	21,00
menor P	0,50
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Dezembro	
dias de Precipitação	5
chuvas erosivas Dezembro/dias	2
maior P	13,90
menor P	1,60
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	3

Figura 59. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2013 - segundo semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos - 2014		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		2131,40	177,62	5,85

Janeiro	
dias de Precipitação	13
chuvas erosivas Janeiro/dias	6
maior P	40,00
menor P	0,50
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Abril	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Abril/dias	2
maior P	44,70
menor P	0,60
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Fevereiro	
dias de Precipitação	8
chuvas erosivas Fevereiro/dias	5
maior P	60,00
menor P	3,60
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Maio	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Maio/dias	2
maior P	141,00
menor P	0,70
maior intervalo sem chuva/dias	8
menor intervalo entre P/dias	1

Março	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Março/dias	4
maior P	137,70
menor P	1,60
maior intervalo sem chuva/dias	14
menor intervalo entre P/dias	1

Junho	
dias de Precipitação	12
chuvas erosivas Junho/dias	4
maior P	33,80
menor P	0,70
maior intervalo sem chuva/dias	8
menor intervalo entre P/dias	1

Figura 60. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2014 - primeiro semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos – 2014		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		2131,40	177,62	5,85

Julho	
dias de Precipitação	10
chuvas erosivas Julho/dias	4
maior P	34,10
menor P	1,10
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Outubro	
dias de Precipitação	10
chuvas erosivas Outubro/dias	7
maior P	68,90
menor P	1,30
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Agosto	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Agosto/dias	3
maior P	46,70
menor P	0,50
maior intervalo sem chuva/dias	7
menor intervalo entre P/dias	1

Novembro	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Novembro/dias	2
maior P	29,90
menor P	1,20
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Setembro	
dias de Precipitação	11
chuvas erosivas Setembro/dias	6
maior P	60,70
menor P	1,30
maior intervalo sem chuva/dias	4
menor intervalo entre P/dias	1

Dezembro	
dias de Precipitação	12
chuvas erosivas Dezembro/dias	8
maior P	115,00
menor P	1,00
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Figura 61. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2014 - segundo semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos - 2015		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		1793,60	149,47	4,91

Janeiro	
dias de Precipitação	15
chuvas erosivas Janeiro/dias	8
maior P	56,20
menor P	2,40
maior intervalo sem chuva/dias	5
menor intervalo entre P/dias	1

Abril	
dias de Precipitação	3
chuvas erosivas Abril/dias	2
maior P	43,40
menor P	0,80
maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	1

Fevereiro	
dias de Precipitação	4
chuvas erosivas Fevereiro/dias	0
maior P	8,40
menor P	5,50
maior intervalo sem chuva/dias	15
menor intervalo entre P/dias	3

Maio	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Maio/dias	3
maior P	53,00
menor P	1,50
maior intervalo sem chuva/dias	12
menor intervalo entre P/dias	2

Março	
dias de Precipitação	6
chuvas erosivas Março/dias	3
maior P	22,70
menor P	3,90
maior intervalo sem chuva/dias	16
menor intervalo entre P/dias	1

Junho	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Junho/dias	5
maior P	28,20
menor P	2,20
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Figura 62. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2015 - primeiro semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Dados pluviométricos – 2015		mm ano	média mensal/ano (mm)	média diária/ano (mm)
		1793,60	149,47	4,91

Julho	
dias de Precipitação	7
chuvas erosivas Julho/dias	3
maior P	49,40
menor P	1,20
maior intervalo sem chuva/dias	10
menor intervalo entre P/dias	1

Outubro	
dias de Precipitação	10
chuvas erosivas Outubro/dias	8
maior P	137,50
menor P	2,80
maior intervalo sem chuva/dias	9
menor intervalo entre P/dias	1

Agosto	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Agosto/dias	3
maior P	27,00
menor P	0,60
maior intervalo sem chuva/dias	5
menor intervalo entre P/dias	1

Novembro	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Novembro/dias	5
maior P	39,30
menor P	2,30
maior intervalo sem chuva/dias	6
menor intervalo entre P/dias	1

Setembro	
dias de Precipitação	5
chuvas erosivas Setembro/dias	3
maior P	80,00
menor P	1,70
maior intervalo sem chuva/dias	16
menor intervalo entre P/dias	1

Dezembro	
dias de Precipitação	9
chuvas erosivas Dezembro/dias	8
maior P	93,20
menor P	9,70
maior intervalo sem chuva/dias	7
menor intervalo entre P/dias	2

Figura 63. Avaliação dos dados de precipitação ano base 2015 - segundo semestre. **Elaboração:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Comparando os dados tabulados e as interpretações realizadas no intervalo 2012-2015 percebe-se que houve aumento progressivo na taxa de precipitação anual acumulada, passando de 1450 mm em 2012 para 1793,60 mm ao final de 2015. Chama atenção para a taxa de precipitação registrada em 2014, alcançando 2131,40 mm acumulados para o ano, um aumento de 147% em relação a 2012. As maiores taxas de precipitação em 2012 ocorreram no início do outono e no início da primavera. Os maiores intervalos com ausência de chuva foram registrados no segundo semestre, coincidindo, por vezes, com a ocorrência de maiores taxas de precipitação após intervalos de mais de uma semana sem chuva, o que favorece a erosão hídrica. Em relação ao ano de 2013, houve um acréscimo de 116% na precipitação anual comparado ao ano de 2012. Analisando os anos de 2012 e 2013, verifica-se que houve aumentos significativos nas taxas de precipitação para o primeiro e o segundo semestre, sendo registrados acréscimos superiores a 500% em alguns eventos de maior precipitação de um ano para o outro, no mesmo mês. Verificou-se também que houve uma maior ocorrência de dias sem chuva (estiagem) e na quantidade de dias com precipitação ao mês, em 2013. Em novembro de 2012 foi registrado um volume de chuva de 32,4 mm

(maior precipitação), contra 134, 20 mm em novembro de 2013. Para este mesmo mês, ocorreram oito (8) eventos de chuva com potencial erosivo em 2013, contra somente um (1) em 2012. O ano de 2014 apresentou valores significativamente mais elevados tanto para a taxa de precipitação anual acumulada quanto para as médias mensais e a quantidade de chuvas com potencial erosivo no mês, comparativamente aos anos de 2012 e 2013. Para março de 2013 foi registrado um evento de maior precipitação de 37,40 mm, contra 137,70 mm em 2014, um aumento de 368%. Já para o mês de maio, foi registrado um evento de maior precipitação de 65,40 mm em 2013, contra 141 mm em 2014, com um aumento de 215,6% da água livre disponível no sistema. A dinâmica erosiva do curso de água Sanga da Áreia sobre o talude fluvial e a dissecação da superfície responderam a esta maior disponibilidade de água na matriz do solo, causando a intensificação dos processos avançados de erosão hídrica e o aumento da área mobilizada pelas ravinas. No ano de 2015 a precipitação manteve a elevação da taxa acumulada anual, chegando a 1793,60 mm mas apresentou redução em relação ao ano anterior. As médias mensais de precipitação e médias de precipitação ao dia/mês foram mais próximas ao ano de 2012, destacando-se o mês de outubro de 2015, para o qual foi registrado um evento de maior precipitação de 137,50 mm. Esse valor supera em 199,6% a maior taxa de precipitação mensal registrada para o mês de outubro em 2014, de 68,90 mm. O cenário exposto ratifica interpretações já descritas em capítulos anteriores quanto à irregularidade e a má distribuição no espaço e no tempo do eventos de precipitação para a região dos areais, havendo a ausência de um padrão de ocorrência e de previsibilidade para os eventos de chuva.

4.2 TÉCNICAS DE NUCLEAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RESILIÊNCIA

As técnicas de nucleação têm por objetivo, idealmente, formar núcleos de material orgânico vivo ou inerte que funcionem como microhabitats, provendo condições para que processos e fenômenos aleatórios e eventuais ocorram e dêem suporte à regeneração natural. Esta situação pode ser engendrada tanto por meio do aporte direto material vegetal quanto pela atratividade das mais distintas formas de vida animal, resultando no desencadeamento e na formação de novas redes de interação entre os mais diversos organismos (REIS, 2003).

4.2.1 Galharia

A transposição de galharia pode ser entendida, de forma complementar, como a técnica que se direciona a construção de abrigos artificiais para a fauna em áreas a serem restauradas. Sua construção é realizada por meio da coleta de materiais de origem vegetal tais como troncos, hastes, ramos e resíduos de poda, com a posterior organização na forma de leiras ou montículos (REIS, 2003). Os materiais podem ser seccionados com a finalidade de construção das estruturas ou mesmo serem reaproveitados a partir da coleta de resíduos de florestas cultivadas, ou em florestas nativas, removendo material depositado naturalmente sobre a superfície do solo.

Na área em estudo foram coletados galhos e troncos de exemplares de acácia-negra (*Acacia mearnsii*) não vivos e que ocupavam um espaço significativo do meio fortemente instável, formando um ‘cemitério em pé de acácias’. Esta espécie de leguminosa arbórea exótica foi introduzida anteriormente pela produtora rural conforme recomendação técnica do escritório da EMATER local. A seleção teve como princípio o fato de sua adaptabilidade às condições climáticas do RS, bem como ao seu potencial de adubação e melhoria nas qualidades químicas do solo. Essa função decorre da incorporação no solo de nitrogênio fixado no sistema radicular em associação simbiótica com bactérias nitrificadoras, como aquelas da estirpe *Rizobium*, já amplamente utilizadas na inoculação de espécies leguminosas cultivadas que possuem reconhecido valor alimentício. Entretanto, segundo relato da produtora, um evento extremo de geada somado ao ataque de formigas cortadeiras resultou na morte de todas as mudas implantadas, com média de dois a três metros de altura à época do fato. O material seco pode ser facilmente quebrado com as mãos ou então seccionado com o uso de serrote manual.

4.2.2 Transposição de Solo (*Topsoil*)

Uma primeira tentativa prática foi executada para a avaliação do potencial que o meio degradado oferece para a proposição de uma recomposição vegetal com base em técnicas de restauração ecológica. Para não incorrer no desencadeamento de novos focos de arenização removendo material da superfície sobre áreas de campo nativo, optou-se por coletar *topsoil* de fragmentos florestais localizados na mesma bacia

hidrográfica da área em estudo. A coleta para teste preliminar foi realizada em uma área de Mata Ciliar às margens do curso de água denominado Arroio Taquari, localizado a poucos quilômetros ao norte da propriedade - Figuras 64 e 65. O material foi obtido em quatro pontos diferentes, recolhendo-se *topsoil* da superfície em uma área de 1m² para cada ponto e até cinco centímetros de profundidade, composto por folhas e ramos secos, sementes, propágulos vegetativos, solo, e demais materiais organo-minerais (*topsoil*) - Figuras 66 e 67. O registro fotográfico foi feito para cada ponto de retirada de material, com a coleta de folhas e ramos de espécies vegetais arbóreas e arbustivas localizadas junto aos mesmos, para possibilitar identificação taxonômica de espécies que por ventura venham a germinar a partir do banco de sementes.

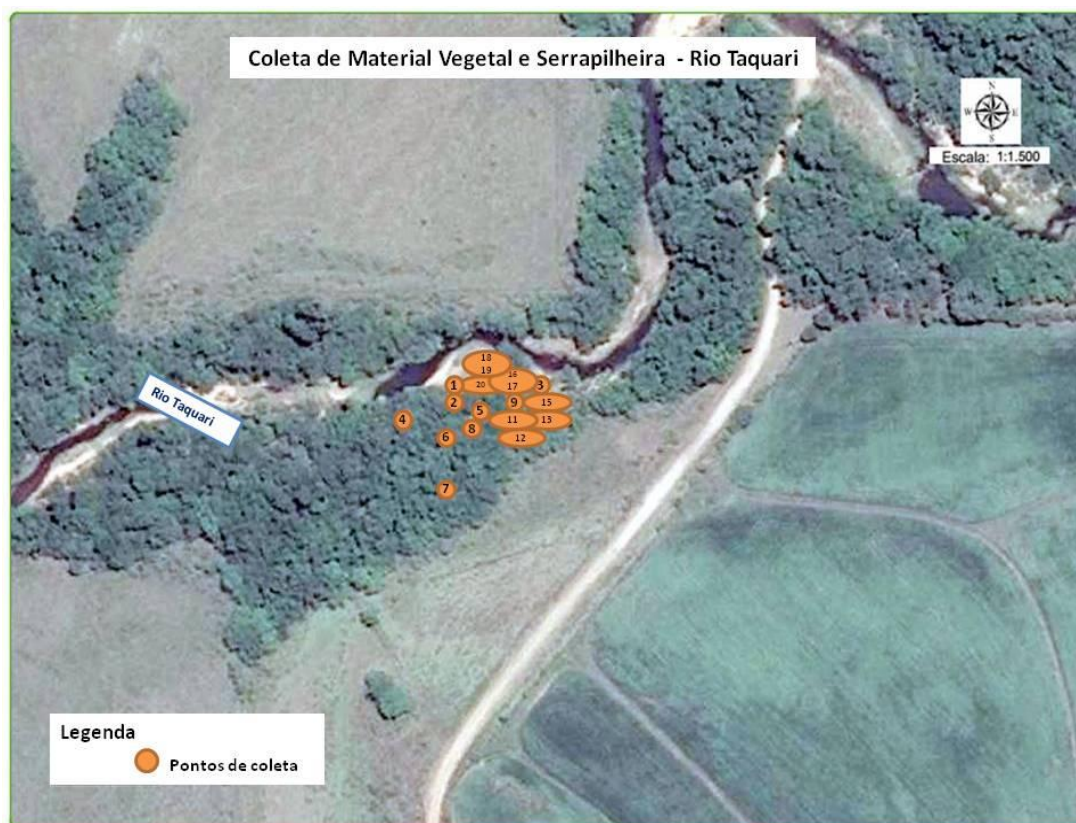


Figura 64. Pontos de coleta de *topsoil* em mata ciliar, rio Taquari, São Francisco de Assis/RS. **Elaboração:** A.G. Goulart (Janeiro, 2014).



Figura 65. Mata ciliar Rio Taquari. **Foto:** C. L. Vieira (Junho, 2014).



Figura 66. Detalhe da serrapilheira na área de coleta de vegetação, às margens do rio Taquari. **Foto:** C.L. Vieira (Junho, 2014).



Figura 67. Detalhe de sementes e plântulas em ponto no interior da mata ciliar. **Foto:** C.L. Vieira, (Junho, 2014).

O material recolhido foi aplicado na porção inferior do talude, como forma de se verificar se haveria condições ambientais intrínsecas que pudessem promover a germinação de sementes, sem a correção de acidez ou fertilidade. Esta investigação teve origem no fato de a produtora rural afirmar que neste local havia uma vegetação de mata há alguns anos atrás. Ou seja, o ambiente, naturalmente, teria potencial para sustentar uma cobertura vegetal, já que não houve manejo agrícola e a remoção de horizontes do solo. O questionamento que surge é se haveria ainda a possibilidade em se adequar a propriedade frente às demandas legais ambientais para áreas com vegetação nativa em propriedades rurais e se algum potencial de resiliência poderia ser inferido a partir destas respostas. Após a uniformização foi realizada a escarificação da superfície e a aplicação do *topsoil* sobre os sulcos horizontais. A metade à esquerda recebeu a cobertura de um têxtil vegetal após a aplicação do banco de sementes - Figuras 68 e 69, e a metade à direita do talude (olhando-se de frente para o mesmo) permaneceu descoberta. O intuito desta distinção foi verificar o que ocorreria com a superfície remodelada em relação à incidência de chuva e a insolação direta, bem com se o material aplicado seria removido pela água da chuva ou mesmo consumido por animais.



Figura 68. Verificação de plântulas sobressaindo a trama de biotêxtil aplicado sobre o talude de ravina.
Foto: C.L.Vieira (Novembro, 2014).



Figura 69. Detalhe das plântulas oriundas do banco de sementes aplicado na base do talude da ravina.
Foto: C.L. Vieira (Novembro, 2014).

4.2.3 Plantio de mudas – Sistema Vetiver (Vetiver System/VS)

O Sistema Vetiver fundamenta-se no emprego de uma gramínea com centro de origem no subcontinente indiano, conhecida como Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), plantada de modo isolado ou consorciada com outras espécies vegetais, de acordo com as necessidades e os objetivos propostos, tais como: fitorremediação de solo e corpos de água, conservação do solo, estabilidade de encostas

e taludes rodoviários, fixação de dunas e trabalhos de Bioengenharia de Solos (TRUONG *et al.* 2008). As folhas jovens do capim Vetiver podem ser utilizadas na alimentação animal, podendo apresentar boa palatabilidade e altos teores de proteína bruta (PB), além de serem bastante utilizadas para trabalhos de artesanato, confecção de paredes de barro e cobertura de telhados, como o capim Sapê (*Imperata brasiliensis* Trin.). Das raízes podem ser extraídos óleos essenciais para a produção de perfumes, além de possuir diversificada gama de propriedades medicinais.

No Brasil, o capim Vetiver tem sido utilizado, nas últimas décadas, em projetos destinados à recuperação de áreas degradadas. Introduzido durante o período colonial, o gênero tem sido cultivado principalmente na região nordeste, com destinação para a produção de óleos essenciais, sendo o país o maior exportador mundial do produto (PEREIRA *et al.* 2006). Como teste preliminar selecionou-se o Sistema Vetiver (Vetiver System – VS) para verificar a viabilidade técnica ao estabelecimento de cobertura vegetal em área com acentuada declividade e ocorrência de ravinas, situada no meio fortemente instável.

Dois lotes de mudas foram utilizados no projeto. Um primeiro lote com procedência de Itaipava, RJ, foi enviado à cidade de Porto Alegre em janeiro de 2013 e destinado ao diagnóstico preliminar. O segundo lote proveniente da cidade de São Paulo e enviado em 2015 foi empregado na implantação da área experimental II, cujo detalhamento será apresentado no próximo capítulo.

As mudas procedentes da região serrana do RJ foram remetidas por meio encomenda via serviço de correio postal, com entrega programada para um máximo de 10 horas após a sua retirada do local original. As raízes foram embaladas em papel jornal umedecido e as folhas submetidas ao corte a uma altura de 30 cm. O sistema radicular também passou pelo processo de poda, a fim reduzir as perdas de água pelo metabolismo vegetal durante o traslado das mudas do Rio de Janeiro ao Rio Grande do Sul. Ao chegar a Porto Alegre as mudas foram retiradas imediatamente da embalagem e colocadas com as raízes em submersão em baldes com água e um pouco de vermicomposto (‘esterco’ de minhoca) diluído para sua reidratação e restabelecimento nutricional pré-transplante. Para estimular a adaptação das mudas às condições climáticas do extremo sul do Brasil as mudas foram plantadas em um jardim residencial na zona norte de Porto Alegre após terem permanecido durante uma semana submersas em um balde com a solução de água e vermicomposto. Em junho de 2014 as mudas foram retiradas com o auxílio de pá-de-corte e preparadas para o transporte e transplante

definitivo na propriedade rural. Inicialmente procedeu-se ao processo de poda das folhas a uma altura de 30 cm. O sistema radicular também passou por redução em seu comprimento e largura. Durante a extração das touceiras foram observados fatores como retenção de material sólido pelas raízes, comprimento e largura do sistema radicular (arquitetura), presença de mesofauna entre as folhas e raízes (biocenose), tendência ao crescimento lateral e interligação das mudas (biotactismo positivo), comprimento das folhas e desenvolvimento geral das mudas.

Depois da retirada das mudas de capim vetiver do local de plantio temporário, as raízes plantas permaneceram submersas em um balde com água pura durante a noite. Pela manhã as mudas tiveram as raízes envolvidas em papel jornal, umedecido, e ficaram acondicionadas em sacolas plásticas, organizadas na forma de feixes. Passado um período de oito horas de viagem de Porto Alegre até o município de São Francisco de Assis procedeu-se ao plantio das mesmas sobre o talude da ravina previamente remodelado.

O plantio foi realizado em uma linha horizontal, situada na porção média do talude. Procedeu-se primeiramente a uma uniformização da superfície. Em seguida foi realizada a abertura de pequenos sulcos individuais com 10 cm de profundidade e distantes 15 cm um do outro para o recebimento das mudas. Posteriormente, cobriu-se o talude com uma manta tecida com fibras de juta (*Corchorus capsularis*) e realizou-se o plantio das mudas de capim Vetiver, perfurando a manta com tesoura, nos locais onde foram demarcados os sulcos - Figura 70.



Figura 70. Plantio de mudas de capim vetiver em talude de ravina remodelado. Verificação quanto ao potencial de sobrevivência às condições edafo-climáticas de São Francisco de Assis. **Foto:** C.L. Vieira (Junho, 2014).

4.3 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO

Como forma de medir a efetiva contribuição das técnicas no controle da erosão hídrica e eólica poderão ser adotados diferentes indicadores ambientais, tais como: percentual de cobertura da superfície pelas espécies implantadas; presença de plantas nativas espontâneas; quantidade de sedimento retido pelas barreiras; desenvolvimento e adaptação da vegetação; melhoria nas características físicas, químicas e biológicas do solo (pH, fertilidade, teor de matéria orgânica, presença de mesofauna); atração de animais dispersores de sementes e polinizadores; quantidade de matéria serrapilheira depositada em superfície e estabilidade do processo erosivo em relação às áreas testemunha. As avaliações serão feitas por meio de coleta de material para posterior análise em laboratório, memorial fotográfico; aferições a campo e verificação visual.

Recente documento publicado pela Portaria CBRN 01/2015, Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica e define a metodologia de coleta de dados para a aferição de indicadores ecológicos, sendo: (1) cobertura do solo com vegetação nativa, (2) densidade de indivíduos nativos regenerantes e (3) número de espécies nativas regenerantes.

Impactos positivos podem servir como parâmetros e indicadores importantes na avaliação das técnicas de nucleação implementadas, tais como aumento da biodiversidade (mesofauna e espécies ruderais), aumento de áreas favoráveis à colonização por espécies nativas e ausência de comportamento invasor da(s) espécie(s) introduzidas, criação de novos habitats para insetos, pássaros, e outros seres vivos, criação de novas fontes de alimento para as espécies animais, mudanças/impactos positivas(os) nos processos ecológicos naturais, tais como a sucessão de plantas na comunidade vegetal endêmica, redução na frequência e intensidade de eventos naturais (erosão hídrica/eólica e deslizamentos), estímulo ao fortalecimento de vínculos, como as associações planta-animal, polinização, dispersão de sementes e incremento nas relações planta-hospedeiro.

5 INTERVENÇÕES TÉCNICAS E MONITORAMENTO

“Os campos são pobres em espécies quando comparados às florestas? Os gramados de nossos jardins ou as pastagens cultivadas talvez o sejam, mas os campos nativos do Sul do Brasil certamente não o são. Olhando de longe, a vegetação campestre pode parecer homogênea, mas ao observarmos mais atentamente, logo percebemos a grande diversidade de espécies e tipos de plantas.”

(Valério De Patta Pillar e Omara Lange, 2015, p. 51)

5.1 ÁREA EXPERIMENTAL I (AE-I): NÚCLEO DE ARENIZAÇÃO

Em Maio de 2015 foi realizada a demarcação e o isolamento de uma área sobre o núcleo de arenização - Figura 71, meio fortemente instável, com dimensões 15 metros de comprimento por 15 metros de largura, totalizando 225 m². O isolamento foi executado com o reaproveitamento de material encontrado localmente para a construção de uma cerca com arame farpado, a fim de limitar o acesso do gado bovino que circulava livremente pela propriedade. Foram utilizados 50 pregos e 150 metros lineares de fio de aço. Ao final de tarde o rebanho geralmente cruzava o setor de ravinas e o núcleo de arenização vindo da parte mais alta da propriedade, meio estável, para acessar o curso de água a jusante.



Figura 71. Núcleo de arenização, meio fortemente instável, próximo ao curso de água. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

Apesar de haver um corredor para o gado ao lado direito do setor de ravinas, grande parte dos animais circulava por cima destas feições erosivas e sobre as áreas com solo descoberto, causando grande impacto devido pelo pisoteio - Figura 72.



Figura 72. Setor de ravinas, lado direito da propriedade, sentido montante-jusante. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

O perímetro isolado foi denominado de Área Experimental I (AE-I). Cinco parcelas retangulares com dimensões 5m x 2m, totalizando 10 m²/cada, denominadas Unidades de Avaliação (UA) foram implantadas no interior da AE-I utilizando geotêxtil de fibra vegetal de sisal (*Agave sisalana*), além de dois núcleos de galharia (NG 1 e NG 2) e duas estruturas abertas em formato de semicírculo para a estimativa da taxa de erosão superficial - Figuras 73 a 74.



Figura 73. Vista geral Área Experimental I. Núcleos de galharia NG 2 (em primeiro plano) e NG1 (ao fundo), estruturas abertas em semicírculo para a estimativa de erosão e Unidades de Avaliação P2-ME (em primeiro plano), P1 SeM (à esquerda na foto) e P4 CrB (ao fundo e à direita na foto). **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

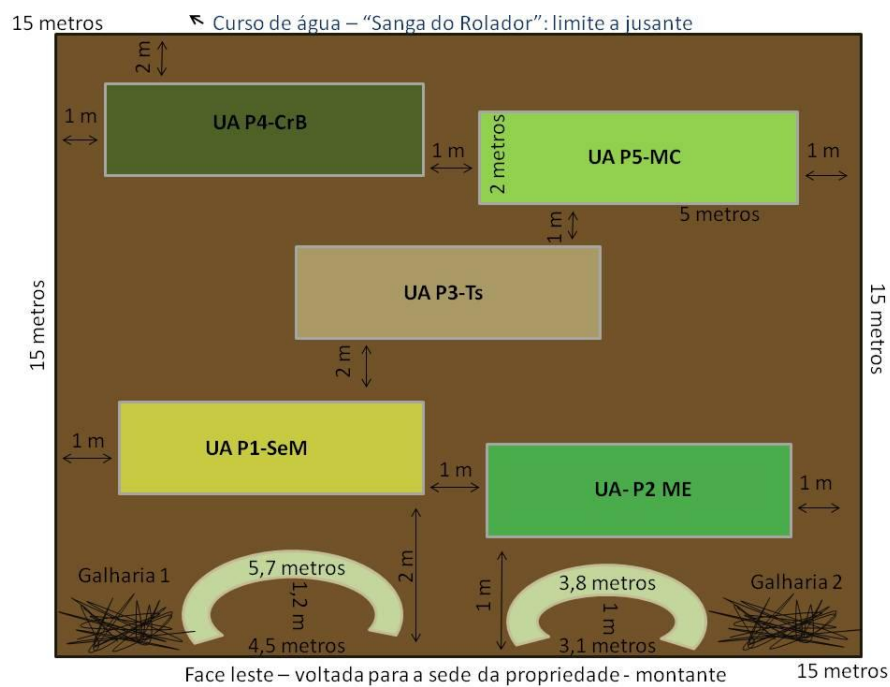


Figura 74. Croqui esquemático, fora de escala, com a representação da Área Experimental I e as respectivas Unidades de Avaliação. **Elaboração:** C.L.Vieira (Dezembro, 2016).



Figura 75. Detalhe de geotêxtil produzido com fibra de sisal. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

As diferentes configurações objetivavam verificar qual o aporte de material e intervenção técnica responderia melhor às condições locais quanto ao desenvolvimento de propágulos vegetativos e à atração de animais dispersores de sementes, em concordância com a proposta da pesquisa, direcionada à avaliação do potencial de resiliência por meio de técnicas de Restauração Ecológica. As UAs ME e MC receberam uma camada de material superficial composto por solo, serrapilheira e propágulos vegetativos (*topsoil*) coletados em áreas próximas, localizadas na mesma bacia hidrográfica. A fim de não gerar novos focos de arenização pela remoção da cobertura do solo em áreas com campo nativo decidiu-se coletar *topsoil* em áreas com vegetação florestal e arbustiva, onde o impacto pela remoção de material superficial teria baixo potencial de favorecimento à ocorrência de processos erosivos. Para a aplicação de *topsoil* foi realizada a coleta de material em 10 pontos em área ciliar e 10 pontos em área de encosta, totalizando aproximadamente 20 a 25 kg para cada ponto e cerca de 200-250 kg para cada unidade de avaliação (UA-MC e UA-ME, respectivamente). A quantidade de material foi definida a partir de um gabarito de madeira com 1m² de área e profundidade de 5cm, com um volume total de 0,05m³ por coleta. Durante a coleta de *topsoil* foi realizado o registro fotográfico, a demarcação dos pontos com GPS de navegação Garmin Datum WGS 84 no sistema de coordenadas cartesiana bidimensional Universal Transversa de Mercator (UTM) e a descrição das condições em campo verificadas para cada ponto - Apêndice B. O gabarito foi

posicionado de forma aleatória nas áreas de coleta, com prioridade para os locais onde havia maior quantidade de plântulas e serrapilheira sobre a superfície.

5.1.1 Unidade de Avaliação Solo e Manta (AE-I/UAP1-SeM)

Esta parcela (P1) recebeu somente uma cobertura de geotêxtil de sisal (manta orgânica) a fim de verificar se a proteção da superfície do solo contra a erosão hídrica e eólica teria influência na germinação de alguma espécie vegetal nativa, caso houvesse um banco de sementes residual - Figuras 76 e 77. A premissa de que a frequente movimentação de sedimentos arenosos inconsolidados promovida pelos agentes erosivos impedisse a colonização de espécies vegetais nativas tem como base o trabalho desenvolvido por Vieira (2012) em uma propriedade rural no mesmo município, próximo ao centro urbano de São Francisco de Assis. A autora instalou paliçadas para a contenção de sedimentos em nove pontos ao longo de uma ravina e verificou que houve rápida e abundante colonização por uma significativa diversidade de espécies vegetais nativas sobre os sedimentos acumulados junto às estruturas. Dessa forma, foi possível inferir que havia um banco de sementes bastante rico nos taludes da ravina e que a instabilidade do substrato mineral se tornava um fator de limitação para o estabelecimento de cobertura vegetal. Ou seja, o principal filtro ecológico decorria dos processos de erosão hídrica atuando sobre uma superfície descoberta e, não, em função das condições edáficas e pedológicas. Considerou-se que havia um significativo potencial de resiliência e diversidade florística para aquele contexto, onde predominavam ravinas e núcleos de arenização, diferindo de uma linha teórica que classifica os areais do sudoeste do RS, em geral, como áreas degradadas.

A única espécie presente no local de implantação da UAP1-SeM consistia da gramínea exótica braquiária (*Brachiaria humidicola*), semeada anteriormente pela produtora rural com a finalidade de estimular a cobertura do núcleo de arenização e do setor de ravinas com alguma espécie vegetal capaz de suportar as limitações intrínsecas impostas pelo solo e variáveis climáticas. Previamente à aplicação do geotêxtil de sisal foi realizada a capina para a remoção da braquiária e o nivelamento do terreno.



Figura 76. Delimitação das parcelas em 2 metros de largura por 5 metros de comprimento para posterior aplicação do geotêxtil (manta orgânica) nas laterais e em cobertura. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 77. Aplicação do geotêxtil (manta orgânica) para o estabelecimento das UAs na Área Experimental I (AE-I). **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

5.1.2 Unidade de Avaliação Testemunha (AE-I/UAP3-Ts)

A parcela (P3) testemunha foi delimitada com uma bordadura de geotêxtil de sisal e não recebeu qualquer cobertura no seu interior, permanecendo com o solo exposto - Figura 78. O objetivo desta UA foi averiguar se haveria alguma germinação

espontânea de espécies vegetais presentes no banco de sementes do solo, já que a delimitação com manta orgânica dificultava a ocorrência de erosão superficial. Outra observação importante diz respeito à avaliação comparativa entre esta parcela e aquelas que receberam proteção da superfície do solo com geotêxtil em relação ao impacto direto das gotas de chuva. No momento de sua implantação havia alguns indivíduos de *Brachiaria humidicola*, também conhecida como capim-agulha e quicuiu da Amazônia, colonizando parte da área demarcada. A predominância idealizada para a parcela, no entanto, foi a de uma superfície com solo descoberto. Nenhuma ação de capina foi realizada para remoção desta vegetação, tendo em vista a possibilidade de se verificar o comportamento da gramínea após a delimitação da parcela e a sua influência sobre o desenvolvimento de plântulas de espécies vegetais nativas que, por ventura, encontrassem condições favoráveis à sua germinação.



Figura 78. Unidade de Avaliação P3-Ts no centro da imagem. **Foto:** C.L. Vieira (Junho, 2015).

Esta espécie de braquiária tem como centro de origem a região da África Equatorial. Aspectos que favoreceram a sua escolha pelo técnico do escritório da Emater/RS-ASCAR local e a sua efetiva introdução na propriedade estão, possivelmente, relacionados a características tais como crescimento estolonífero vigoroso, tolerância a secas e pisoteios, rusticidade, adaptação aos solos de baixa fertilidade natural, potencial de cobertura do solo e controle da erosão, palatabilidade e bom valor nutricional para a alimentação do gado quando jovem, possibilidade de atingir até um metro de altura, apresentar desenvolvimento satisfatório em condições

ambientais com 700 a 2000 mm de chuva anual e temperaturas entre 15° C a 35° C, entre outros fatores.

5.1.3 Unidade de Avaliação Mata de Encosta (AE-I/UAP2-ME)

Para a implantação da parcela (P2) com *topsoil* de mata de encosta foi realizada a coleta de material constituído por solo superficial, serrapilheira, sementes e regenerantes (plântulas e mudas de pequeno porte) em dez pontos diferentes, considerando uma área de 1 m² e 0,05 m de profundidade. Obteve-se cerca de 0,05 m³ de volume e 20 a 25 quilos de material sólido em cada ponto de coleta, sendo acondicionado em sacos plásticos e depositados sobre a parcela para posterior aplicação a lanço - Figura 79. Ao ser aplicado sobre a UAP2-ME o material foi misturado e nivelado com o auxílio de uma enxada - Figura 80. Ao final da aplicação do *topsoil* a parcela recebeu a cobertura de geotêxtil de sisal. Nesta UA uma muda de pitangueira (*Eugenia uniflora*) foi transplantada do ponto de coleta para a parcela e o seu desenvolvimento acompanhado nos monitoramentos posteriores, até julho de 2016 - Figura 81.

Providenciou-se um memorial fotográfico para cada ponto de coleta, assim como a marcação das coordenadas por meio de GPS de navegação e o registro de informações observadas em caderneta de campo. O local foi selecionado por apresentar uma boa diversidade e densidade florestal desenvolvida sobre a encosta de uma formação residual arenítica, além de estar situado na mesma bacia hidrográfica da propriedade em estudo - Figuras 82 e 83



Figura 79. Disposição dos sacos plásticos com *topsoil* sobre a parcela. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 80. Distribuição e mistura do material coletado sobre a superfície na UAP2-ME, Área Experimental I. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 81. Cobertura da parcela ME com geotêxtil de sisal e exemplar de *Eugenia uniflora*. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 82. Relevo residual denominado “Cerro da Esquina” e fragmento florestal nativo desenvolvido junto a sua face noroeste, onde foram realizadas as coletas de *topsoil*. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 83. Localização e mensuração do ponto de coleta 08 no interior de formação florestal nativa junto ao Cerro da Esquina, face oeste. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

5.1.4 Unidade de Avaliação Mata Ciliar (AE-I/UAP5-MC)

De modo similar à implantação da UAP2-ME, a parcela com *topsoil* de mata ciliar (P5) recebeu material procedente de fragmento florestal localizado próximo ao curso de água Sanga da Areia e ao limite sul com a propriedade adjacente, distante aproximadamente 1,5 km da Área Experimental I. As coletas foram realizadas em 10 pontos no interior da mata, utilizando o gabarito de 1 m² e a uma profundidade de 5 cm. Os pontos foram registrados com GPS de navegação Garmin em UTM. O inventário fotográfico ficou prejudicado em função de forte precipitação no momento da coleta. O material obtido foi acondicionado em sacos plásticos, perfazendo aproximadamente 20 a 25 kg de material sólido para cada um dos dez pontos. Ao final da retirada o *topsoil* foi transferido até o local definitivo de aplicação, AE-I, com o auxílio de uma lona e de forma manual, o que configurou exaustivo trabalho em campo. Entre o local de coleta e o ponto de aplicação havia um desnível de aproximadamente 6,8 % de inclinação, com elevações variando de 124 m a 159 m - Figura 84. A parcela P5-MC também recebeu cobertura de geotêxtil de sisal após a distribuição do *topsoil* e a uniformização da superfície - Figura 85.

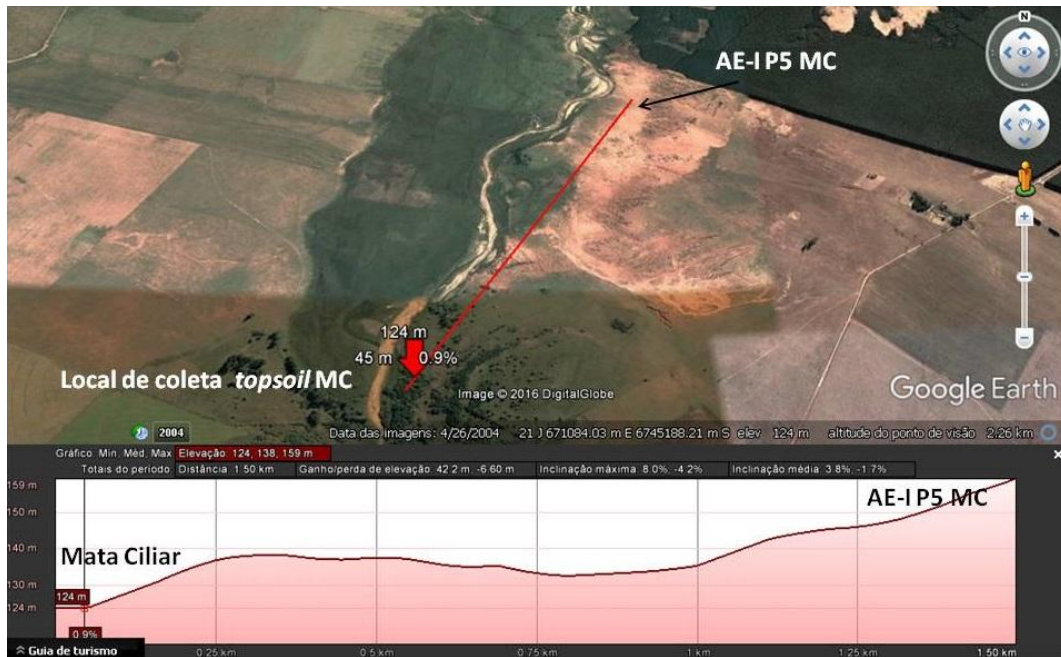


Figura 84. Ilustração com indicação do local onde foi realizada a coleta de *topsoil* no interior de formação florestal nativa próxima ao curso de água, em propriedade adjacente. **Fonte:** Google Earth (Dezembro, 2016).



Figura 85. Unidade de avaliação P5-MC finalizada, ao centro da foto. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

5.1.5 Unidade de Avaliação Crosta Biológica (AE-I/UAP4-CrB)

A parcela (P4) foi concebida a partir de uma verificação em campo de uma significativa ocorrência de crostas de solo biológicas (*Biological Soil Crusts*) sobre

taludes de ravinas, cobrindo a superfície do terreno e até mesmo sobre afloramentos de rochas. O material foi coletado em diversos pontos do meio fortemente instável com o auxílio de uma espátula e um balde de plástico com capacidade para cinco litros de volume de água - Figura 86. Procurou-se selecionar as colônias com coloração mais clara e intensa, indicativo de maior atividade biológica. Após a coleta das crostas procedeu-se a mistura do material com água proveniente da Sanga do Rolador e argila proveniente da base do talude fluvial - Figura 87. A solução foi então aplicada a lança sobre a superfície da parcela P4-CrB e coberta com geotêxtil de sisal, da mesma forma ao protocolo realizado para a implantação das parcelas P1-SeM, P2-ME e P5-MC.

As crostas biológicas do solo (*Biological Soil Crusts – BSCs*), de acordo com Rosentreter *et al.* (2007) são compostas por uma associação íntima de partículas do solo e organismos simples tais como vegetais não vasculares (briófitas), cianobactérias, algas, líquens, microfungos em diferentes proporções. Esta comunidade caracteriza-se, dentre outros aspectos, pela capacidade de realizar fotossíntese, promover a ocorrência de processos de ‘micro-neopedogênese’, apresentar reprodução esporofítica e colonizar a superfície e/ou os primeiros milímetros do solo.



Figura 86. Coleta de crosta biológica do solo com o auxílio de uma espátula. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).



Figura 87. Talude fluvial com altura superior a seis metros apresentando material argiloso na base (coloração mais clara) e pacote arenoso sobreposto. Ravina ativa desenvolvida de modo transversal ao curso de água e acessada pelo gado para a sua dessedentação diária. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

De acordo com os autores supracitados, as crostas biológicas do solo (CBS) são encontradas em todas as regiões secas do planeta, incluindo as zonas polares e em todos os tipos de vegetação típicas destas regiões. Nestas paisagens as CBS ocupam todos os espaços não colonizados por árvores, arbustos ou vegetação herbácea, chegando a perfazer 70% da cobertura viva do solo (ROSENRETER, 2007, p. 4). A coleta do material para a constituição da UAP4-CrB foi realizada sob a orientação de uma pesquisadora, especialista em crostas biológicas, a qual desenvolvia em paralelo o seu trabalho de mestrado, objetivando identificar as características e a morfologia destas comunidades vivas, com material proveniente das cidades de Alegrete e São Francisco de Assis (WEBBER, 2016). De acordo com esta autora, as CBS encontradas na propriedade rural em estudo, localidade de Vila Kramer, apresentavam vários estágios sucessionais de evolução das colônias, desde a etapa inicial na forma de crostas escuras e planas aos estágios subsequentes, constituindo crostas com líquens e, por fim, ‘tapetes’ de musgos bem desenvolvidos com forma pinacular ou arredondada - Figura 88. Outras funções ecológicas positivas da ocorrência de crostas biológicas estão associadas ao seu potencial de fornecimento de carbono e matéria orgânica aos primeiros centímetros de solo, assim como a resistência aos processos de erosão hídrica em função da rede constituída pelas hifas dos fungos e os rizoides dos musgos, formando agregados junto às partículas minerais do solo (WEBBER, 2016, p. 124).



Figura 88. Colônias de crostas biológicas do solo constituindo um tapete de musgos de forma arredondada, desenvolvidos sobre o talude de uma ravina ativa, meio fortemente instável. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

5.1.6 Estruturas abertas para a estimativa de erosão hídrica

Pelo fato de a Área Experimental I ter sido delimitada sobre solo exposto com núcleo de arenização localizado logo após um setor de ravinas, surgiu o interesse em averiguar a contribuição de material mineral proveniente do setor a montante, transportado por processos de erosão hídrica superficial, para pontos localizados a jusante. Pensou-se, primeiramente, na possibilidade de instalação de parcelas de erosão para uma quantificação mais precisa da taxa de erosão superficial. Esta consideração foi descartada, no entanto, devido ao fato de a propriedade ficar em torno de 20 dias sem a presença de qualquer pessoa, além de impedimentos de ordem financeira para a execução da proposta, somado à impossibilidade na coleta de dados para cada evento de precipitação e à inviabilidade para ações frequentes de manutenção nas estruturas. Dessa forma, optou-se por uma alternativa de execução e manutenção mais adequada às limitações impostas e que possibilitasse a estimativa de erosão em uma determinada área. Foram construídas duas estruturas abertas com rolos de geotêxtil de sisal, formando um semicírculo, dispostas com a área de captação de sedimentos direcionada para o setor de ravinas, a montante da propriedade. As estruturas foram denominadas meia-lua 1, localizada em frente à P1-SeM e meia-lua 2, estabelecida em frente à P2-ME – (Figura 89). A estrutura 1 apresentou as seguintes dimensões ao final de seu estabelecimento: 5,7 m de comprimento de rolo de geotêxtil, 0,3 m de altura e diâmetro, 4,5 m de uma ponta à outra do semicírculo (linha horizontal interna) e 1,2 m de raio a

partir do ponto médio da linha horizontal interna e ponto de inflexão da meia-lua. A estrutura 2 apresentou como dimensões: 3,8 m de comprimento de rolo de geotêxtil, 0,3 m de altura e diâmetro, 3,1 m de uma ponta à outra do semicírculo (linha horizontal interna) e 1,0 m de raio a partir do ponto médio da linha horizontal interna e ponto de inflexão da meia-lua. Uma régua de madeira com 50 cm de comprimento e calibrada de 1 em 1 cm foi fixada internamente, a 10 cm de profundidade, no ponto central de inflexão de cada meia-lua para a verificação da quantidade de material acumulado em cada atividade de monitoramento posterior - Figura 90. A partir da área de captação de cada estrutura e profundidade de acúmulo de sedimento registrado torna-se possível estimar o volume de material acumulado e inferir a quantidade de sedimento potencialmente disponível para a mobilização por erosão hídrica nas áreas com solo exposto e relevo com declividade semelhante na propriedade. Outro dado importante obtido a partir das estruturas abertas diz respeito à taxa de decomposição do geotêxtil, estimada a partir da diferença nas medidas de altura e diâmetro, registradas em cada monitoramento subsequente à instalação.



Figura 89. Fixação da estrutura aberta para a estimativa de erosão e aferição de suas dimensões finais.
Foto: A.G. Goulart (Maio, 2015).



Figura 90. Régua de madeira para estimativa perda de solo por erosão hídrica superficial. **Foto:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

5.1.7 Núcleos de Galharia (NG)

Duas estruturas foram formadas a partir da coleta e o ajuntamento de galhos secos da espécie arbórea Acácia negra (*Acacia mearnsi*) disponíveis na propriedade, sendo posicionadas ao lado externo das estruturas em meia-lua 1 e 2 - Figura 91. O objetivo dos chamados núcleos de galharia, NG1 e NG2, tinha como base verificar se haveria atração de mesofauna pelo abrigo formado, podendo configurar um indicativo da riqueza local em termos de insetos polinizadores e animais dispersores de sementes. Estes dados são fundamentais para o planejamento e a execução de projetos de restauração ecológica destinados à recuperação de áreas degradadas. Acúmulos de sedimentos verificados junto às estruturas e o desenvolvimento de vegetação no seu entorno e no interior também foram objetos de registro e avaliação.

As dimensões registradas ao final da implantação para o NG1 foram de 3 metros de comprimento, 70 centímetros de altura e 70 centímetros de largura. Para o NG2 obteve-se 2 metros de comprimento por 50 centímetros de altura e 70 centímetros de largura.



Figura 91. Núcleos de galharia NG2 em primeiro plano e NG1 ao fundo. **Foto:** C.L. Vieira (Maio, 2015).

5.1.8 Monitoramentos em campo e avaliações em gabinete

Um relatório de campo foi preenchido ao final das atividades, com o registro de todos os detalhes e observações significativas, como a condição do tempo, a presença de animais, a localização e distância de ravinas em relação à AE-I, a invasão do gado sobre a área isolada, entre outros.

As Unidades de Avaliação foram subdivididas em três zonas (Z1, Z2 e Z3) para a observação e registro de dados, tais como o desenvolvimento de plântulas, atração de mesofauna e animais de maior porte, diversidade da vegetação regenerante e identificação de gêneros e espécies vegetais. Para o registro destes dados primeiramente foi realizada a disposição aleatória de um gabarito de madeira com 1 m² de área sobre cada zona dentro da parcela. O local de lançamento e deposição do gabarito foi demarcado com pedaços de madeira nos vértices de modo que se obtivesse uma mesma área de avaliação para todas as parcelas, em todas as UAs. O período de monitoramento das UAs na AE-I se estendeu de maio de 2015 a julho de 2016 com um intervalo médio de dois meses entre cada atividade em campo, compreendendo os meses de maio de 2015 (implantação), junho/setembro/dezembro de 2015 além de março e julho de 2016, quando foi realizado o último monitoramento para esta AE e a sua subsequente desativação. Os dados de cada monitoramento foram registrados em planilhas padronizadas para o projeto e posteriormente analisados em atividade de gabinete, com a geração de gráficos e tabelas comparativas. Junto ao memorial fotográfico foi

realizada a coleta de exemplares de vegetação para cada zona nas UAs, a fim de que pudessem ser identificadas algumas espécies desenvolvidas após a aplicação de *topsoil*. A identificação das espécies predominantes pode ser um indicativo dos indivíduos com maior potencial para aplicação em programas de fomento à produção de mudas e sementes de espécies nativas da região dos areais, com significativa importância ecológica e capacidade de colonização de solos arenosos ácidos, de baixa fertilidade natural. Esta premissa vai ao encontro de programas em desenvolvimento atualmente pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), os quais têm como proposta fundamental a definição de espécies vegetais prioritárias para a utilização em projetos de Restauração Ecológica no Bioma Pampa.

5.2 ÁREA EXPERIMENTAL II (AE-II): SETOR DE RAVINAS

Esta área foi selecionada a partir da indicação e interesse da produtora rural em isolar o acesso do gado, pois a mesma já havia percebido a fragilidade e a suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos avançados neste setor da propriedade. Situada a jusante e à direita de quem se posiciona de frente para o curso de água, próxima ao limite com um extenso monocultivo florestal de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), este setor se caracteriza pelo solo exposto em sua quase totalidade, ravinas ativas e declividade acentuada dos taludes. Apesar de haver um corredor para o gado dividindo este setor do eucaliptal os animais atravessam pelo local ao final do dia, quando se dirigem ao curso de água. Entre os dias 17 a 20 de setembro de 2015 foram realizadas as etapas de seleção e demarcação da AE-II, localização, mensuração e delimitação das parcelas (UAs), coleta de *topsoil* em mata ciliar e mata de encosta, cercamento da área experimental, implantação da UAs e cobertura com geotêxtil de sisal e aplicação de fertilizante orgânico em algumas parcelas - Figuras 92 e 93. O *topsoil* foi obtido a jusante da propriedade, nas imediações do rio Taquari, em áreas de coleta diferentes dos pontos selecionados para a implantação da AE-I em função da disponibilidade de automóvel do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do interesse em se verificar a resposta a partir de um banco de sementes distinto, ainda que localizado na mesma bacia hidrográfica. As coordenadas em UTM para referência são latitude 680291 m E; longitude 67470 m S para a mata Ciliar e

latitude 680598 m E; longitude 6746859 m S para a mata de encosta. Outra razão está relacionada ao intenso esforço físico demandado para o transporte do material na AE-I, quando não foi possível acessar os locais de coleta e deposição com o auxílio de veículos. Da mesma forma adotada para a AE-I, para a constituição das UAs MC e ME foram selecionados dez pontos de coleta para cada parcela utilizando-se um gabarito de madeira de 1 m² e uma profundidade média de 5 cm, obtendo-se 20 a 25 kg de material para cada ponto, com registro fotográfico, registro de coordenadas e as características observadas em cada local - Figuras 94 e 95. Fatores como superfície descoberta, coloração do solo, posição em relação à encosta ou ao curso de água, presença de matéria orgânica e mesofauna, tipo de vegetação sobre a superfície e ao entorno, textura do solo, presença de raízes entre outros foram registrados para cada ponto de coleta. Um total de seis unidades de avaliação foi implantado, sendo: parcela com *topsoil* de mata ciliar, parcela com *topsoil* de mata de encosta, parcela com mix de sementes de espécies com potencial forrageiro, parcela testemunha, capim Vetiver com cobertura de manta orgânica (geotêxtil de sisal) e capim Vetiver sem manta. Estas UAs também receberam uma divisão em três zonas, definidas do topo para a base. O registro da vegetação foi realizado com um gabarito de madeira posicionado, primeiramente, de forma aleatória sobre cada zona e posterior fixação de sua posição no primeiro local de monitoramento. Assim como na área experimental I, dados a respeito da quantidade e diversidade de indivíduos vegetais, a presença de mesofauna e a decomposição do geotêxtil nas parcelas foi registrado. A parcela testemunha recebeu em sua base uma estrutura em semicírculo construída com geotêxtil para a estimativa da taxa de sedimento mobilizado pela água em superfícies descobertas. Uma régua de madeira calibrada de 1 em 1 cm foi fixada no centro interno do semicírculo para que se pudesse ter uma estimativa da erosão hídrica em uma determinada área.

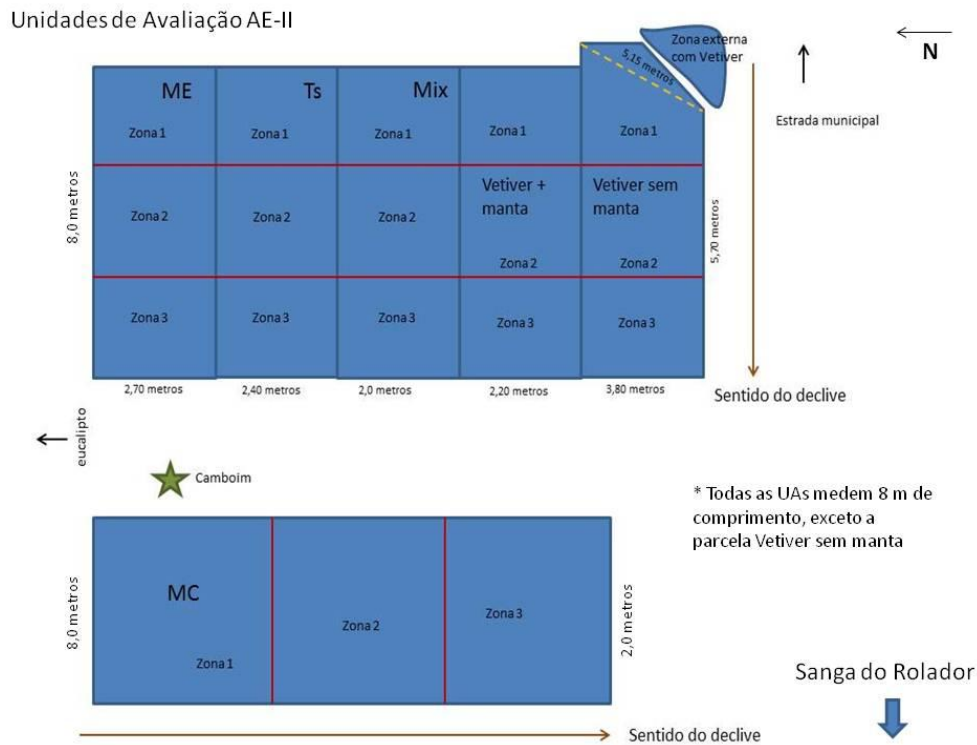
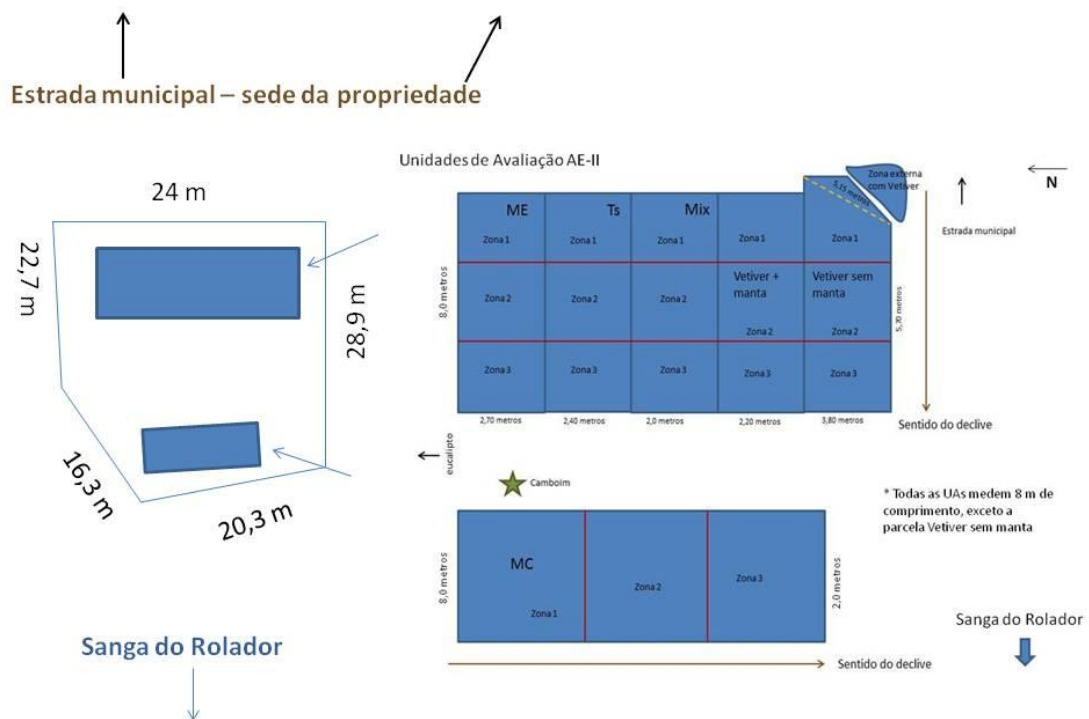


Figura 92. Ilustração esquemática com as parcelas e respectiva distribuição das mesmas na AE-II. **Elaboração:** C.L. Vieira (Outubro, 2015).



CROQUI ESQUEMÁTICO FORA DE ESCALA – ÁREA EXPERIMENTAL II

Figura 93. Representação simplificada da área delimitada e posição das parcelas na AE-II. **Elaboração:** C.L. Vieira (Outubro, 2015).



Figura 94. Mata Ciliar adjacente ao rio Taquari, São Francisco de Assis/RS. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).



Figura 95. Gabarito de madeira com 1 m² utilizado para a coleta de *topsoil* e avaliações das UAs. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).

Nesta atividade de campo houve a ocorrência de eventos de chuva antes e durante as atividades, o que dificultou um pouco a execução das tarefas. Um aspecto positivo, entretanto, foi a possibilidade de se observar *in loco* processos de erosão hídrica, sendo realizados registros fotográficos e em vídeo. Esta verificação é suma relevância para que se tenha uma estimativa do potencial de mobilização dos sedimentos pela ação da água durante episódios significativos de precipitação, o que deve servir de referência ao se pensar em propostas técnicas que visem o controle e/ou estabilização destes processos no contexto dos areais do RS - Figura 96.



Figura 96. Sedimento arenoso sendo transportado pelo escoamento concentrado da água da chuva para o leito do rio Taquari durante evento de forte precipitação e curta duração. **Foto:** C.L.Vieira (Setembro, 2015).

5.2.1 Unidade de Avaliação Mix de Sementes (AE-II/UAP1-Mix)

Esta parcela (P1), com dimensões 2,70 metros de largura por 8 metros de comprimento (21,6 m²) foi preparada por meio de roçada manual com enxada para a limpeza do terreno. Espécies estivais com hábito rasteiro e herbáceo foram misturadas em uma proporção de 500 g de lab-lab (*Lablab purpureous*), 500 g de mucuna-preta (*Stilozobium aterrimum Piper & Traci*) e 400 g de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Aproximadamente 100 kg de composto orgânico produzido à base de cama de aviário (40%) acrescido em 60% por uma mistura com esterco de cavalo, bovino e suíno quimicamente estabilizado (adubo curtido) foram espalhados a lanço sobre a parcela - Figura 97. Este fertilizante foi doado ao projeto pela empresa AGROS, lotada no município de Erechim/RS, a qual possuía grande interesse em desenvolver e testar em campo um produto direcionado especificamente aos areais da fronteira oeste - Anexo D. O mix de sementes também foi distribuído a lanço após a aplicação do adubo e como finalização realizou-se a cobertura da parcela com geotêxtil de sisal. Para esta UA idealizou-se verificar o potencial de germinação de sementes exóticas em condições edáficas características de solos areno-quartzosos.

Uma segunda aplicação de fertilizante orgânico foi realizada em março de 2016, com a semeadura a lanço de uma mistura composta espécies forrageiras hibernais, na proporção de 200g de trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*), 200g de azevém

(*Lolium multiflorum*), 200g de aveia-preta (*Avena strigosa*) e 100g de tremoço (*Lupinus albus*).



Figura 97. Processo de confecção da parcela Mix, com distribuição a lanço de fertilizante orgânico e sementes exóticas forrageiras de ciclo estival. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).

5.2.2 Unidade de Avaliação Testemunha (AE-II/UAP3-Ts)

A parcela (P3) denominada Testemunha (Ts) com dimensões de 2,4 m de largura e 8 m de comprimento (19,2 m²) foi roçada manualmente com enxada para o nivelamento e remoção de esparsa cobertura vegetal. O objetivo nesta UA consistia em verificar o efeito do escoamento da água da chuva em uma superfície descoberta, com sedimentos inconsolidados. Como forma de se obter dados mínimos para uma estimativa da perda de solo nesta área procedeu-se à instalação de uma estrutura semicircular confeccionada com manta orgânica, enrolada como um cilindro e posicionada na base da parcela, de modo a captar e reter o material deslocado do topo para o nível mais baixo - Figura 98. Uma régua de madeira calibrada de 1 cm em 1 cm foi fixada no centro interno da estrutura para conferências posteriores do acúmulo de sedimento.



Figura 98. Implantação da parcela Testemunha (Ts) na Área Experimental II, sentido topo-base. Confecção de estrutura semicircular na base para estimativa de erosão. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).

5.2.3 Unidade de Avaliação Mata de Encosta (AE-II/UAP2-ME)

A parcela Mata de Encosta (P2) ficou localizada no ponto limítrofe da área cercada com o corredor para o gado, à direita, sentido montante-jusante, apresentando dimensões 2,7 m de largura por 8 m de comprimento (21,6 m²). Esta UA recebeu preparo prévio de roçada manual com enxada e posterior a aplicação a lanço 10 sacos com aproximadamente 20-25 kg/cada contendo solo superficial, propágulos vegetativos e serrapilheira. Além do *topsoil* mudas de espécies vegetais nativas que estavam dentro da área de coleta do gabarito (1 m²) foram retiradas e transplantadas na parcela, como forma de verificar a possibilidade deste tipo de operação no contexto em questão. O material foi coletado em locais distintos, mas em uma mesma área de mata ciliar localizada próxima ao Rio Taquari, a jusante da propriedade rural. Como finalização da parcela realizou-se a cobertura com manta têxtil composta por fibras de sisal - Figura 99. Cabe ressaltar que todos os geotêxteis na AE-II foram fixados no topo das parcelas em um pequeno sulco escavado para comportar uma fina camada da manta dobrada na forma de rolo e firmadas com pequenas estacas de madeira e galhos secos encontrados na propriedade. Este cuidado se faz necessário para que escoamentos provenientes das áreas mais altas na propriedade e à jusante da UA não consigam arrastar o geotêxtil e desfazer a cobertura da parcela. Outro fato curioso foi o encontro de um anfíbio anuro no solo, durante o processo de roçada do terreno com a enxada. Chamou a atenção não

somente o fato de não estar próximo a um corpo de água, como enterrada em área com ausência de vegetação, podendo vir a ser indicativo de alguma espécie endêmica e/ou bastante adaptada às condições ambientais na propriedade.



Figura 99. Transplante de mudas nativas em parcela com material proveniente de mata de encosta. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).

5.2.4 Unidade de Avaliação Mata Ciliar (AE-II/UAP4-MC)

Para a constituição da UA com *topsoil* de mata ciliar (P4) procedeu-se à coleta de material em local distante aproximadamente de 7,5 km propriedade rural, seguindo em linha reta, área marginal ao rio Taquari, afluente da bacia hidrográfica Sanga da Areia, longitude UTM 679598.63 m E; latitude 6746634.01 m S - Figura 100. A seleção dos dez pontos de retirada do material teve como critérios básicos a verificação de uma cobertura florestal mais adensada, a presença de sementes e matéria orgânica em superfície e a ocorrência de plântulas no local de coleta - Figura 101. Elementos como a distância ao curso de água, a presença de mesofauna, características do solo e diversidade de espécies vegetais foram registrados em caderneta de campo e em memorial fotográfico. O gabarito com 1 m² foi utilizado em cada ponto, de onde foram retirados sacos com aproximadamente 25 kg de material, em uma profundidade média de 5 cm.

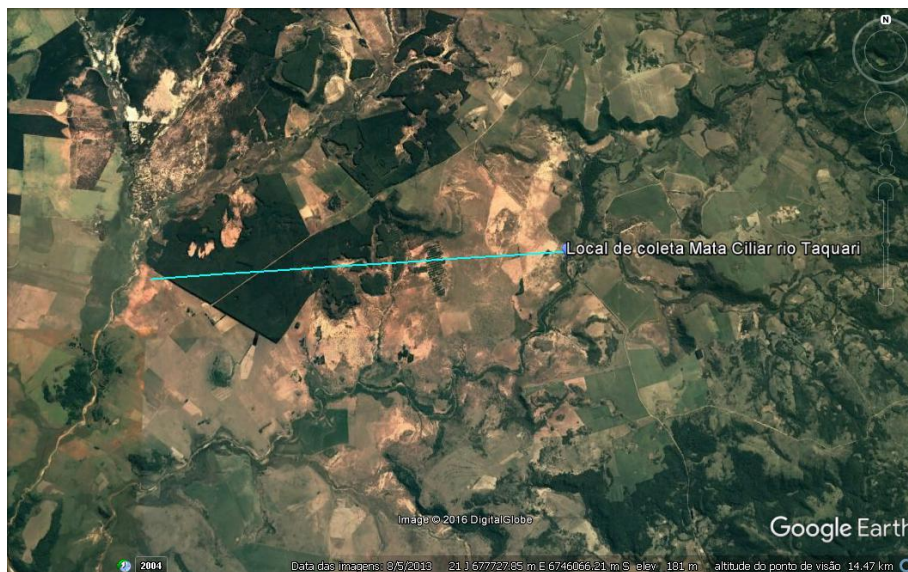


Figura 100. Imagem indicando a distância do local de coleta de *topsoil* junto ao rio Taquari em relação ao local em que foi aplicado. **Fonte:** Google Earth (Dezembro 2016). Data da imagem: 01/03/2013.



Figura 101. Representação de alguns pontos de coleta de *topsoil* em mata ciliar do rio Taquari. Em sentido horário: Gabarito para coleta em local com regenerantes/plântulas; Ponto com vegetação arbustiva e arbórea mais adensada; Local com ocorrência de indivíduos adultos de manacá-de-cheiro (*Brunfelsia uniflora*) e Ponto mais próximo ao rio e com vegetação mais aberta. **Fotos:** C.L. Vieira (Dezembro, 2016).

Para a implantação da parcela com 2 m de largura por 8 m de comprimento (16 m²) procedeu-se à roçada manual com enxada para a limpeza do terreno, com posterior distribuição a lanço do *topsoil*. Importante ressaltar que a aplicação do material deve ser realizada o mais breve possível em relação à sua coleta, evitando a morte de

regenerantes coletados e a desidratação do mesmo. Após a aplicação do *topsoil* a parcela foi coberta com a manta têxtil de sisal.

5.2.5 Unidade de Avaliação Vetiver com Manta (AE-II/UA-VcM)

Mudas de capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) foram introduzidas para a verificação da possibilidade de introdução de uma espécie vegetal que seja capaz de suportar as limitações edafoclimáticas inerentes ao local. Da mesma forma, buscou-se oferecer uma nova perspectiva tecnológica para a contenção de processos erosivos condizente à fisionomia campestre característica da região, que ofereça viabilidade econômica ao seu cultivo e comercialização pelo produtor rural. Esta gramínea exótica possui seu centro de origem no sul da Índia e não apresenta potencial invasor devido a um sistema de propagação realizado somente por divisão de mudas, com sementes estéreis e ausência de propagação por rizomas e estolões. Como espécie de metabolismo C4, o sombreamento exerce forte influência em seu desenvolvimento, podendo ser ferramenta de controle e até mesmo extinção das mudas, caso seja desejado. De grande versatilidade quanto ao seu potencial de uso e plasticidade ecológica, o Vetiver (*Vetiver System – VS*) tem sido usado há décadas em diversos países do mundo para o controle de erosão hídrica formando barreiras vegetais eretas e adensadas, na fixação de dunas em áreas costeiras, para o tratamento de fitorremediação de solos e corpos de água contaminados, na alimentação animal devido ao alto teor de proteína bruta nas folhas jovens, na estabilização de encostas e prevenção a movimentos de massa em função da resistência e arquitetura do sistema radicular, na construção de telhados com folhas sobrepostas, na produção de peças artesanais e na extração de óleo essencial de suas raízes com emprego medicinal e na indústria de perfumaria (PEREIRA, 2006; TRUONG *et al.*, 2008). As mudas utilizadas nesta parcela foram enviadas por um viveirista de São Paulo no dia anterior à implantação, sendo as raízes envoltas em papel umedecido e fechadas com saco plástico. As folhas foram podadas a uma altura de aproximadamente 30 cm quando da sua extração a campo, realizada um dia antes do seu envio. Ao chegarem em Porto Alegre cada muda foi separada e depois colocadas em baldes com água para a sua hidratação. Para que pudessem ser transportadas por oito horas até São Francisco de Assis as raízes foram novamente envoltas em papel molhado e amarradas em sacos plásticos a fim de que se

pudesse reduzir ao máximo o estresse e a desidratação das mudas. O preparo da parcela com 8 m de comprimento e 2,20 m de largura (17,6 m²) seguiu o protocolo adotado para a parcela Mix, com roçada manual do terreno por meio de enxada e aplicação de fertilizante orgânico. Em seguida procedeu-se a cobertura com geotêxtil de sisal e a abertura de orifícios com o auxílio de uma tesoura em uma distância de 10 a 15 cm, dispostas em linhas horizontais. Uma estaca pontiaguda de madeira com 20 cm de comprimento e cinco (5) cm de diâmetro foi utilizada para que se pudessem abrir os sulcos para o plantio das mudas, fazendo movimentos circulares na medida em que era penetrada no solo. Para algumas mudas se fez necessário a poda de algumas raízes antes da acomodação nos sulcos para que não ficassem enoveladas. A profundidade de estabelecimento das mudas foi cerca de 15 cm, e a distância entre as linhas horizontais de aproximadamente 80 cm. Como o plantio foi realizado sobre condições prévias de solo úmido e ocorrência de chuva durante o trabalho, não foi necessário realizar a irrigação após a finalização da parcela. Um total de 161 mudas de Vetiver foi utilizado para a implantação desta UA - Figura 102.



Figura 102. Parcela de capim Vetiver com cobertura de geotêxtil de sisal. Visada a partir da base. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

5.2.6 Unidade de Avaliação Vetiver sem Manta (AE-II/UA-VsM)

A concepção desta UA teve como objetivo proporcionar uma avaliação comparativa quanto ao desenvolvimento do capim Vetiver em relação à parcela VcM. Desta forma, o terreno não recebeu qualquer aplicação de fertilizante orgânico e cobertura de geotêxtil. As mudas foram plantadas em sulcos com aproximadamente 10 cm de profundidade, espaçamento de 15 cm entre plantas e 80 cm entre as linhas horizontais, sendo identificadas com fita crepe. Assim como em todas as outras UAs, a parcela foi dividida em três zonas partindo do topo para a base, denominadas Z1, Z2 e Z3, para melhor organização na obtenção de dados em monitoramentos posteriores. Localizada próximo ao limite esquerdo, sentido montante-jusante, da área experimental II, esta UA foi instalada aproveitando-se o terreno disponível, apresentando dimensões de 3,8 m na base, 5,7 m de comprimento e 5,75 m no topo.

As unidades de avaliação Mata de Encosta, Testemunha, Mix, Vetiver com manta e Vetiver sem manta foram implantadas no setor de ravinas, lado a lado, sobre uma mesma rampa, com inclinação direcionada de modo transversal ao curso de água local, Sanga do Rolador. Já a parcela com material de mata ciliar foi instalada de modo isolado, sobre uma rampa com inclinação paralela ao fluxo do curso de água, disposta de modo transversal às outras parcelas.

Um total de 154 mudas foi implantado na parcela VsM. Em uma porção do terreno acima da parcela VsM, junto à cerca de delimitação da AE-II à montante, realizou-se o plantio de mudas de capim Vetiver restantes, num total de 69 unidades - Figura 103. Esta área ficou representada como 'Vetiver área externa' e foi analisada de modo complementar à VsM, já que as plantas receberam o mesmo protocolo de plantio e identificação.

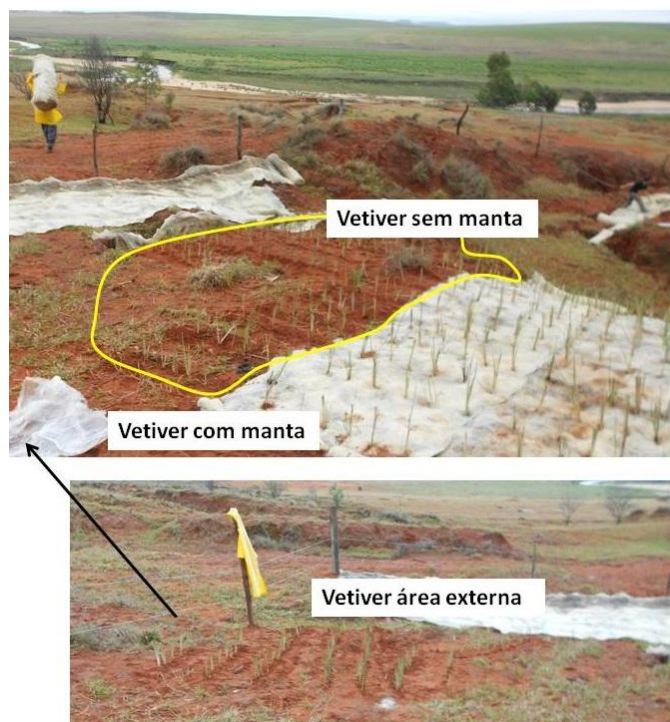


Figura 103. Área Experimental II, UAs Vetiver sem manta, Vetiver com manta e vetiver área externa. **Fotos:** C.L. Vieira (Dezembro, 2016).

5.2.7 Monitoramentos em campo e avaliações em gabinete

As atividades de monitoramento obedeceram a um intervalo médio de dois a três meses, perfazendo um ano de acompanhamento após a instalação da área experimental II, realizada na segunda quinzena de 2015. Os meses em atividades de campo contemplaram Dezembro de 2015; Março, Julho e Outubro de 2016. Para as parcelas ME, MC e Mix os parâmetros básicos avaliados foram a quantidade e diversidade de espécies vegetais desenvolvidas, considerando o gabarito de 1 m² para cada zona (Z1, Z2, Z3), a presença de mesofauna, peculiaridades como floração e produção de sementes, hábito de crescimento e percentual de cobertura nas zonas, em intervalos de 0-25%, 25-50%, 50-75% e 75 a 100%. As planilhas e variáveis para avaliação tiveram como base a Portaria CBRN 01/2015 da Secretaria Municipal de São Paulo, a qual estabelece o Protocolo de Monitoramento para Projetos de Restauração Ecológica², assim como trabalhos de referência desenvolvidos e publicados pelo Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) da Escola Superior em Agricultura - ESALQ/USP, adaptados para a condição de arenização e fisionomia campestre.

Para a avaliação vegetativa nas parcelas com Vetiver selecionaram-se elementos de morfogênese fundamentais, tais como a quantidade de perfilhos (brotações novas na

base, a partir da muda matriz) por zona e no total das parcelas, média de perfilhos por muda em cada UA, mudas vivas e mortas por zona e no total da parcela e maior comprimento de folha por zona (altura máxima verificada).

Em março de 2016 foram coletadas amostras para análise de solo nas UAs Mix, ME e Ts. Procurou-se remover a camada superficial e coletar material a uma profundidade de até 20 cm em cada zona (Z1, Z2 e Z3) compondo três subamostras por parcela. O mesmo procedimento foi adotado para as três UAs, com material proveniente do topo, porção média e base da rampa onde foram estabelecidas unidades de avaliação.

As subamostras foram homogeneizadas e compuseram uma única amostra por parcela, totalizando três amostras gerais com aproximadamente 1 kg cada. Estas amostras foram posteriormente remetidas ao laboratório para a verificação dos parâmetros físico-químicos (acidez ativa e potencial, capacidade de troca de cátions - CTC, teor de matéria orgânica) e possíveis diferenças em relação a uma parcela que recebera adição de *topsoil*, uma com solo exposto e outra com a adição de adubo orgânico, conforme laudo disposto no Anexo E. Os resultados obtidos e a discussão destas análises serão apresentados no capítulo 6.

A estimativa de erosão na UA-Ts foi aferida a partir da área conhecida do semicírculo implantado na base da parcela, multiplicada pela profundidade de sedimento acumulado, verificado diretamente na régua de madeira calibrada fixada no ponto central interno da estrutura. A concavidade do semicírculo de geotêxtil foi direcionada de modo a captar o sedimento deslocado do topo para o ponto mais baixo da parcela, seja pela ação da água da chuva escoada sobre a rampa, quanto pela força da gravidade atuando sobre o material arenoso inconsolidado.

Todos os dados foram anotados em planilhas e cadernetas de campo, sendo passados para arquivo digital em atividade de gabinete, seguidos de tabulação, avaliação comparativa, geração de gráficos, relatórios e tabelas.

Para cada avaliação nas zonas e parcelas foram realizados registros fotográficos e coleta de algumas espécies vegetais para herborização e possível identificação por meio de consulta a material teórico de referência para os areais da fronteira oeste, assim como consulta ao Herbário da UFRGS e herbários virtuais de instituições nacionais e internacionais.

²http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/files/2015/01/2015_1_15_Procoto_lo_monitoramento_restauracao_vfinal.pdf.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

“Lembre-se como são complexas, como são íntimas as relações recíprocas de todos os seres organizados uns para com os outros e para com as condições físicas da vida, e, por consequência, que vantagem pode cada um deles auferir de diversidades de conformação infinitamente variadas, dadas as diferentes condições de vida.”

(Charles Darwin, A Origem das Espécies, 1809-1882, ed. 2010, p. 89)

Ao longo deste capítulo serão apresentados os resultados obtidos tanto nas avaliações preliminares para o diagnóstico ambiental integrado quanto nas áreas experimentais a partir de ações práticas e monitoramentos desenvolvidos ao longo de três anos, contemplando atividades em campo, trabalhos em gabinete e análises em laboratório. Discussões acerca dos dados e informações terão como base um posicionamento crítico pessoal em diálogo com diversificado referencial teórico, pertinente ao contexto.

6.1 DIAGNÓSTICO

6.1.1 Relevô

A partir da análise da Carta Topográfica do Exército Brasileiro, folha Vila Kramer, escala 1: 50.000 foi traçada um perfil partindo da cota maior (início da propriedade) à cota de menor altitude (nível de base local) e calculadas as declividades para cada intervalo entre as mesmas – Figura 104. Os valores de declividades obtidos, segundo esta metodologia, foram:

- Cota 190 a 180 = 6,6 %
- Cota 180 a 170 = 2,2 %
- Cota 170 a 160 = 3,1 %
- Cota 160 a 150 = 6,25 %
- Cota 150 a 140 = 6,1 %
- Cota 140 a 130 = 8,7 %

As medidas foram aferidas com o auxílio de uma régua do tipo escalímetro, com dados registrados em folha milimetrada e posteriormente em programa Excel, para a geração do gráfico. Como produto visual obteve-se um gráfico com variações bastante suavizadas, em função da escala inadequada a uma análise em nível de fisiologia da paisagem. Uma linha de melhor ajuste foi gerada para a verificação da amplitude de variação topográfica, sendo possível constatar a homogeneização e a suavização dos desníveis do relevo, em dissonância ao observado em campo.

A declividade média obtida para a propriedade foi de 5,5 %. No terço inferior *meio fortemente instável*, onde estão concentrados os areais, ravinas e voçorocas, a declividade média foi de 7 %. A inclinação dos taludes das ravinas e voçorocas neste setor é, em sua maioria, de 50-60°, com altura de média dos taludes entre dois e três metros.

Analisando comparativamente o observado em campo com a sobreposição de fotos de satélite e o gráfico gerado, verificou-se que o perímetro erosivo tem início a partir da cota 160, quando há um significativo aumento da declividade em relação à faixa anterior. O mesmo incremento ocorre à jusante, junto ao curso de água, onde se verifica um intenso processo de erosão dos taludes fluviais.

Para que se pudesse obter um maior detalhamento em relação à declividade do terreno foi realizado a coleta de dados em 30 pontos utilizando GPS de precisão. Na etapa seguinte foi feito o processamento dos dados e a geração de produto visual do tipo modelo digital de elevação do terreno (MDE) e a elaboração do perfil topográfico a partir de *software* do próprio equipamento (GIS DataPRO 3.00 Build 318). Verifica-se claramente o ganho em qualidade quanto à representação da superfície do solo e suas variações altimétricas. Os intervalos de altitude obtidos foram de: 115-135; 135-155; 155-175; 175-185; 185-205 – Figuras 105 e 106.

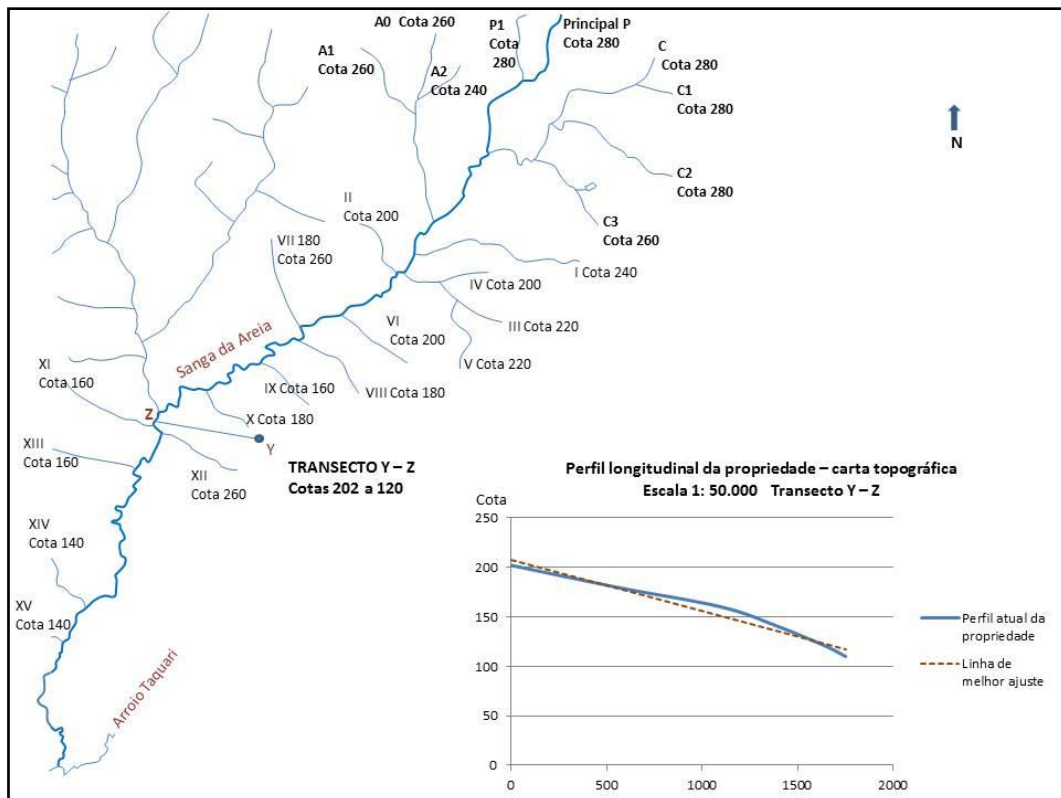


Figura 104. Transecto Y – Z traçado nos limites a montante (Y) e a jusante (Z) da propriedade rural para a geração do perfil topográfico e cotas de referência mínima - 120 e máxima - 202. Fonte: Carta do Exército Brasileiro, Folha Vila Kramer, escala 1: 50.000. Coordenadas UTM 671967.00 mE; 6746333.00 mS. **Elaboração:** C.L.Vieira (Dezembro, 2014).

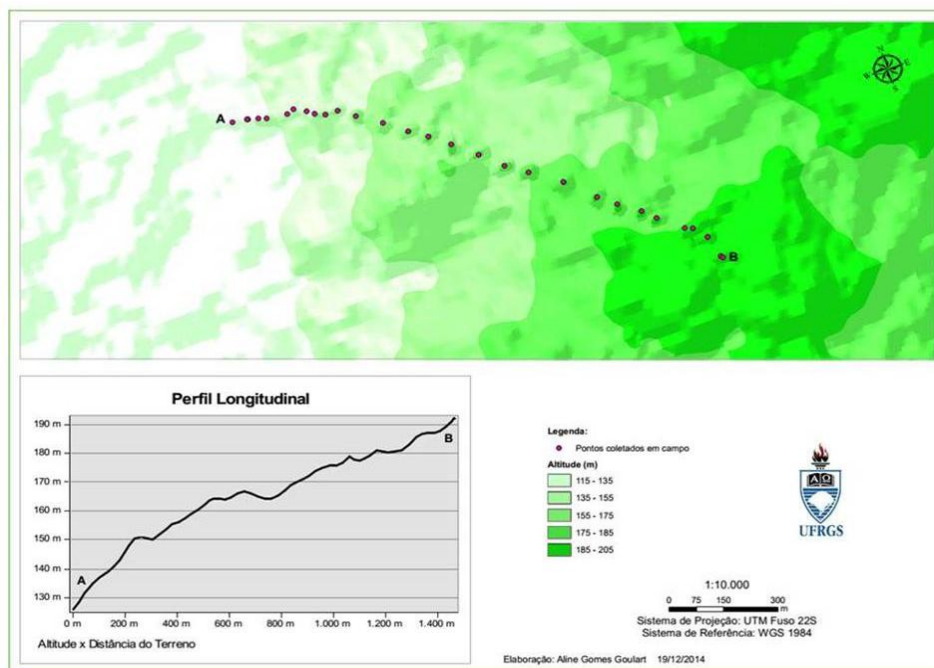


Figura 105. Perfil topográfico (com exagero vertical) e MDE gerados por meio de GPS de precisão. Ponto A – Sanga do Rolador; Ponto B – Início da propriedade. **Elaboração:** A.G.Goulart (Dezembro, 2014). Coordenadas UTM 671967.00 mE; 6746333.00 mS.

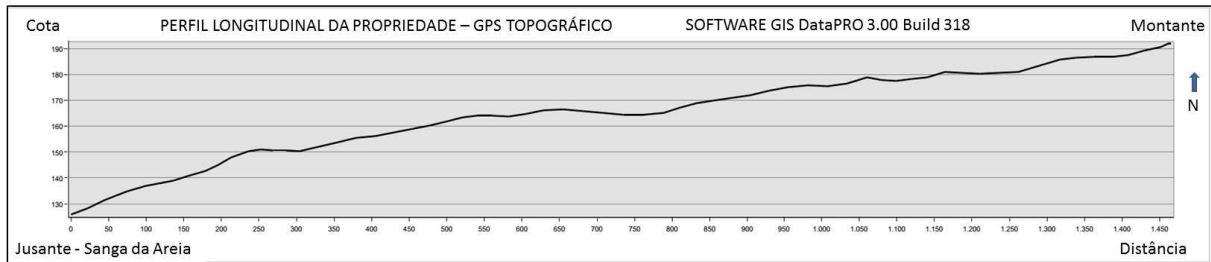


Figura 106: Perfil topográfico gerado a partir de dados coletados com o uso de GPS de precisão.
Elaboração: A.G.Goulart (Dezembro, 2014).

A localização no plano dos 30 pontos coletados com GPS de precisão sendo sobrepostos à imagem do *Google Earth* ratifica o verificado no perfil gerado a partir da carta do exército. Ou seja, se torna possível visualizar o perímetro erosivo e o *meio fortemente instável* localizados de forma a coincidir com o terço final da propriedade, onde há maior variação na amplitude topográfica, com início entre os pontos 16 e 17 – Figura 107.

Os pontos coletados o GPS de precisão foram obtidos com maior proximidade no terreno, de jusante para montante. Uma avaliação do valor médio de declividade para intervalos admitidos de cinco em cinco pontos demonstrou declividades diferentes em relação ao método baseado em Carta Topográfica, escala 1:50.000. Ratifica-se, no entanto, a informação de que no terço final, localizado entre os pontos cinco e o 15 é o que apresenta maior declividade e, justamente, onde se desenvolvem processos de erosão hídrica avançada e núcleos de arenização – Figura 108. Os valores de declividade foram obtidos a partir da fórmula $D_{\%} = n \times 100/E$, sendo:

D = declividade em valores percentuais

n = diferença altimétrica entre dois pontos considerados (m)

E = distância no terreno entre dois pontos considerados (m)

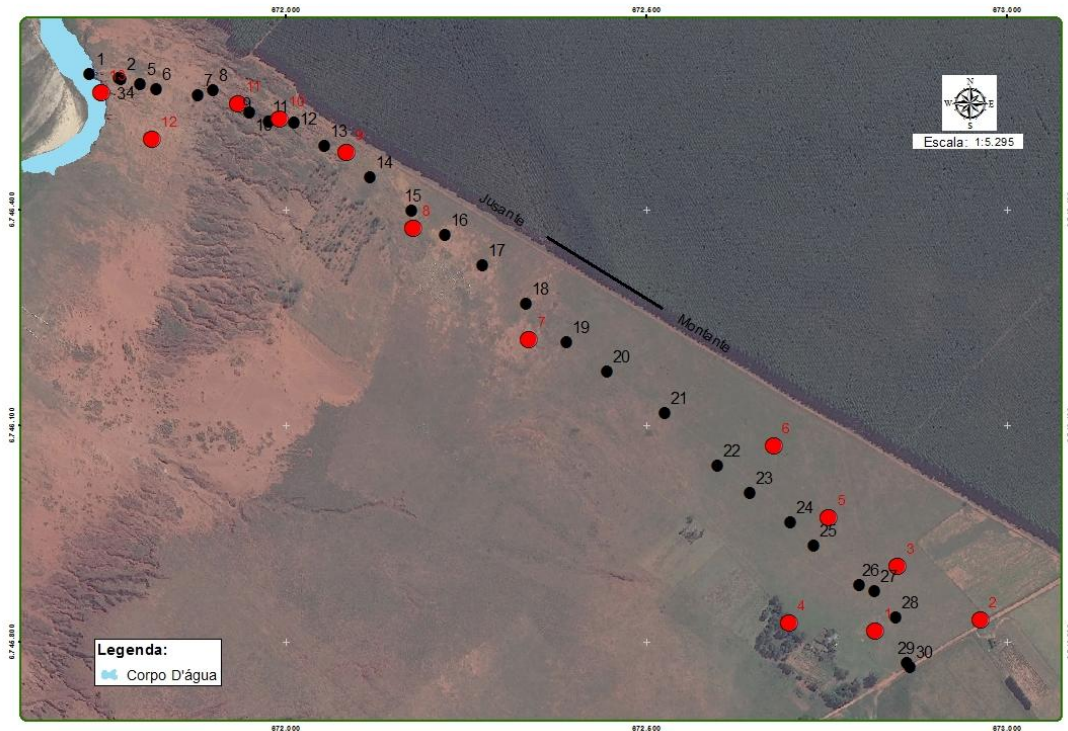


Figura 107. Localização dos pontos coletados com GPS de precisão, representados pela cor preta. Em vermelho estão registrados os pontos de coleta de materiais utilizados para análises de solo, sedimento e substrato. **Elaboração:** A.G.Goulart (Novembro, 2016).

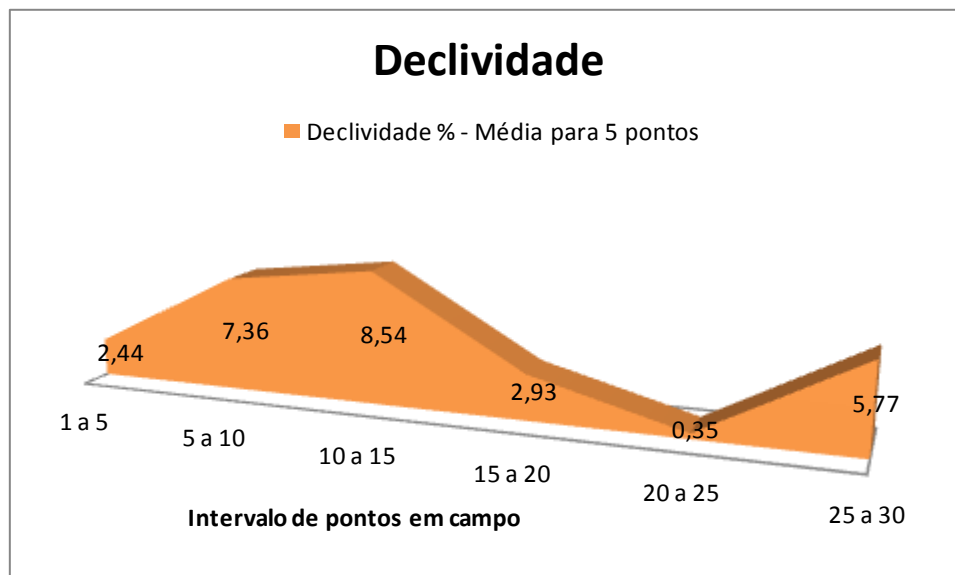


Figura 108. Declividade média calculada a partir dos dados registrados em campo com o uso de GPS de precisão, considerando intervalos a cada cinco pontos. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2017).

Comparando os resultados obtidos por meio da Carta Topográfica do exército com aqueles obtidos com o GPS de precisão verifica-se que há pequenas alterações de

valores para mais e para menos em todos os intervalos considerados. Destacam-se, entretanto, as declividades obtidas para o *meio estável*, porção a montante da propriedade, e na porção final, a jusante da propriedade, junto ao talude fluvial. Estas diferenças podem estar atribuídas a diversos fatores, dentre os quais cabe ressaltar: **1.** baixa precisão ao calcular a distância na carta topográfica por meio de régua escalímetro e folha milimetrada; **2.** comparação entre dados registrados em intervalos de cotas em carta topográfica, com aqueles registrados em intervalos de pontos coletados em campo **3.** comparação entre declividades obtidas considerando distâncias no terreno e entre cotas consecutivas representadas em carta topográfica com declividades médias considerando intervalos a cada cinco pontos tomados em campo; **4.** Em função de problemas no sinal do satélite, os pontos dois (2) e três (3) não puderam ser registrados com o GPS de precisão, sendo anotados por meio de GPS e navegação. Dessa forma, o cálculo da declividade com o emprego de dados altimétricos e aqueles relativos à distância no terreno, registrados por GPS de precisão, consideraram somente os pontos quatro (4) e cinco (5), próximos à margem do curso de água e abrangendo uma pequena superfície.

A proposta do trabalho tem com princípio fundamental desenvolver a pesquisa por meio de tecnologias que possam ser obtidas, ensinadas, replicadas e utilizadas de forma segura e autônoma pelo produtor rural. Materiais e instrumentos específicos necessários para uma avaliação mais precisa, como clinômetros manuais, cartas topográficas e aparelhos de GPS podem ser obtidos junto aos órgãos públicos pertinentes e em parcerias com instituições de ensino. De forma complementar recomenda-se que seja feita a utilização de aparelhos específicos para a aferição da declividade, como *softwares* de Geoprocessamento, acompanhados de auxílio técnico de órgãos públicos voltados à extensão rural, consultorias especializadas ou mesmo auxílio de secretarias estaduais e municipais, sempre que possível.

Apesar de algumas discrepâncias quanto aos resultados para o traçado do perfil topográfico, pode-se comprovar em ambos que não há desníveis bruscos no terreno que justifiquem o intenso desenvolvimento de processos erosivos no terço final da propriedade, mas, sim, na transição entre o *meio intergrade* e o meio *fortemente instável*. Ou seja, verifica-se um incremento na declividade a partir da metade até o curso de água, limite a jusante. O comprimento de rampa possui aproximadamente 1,5 km do início ao final da propriedade. A superfície apresenta conformação plana a suavemente ondulada, com boa cobertura do solo possui pela vegetação nativa, até

praticamente a metade do terreno. De acordo com o observado em campo, não há escoamento superficial proveniente de montante que justifique, por exemplo, a instalação de terraços. Uma possível explicação para o fato de as ravinas e núcleos de erosão estarem concentrados na porção inferior, próxima ao curso de água, seja a própria dinâmica hídrica da Sanga do Rolador, em associação à ocorrência de fraturamentos na rocha, transversais à margem. Afloramentos de arenito e concreções ferruginosas permitem que se visualize o contato brusco existente entre a rocha e o espesso pacote de sedimentos arenosos holocênicos sobrepostos. Outro possível fator causal está relacionado ao acesso coletivo do gado para a dessedentação no curso de água em determinados períodos do dia, promovendo intenso pisoteio e mobilização do solo. Como os animais geralmente andam em linha e se movem em grupo para esta finalidade, canais são formados e aprofundados em superfície, permitindo que ocorra o escoamento concentrado da água da chuva, aumento na erodibilidade do solo e impedimento quanto ao desenvolvimento de uma cobertura vegetal que possa estabilizar os sedimentos inconsolidados. Em campo foi possível perceber que os animais se deslocam de modo disperso até o início do perímetro erosivo e passam a se aglomerar e andar em ‘fila indiana’, pisoteando o topo das ravinas e descendo os taludes para ter acesso ao canal destas feições morfológicas, todas as vezes em que se direcionam e retornam do curso de água. Maiores considerações serão realizadas subitens que tratam da dinâmica hídrica da Sanga do Rolador e os processos morfológicos, abordados na sequência.

6.1.2. Solo

O imóvel rural está assentado sobre um pacote sedimentar classificado como Latossolo Vermelho distrófico órtico típico de acordo com Streck *et al.*, 2008. Em campo, no entanto, verifica-se a baixa pedogênese, perfis profundos sem a distinção de horizontes diagnósticos, fração textural composta predominantemente por areia média e fina, material com coloração avermelhada, afloramento de rochas e concreções ferruginosas, tanto a montante quanto a jusante da propriedade. Estas características estão alinhadas a trabalhos precedentes que classificam o solo nesta localidade como um enclave de Neossolo Quartzarênico distrófico órtico típico (RQ).

A partir das análises físico-químicas realizadas no laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia/UFRGS (Anexo D) foi possível verificar que ocorrem, em um panorama geral das amostras, elevadas taxas de acidez ativa e potencial, baixos teores de macronutrientes do solo e baixos teores de matéria orgânica – Quadro 1.

Os valores relativos ao teor de argila obtidos nas análises de solo, em percentual, diferiram significativamente em relação àqueles obtidos pelas análises de sedimento realizadas no laboratório do Instituto de Geociências – CECO/UFRGS, os quais apresentavam valores muito inferiores. Este fato pode estar relacionado à metodologia padronizada adotada no Brasil pelos laboratórios de análises de solos vinculados à rede LASUS. De acordo com o esclarecimento prestado pelo responsável técnico do laboratório de Solos, a necessidade de padronização nacional pode levar a distorções superestimadas nos teores de argila. Como os dados apresentados pelas análises realizadas no CECO se apresentavam muito mais coerentes com o contexto de Neossolo Quartzarênico e os solos com ocorrência do processo de arenização, assumiram-se os teores de argila obtidos nas análises de sedimentos como representativos para os cenários relativos aos pontos de coleta – Figura 109.

Quadro 1. Resultados das análises físico-químicas do solo.

PONTO DE COLETA	Ca (cmol _c /dm ³)	P (mg/dm ³)	Mg (cmol _c /dm ³)	MO %	K (mg/dm ³)	Al troc. (cmol _c /dm ³)	Al + H (cmol _c /dm ³)	pH (H ₂ O)	CTC (cmol _c /dm ³)	% SAT CTC_Bases	% SAT CTC_AI
Amostra 1	0,1	4,3	0,1	0,5	38	1	3,9	3,7	4,19	7	77,1
Amostra 2	0,2	1,7	0,2	1,1	40	1	4,9	4,2	5,4	9	66,6
Amostra 3	0,6	7,1	0,5	1,2	144	0,1	2,5	4,8	3,96	37	6,4
Amostra 4	0,3	1,5	0,2	0,7	23	0,5	2,5	4,5	3,05	18	47,2
Amostra 5	1,55	2,4	0,6	0,9	20	0,2	2,0	4,7	3,15	37	14,8
Amostra 6	0,5	1,8	0,4	0,7	19	0,3	2	4,6	2,94	32	24
Amostra 7	0,1	2,4	0,1	0,3	7	0,6	2,2	4,2	2,41	9	73,4
Amostra 8	0,1	1,6	0,1	0,6	13	0,5	2,2	4,3	2,43	10	68,2
Amostra 9	0,1	1,6	0,1	0,6	15	0,7	2,5	4,4	2,73	9	74,6
Amostra 10	0,1	4,3	0,1	0,5	16	1,1	2,5	4,2	2,74	9	82
Amostra 11	0,1	4,1	0,1	0,1	10	1,5	2	4,3	2,22	10	86,9
Amostra 12	0,1	5,0	0,1	0,1	5	0,6	1,6	4,0	1,81	12	73,8
Amostra 13	0,1	0,7	0,1	0,1	6	1,1	2,8	4,3	3,01	7	83,6

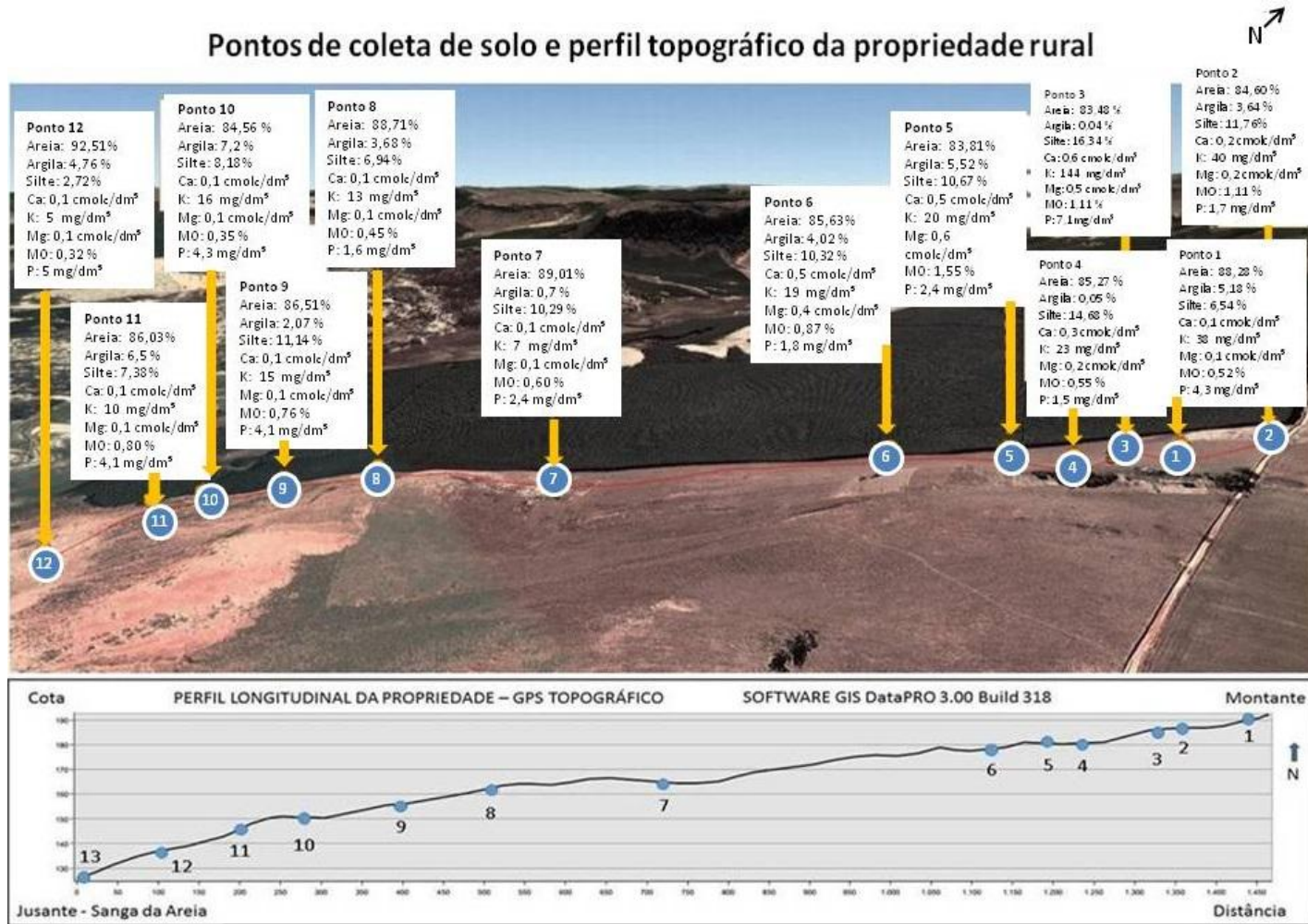


Figura 109. Sobreposição dos pontos de coleta das amostras de solo com imagem do Google Earth e principais dados obtidos nas análises para cada ponto. Perfil topográfico com a localização dos pontos de coleta. **Elaboração:** A.G. Goulart e C.L. Vieira (Março, 2016).

A acidez ativa do solo - pH, não apresentou variação significativa ao longo da propriedade, com valores médios de pH 4,3 para as amostras de 1 a 4; pH 4,45 para as amostras de 5 a 8 e pH 4,2 para as amostras de 9 a 12. A capacidade de troca de cátions (CTC- $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) apresentou comportamento decrescente ao longo da propriedade, havendo leve incremento na fertilidade potencial do solo na amostra 13 coletada junto à base do talude fluvial, com maior percentual de argila. Os valores de CTC obtidos para as amostras 1 e 5 foram de 4.19 e 3.15 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente; CTC 2.94 e 2.74 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para as amostras 6 e 10; CTC 2.22 e 1.81 para as amostras 11 e 12. Para a amostra 13 o valor de CTC obtido foi de 3.01 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ - Figura 110. Estes dados vão ao encontro da característica pedológica local, já interpretada pela produtora rural, ao declarar com segurança que o terço superior da propriedade possuía “terra boa”, de forma oposta ao terço final, onde havia “terra ruim”. Igualmente, as atividades em campo tornaram claramente perceptíveis as diferenças quanto ao percentual de cobertura do campo e a diversidade florística nestes setores.

Quanto à concentração e a dinâmica catiônica de macronutrientes apresentadas no resultado das análises de solo, o elemento químico potássio (K) aparece em destaque. Há uma elevada concentração no terço inicial da propriedade, *meio estável*, com valores entre 30 e 144 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (p.p.m). Nos pontos 7, 11 e 12 verifica-se uma redução significativa nas concentrações de K no solo, com valores entre 7 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, 5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ e 6 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, respectivamente. No ponto de coleta três (3) foi apresentado um resultado discrepante em relação a todos os outros pontos, com o valor elevado de 144 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Uma possível explicação para o fato é que tenha havido erro na coleta da amostra ou mesmo algum enriquecimento devido ao escoamento da água em superfície, já que o local apresenta um desnível em forma de depressão convergente. De acordo com Malavolta *et al.* (1974) o íon potássio K^+ pode ocorrer na forma trocável, quando adsorvido às partículas minerais e orgânicas do solo, por meio de ligações eletrovalentes, assim como na forma não trocável, quando se apresenta fixado ou retido entre camadas minerais. Uma vez que esteja na forma não trocável, isto significa que o potássio não se encontra prontamente disponível à absorção pelas plantas. Altamente higroscópico, um único íon potássio pode se apresentar naturalmente ligado a até oito molécula de água. A mobilidade do potássio no perfil do solo pode estar relacionada aos mais diversos fatores e variáveis ambientais que abarcam desde a efetiva dominância de uma matriz rochosa rica em K^+ ; o teor, taxa de decomposição e mineralização da matéria orgânica; a presença de colóides; teor de material argiloso; características

climáticas e, finalmente, o tipo de cobertura vegetal e a taxa evapotranspiratória, as quais exercem influência direta na concentração de K^+ na rizosfera (MALAVOLTA *et al.*, 1974).

Segundo este autor o potássio, de modo geral, representa um papel fundamental como macronutriente para o adequado funcionamento de funções metabólicas nos vegetais. Dentre outras funções desempenhadas por este íon, são destaque: **1.** a formação de importantes enzimas de síntese protéica; **2.** sua atuação na regulação de trocas gasosas nas membranas vegetais, através das bombas de sódio e potássio; **3.** a produção de amido e açúcares; **4.** a regulação da perda de água pela evapotranspiração.

Como fertilizante químico o K^+ auxilia no estímulo à floração; aumenta a imunidade das plantas às doenças; promove maior resistência aos eventos de estresse climático, como a ocorrência de estiagem e geadas; dentre outras funções metabólicas de indubitável relevância aos organismos vegetais. Como fertilizante químico o potássio é aplicado, principalmente, na fórmula do sal K_2O para a suplementação na adubação de plantas cultivadas (MALAVOLTA *et al.*, 1974).

As especificidades expostas acima permitem que se faça uma análise comparativa mais minuciosa em relação aos teores de potássio, tipo e densidade de cobertura vegetal observados em campo. Percebe-se que no ponto três (3), onde ocorre o elevado valor discrepante, o terreno apresenta, naturalmente, uma conformação propícia à convergência de água, semelhante a um canal vegetado e o maior percentual de matéria orgânica - 1,2%, de acordo com as análises de solo. Neste ponto há, inclusive, a colonização por espécies vegetais da família Cyperaceae, típicas de ambientes com maior umidade no solo. Dessa forma, pode-se presumir que o enriquecimento com potássio esteja associado tanto ao fluxo convergente de água quanto ao maior teor de matéria orgânica. Os pontos com menor cobertura da superfície pela vegetação nativa e maior ocorrência de solo exposto coincidem com aqueles onde há menores concentrações do íon K^+ . O fato de o potássio conferir maior resistência ao estresse ambiental, principalmente relacionado à escassez de água, interferir diretamente na floração e produção de sementes, assim como conferir maior imunidade às plantas e resistência às doenças pode configurar, tanto para o contexto destes solos arenosos quanto em relação à fitofisionomia campestre, um fator preponderante ao desenvolvimento da cobertura vegetal nativa. Para verificar esta hipótese sugere-se que experimentos controlados sejam delineados e implantados no local, tendo como variável a concentração de potássio. Rovedder *et al.* (2014, p. 2181) avaliaram a relação solo-

vegetação em remanescente de floresta estacional decidual, na região central do RS, em áreas com a presença de Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos a partir de rochas sedimentares, especialmente o arenito, em associação com argilitos e siltitos. Os autores verificaram um caráter eutrófico predominante nas amostras de solo analisadas e atribuíram o fato à presença de estratificações de siltitos e argilitos, assim como aos processos pedogenéticos incipientes. Segundo os mesmos, os teores elevados de Ca e K obtidos nas análises estão relacionados, possivelmente, à presença de materiais primários intemperizáveis preservados em função de uma pobre condição pedogenética, os quais desempenham a função de reserva de cátions básicos.

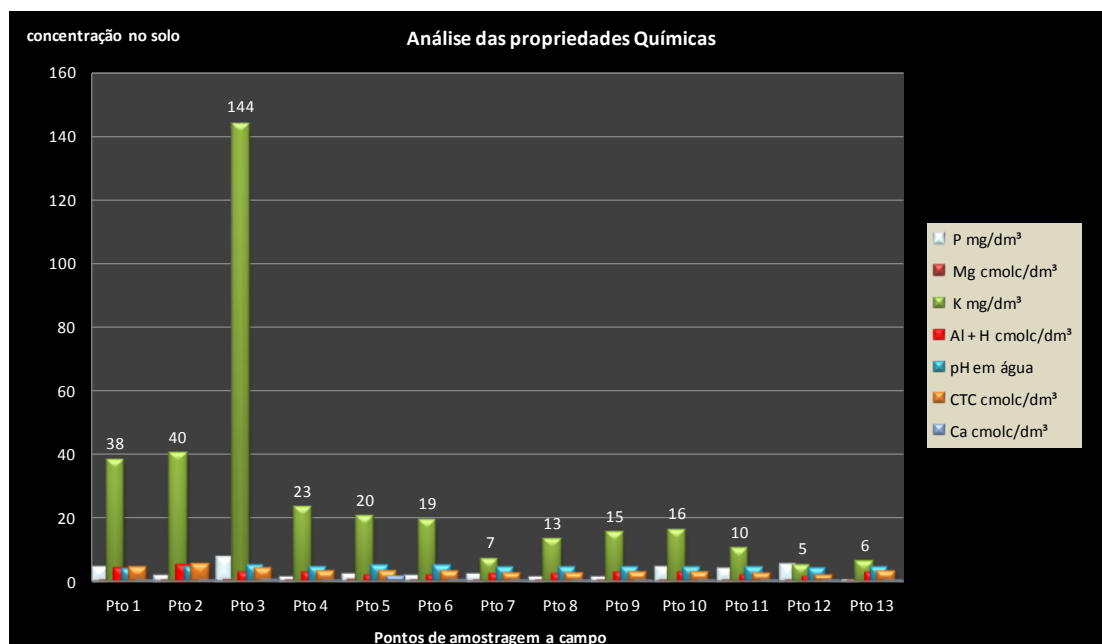


Figura 110. Teores de macronutrientes, acidez ativa (pH) e capacidade de troca de cátions (CTC) obtidos nas análises de solo. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

Melo *et al.* (2003, p. 808) analisaram a importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do triângulo mineiro atentando para o fato de que há poucos trabalhos desenvolvidos de forma a relacionar a reserva de K com os minerais presentes na fração argila em solos tropicais. Os autores concluíram que a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis como a mica e o feldspato em solos jovens produzidos a partir de rochas sedimentares, como a Formação Uberaba, contribuíram para a grande proporção de K total encontrado na fração argila, composta predominantemente por caulinita (argila de baixa atividade, relação 1:1). Conforme

descrito no Capítulo 3, a propriedade rural em estudo possui solos desenvolvidos a partir de arenitos feldspáticos, com um espesso pacote de material arenoso assentado sobre um embasamento de textura argilosa, verificado claramente ao se analisar a disposição das camadas componentes do talude fluvial. De modo análogo, Cordeiro e Soares (1977, p. 122) registraram depósitos argilosos no terraço fluvial do curso de água denominado Sanga do Rosário, ao investigarem em expedição em campo as formas erosivas no município de São Francisco de Assis, localizadas próximas à estrada municipal EM-4, a 2 km da rodovia estadual RS-3. Esta rodovia dá acesso à Vila Kramer e o ponto inspecionado mencionado pelos autores localiza-se a cerca de 2,5 km em linha reta, sentido oeste-leste, em relação à propriedade rural em estudo, conforme mapa e escala gráfica apresentados pelos autores na página 124 do referido relatório.

Quanto à saturação do solo por cátions móveis, ou bases trocáveis, representada pela Capacidade de Troca de Cátions (CTC %), o ponto três apresenta a maior concentração, 37 %, juntamente com o ponto 4. De acordo com Streck *et al.* (2008) o ideal para os solos no estado do Rio Grande do Sul é que a CTC apresente um valor mínimo de 50 %. O percentual de saturação do solo por bases trocáveis relaciona-se diretamente com uma maior ou menor fertilidade do solo. Outros fatores, entretanto, são condicionantes à disponibilização destes elementos para a nutrição das plantas, tais como acidez ativa, água prontamente disponível na matriz do solo, textura e teor de material orgânico no solo. A saturação da solução do solo por outros cátions, como o alumínio Al^{3+} , também exercerá influência deléria quanto à disponibilidade de bases para serem absorvidas pelo sistema radicular vegetal, já que este íon geralmente ocupa os sítios ligantes de partículas sólidas minerais e orgânicas que possuem carga elétrica em superfície. O íon alumínio Al^{3+} presente na fração líquida do solo pode causar fitotoxicidade, contribuindo também para o aumento da acidez potencial ($Al + H$ $cmol_c.dm^{-3}$). A menor taxa de saturação da CTC com alumínio trocável de 6,4 % ocorre no ponto três (3), com a sua maior concentração verificada no ponto 11, atingindo 86,9 % - Figura 111. Este comportamento é semelhante aos pontos 4, 5 e 6, para os quais uma maior presença de cátions trocáveis corresponde a uma menor concentração de alumínio e estão condizentes ao contexto de um *meio estável*, com maior cobertura do solo pela vegetação nativa e ausência de processos erosivos ou núcleos de arenização. Exceção ao fato são os pontos 1 e 2, onde há maior concentração de alumínio e menor presença de bases trocáveis. No que diz respeito ao ponto um (1), estes valores podem estar relacionados ao fato de a coleta de material ter sido realizada em um local de solo

exposto, logo abaixo e à frente de um afloramento de rocha arenítica. Durante a coleta de material realizada no ponto dois (2) houve o encontro com um formigueiro de formigas cortadeiras a cerca de 10-15 cm da superfície. Conjeturou-se, para tal, que tenha havido uma possível contaminação da amostra com exsudados destes insetos ou mesmo pela decomposição do material vegetal por elas incorporados ao solo, alterando o balanço entre as bases trocáveis e o Al^{3+} .

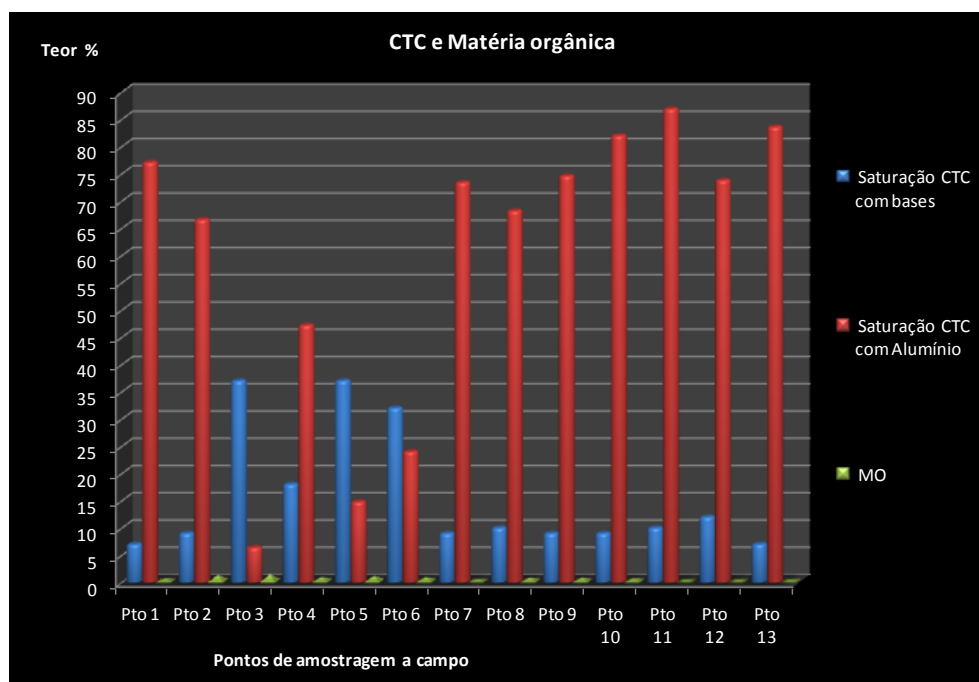


Figura 111. Saturação com alumínio, capacidade de troca de cátions (CTC) e teor de matéria orgânica verificados nas análises de solos. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

O íon fósforo – P^+ é essencial ao metabolismo vegetal. Dentre as funções de suma relevância que desempenha, destacam-se o fornecimento de energia na forma de ATP e ADP e o estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular. Este cátion normalmente apresenta um comportamento pouco móvel no perfil do solo, sendo fortemente adsorvido à superfície de partículas sólidas eletrovalentes, com aumento de sua concentração em maiores profundidades. No Brasil, em geral, os solos apresentam carência deste elemento, devido ao seu avançado grau de intemperismo. De acordo com as análises de solo realizadas no laboratório de solos da Faculdade de Agronomia – UFRGS verifica-se que elevações em seus teores estão presentes, por exemplo, no *meio fortemente instável*, onde não há cobertura por vegetação nativa e predomina o solo exposto, pontos 10, 11 e 12 com material coletado em talude de ravina, canal de ravina

e no núcleo de arenização, respectivamente. Verifica-se, pelos laudos das análises, que algumas elevações nos teores de fósforo correspondem:

1. a um maior teor de argila, como nas amostras MI-1 (argila 5,18 % e fósforo 4,3 mg/dm³), MI-10 (argila 7,19% e fósforo 4,3 mg/dm³), MI-11 (argila 6,59% e fósforo 4,1 mg/dm³) e MI-12 (argila 4,76% e fósforo 5,0 mg/dm³);

2. a um maior pH e teor matéria orgânica, como na amostra 3 (pH 4.8 ; MO 1.2% e fósforo 7,1 mg/dm³).

De acordo com Rovedder *et al.* (2014, p. 2181) os solos formados a partir de material sedimentar, como o arenito, apresentam baixa formação do complexo sortivo e esta condição se torna desfavorável à adsorção de ácidos orgânicos, devido à uma rápida degradação do conteúdo orgânico pela ação microbiana.

A partir das análises realizadas no Laboratório de Estudos Costeiros e Oceânicos, CECO/UFRGS – Apêndice A, verifica-se que há um predomínio da areia como fração granulométrica com percentuais que variam de 83,47% a 92,52%, determinando a classificação textural arenosa para todas as amostras – Figura 112. As frações granulométricas areia média (diâmetro nominal de partículas entre 0,25 < 0,5 mm) e areia fina (grãos entre 0,1 < 0,25 mm) compõem a maior parte das amostras coletadas, apresentando diferentes proporções ao longo da propriedade – Quadro 2. Os maiores incrementos de areia fina são verificados nos pontos 1, 6 e 12. Neste último, esta fração granulométrica chega a atingir 55,36 % da amostra coletada.

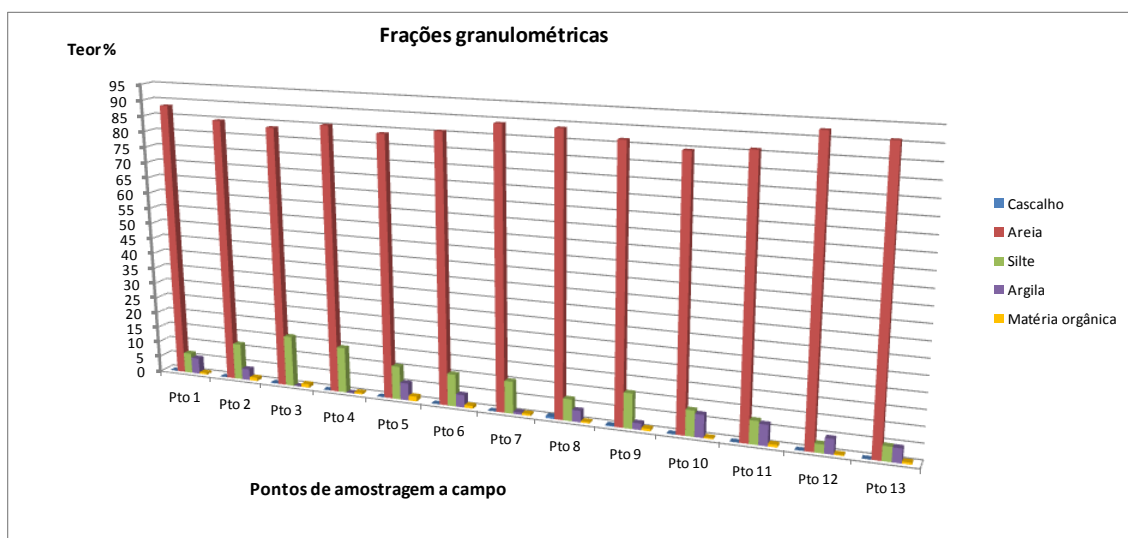


Figura 112. Frações granulométricas obtidas para as 13 amostras, de acordo com as análises realizadas no CECO/UFRGS. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

Quadro 2. Percentual da fração textural de acordo com as análises de sedimentos CECO/UFRGS.

Fração areia classificação					
	Areia muito fina % 0,05 a < 0,1 mm	Areia fina % 0,1 a < 0,25 mm	Areia média % 0,25 a < 0,5 mm	Areia grossa % 0,5 a < 1 mm	Areia muito grossa % 1 a < 2 mm
PONTO DE COLETA					
Amostra 1	8,905	33,685	41,569	3,895	0,227
Amostra 2	14,662	38,892	28,841	1,943	0,258
Amostra 3	9,910	36,336	35,214	1,963	0,054
Amostra 4	12,229	36,443	33,758	2,622	0,221
Amostra 5	8,136	32,006	40,560	3,038	0,070
Amostra 6	7,398	33,993	41,133	2,864	0,241
Amostra 7	8,327	44,478	33,550	2,506	0,147
Amostra 8	8,375	37,869	39,468	2,750	0,245
Amostra 9	6,767	33,143	42,468	3,644	0,493
Amostra 10	8,391	37,840	34,539	3,436	0,356
Amostra 11	6,178	36,352	39,707	3,347	0,448
Amostra 12	11,867	55,360	24,275	0,965	0,050
Amostra 13	9,644	33,043	41,551	5,811	0,842

O teor de argila nos pontos três (3) e quatro (4) é muito inferior aos demais pontos, com valores entre 0,03 % e 0,04 %, respectivamente. A argila e a matéria orgânica se comportam como materiais cimentantes, promovendo o agrupamento de partículas sólidas na forma de agregados do solo. Entretanto, o que se verifica no resultado das análises de sedimento é que ocorre um significativo incremento desta fração textural no terço final da propriedade, atingindo 7,1 % no ponto 10 e 6,5 % no ponto 11, respectivamente. As amostras coletadas nestes pontos foram obtidas em um talude e no canal de uma ravina, justamente no *meio fortemente instável* onde se verificam processos erosivos avançados. A matéria orgânica apresenta valores muito baixos, entre 0,3 e 1,1 %, alcançando os maiores percentuais nos pontos de coleta dois (2) e três (3), com 1,1 %. Projetos para recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado, por exemplo, cujas características físico-químicas do solo residual apresentam semelhanças ao sedimento areno-quartzoso da área em estudo, recomendam elevar o percentual de matéria orgânica para um mínimo de 2% (CORRÊA, 2005).

O fato de os teores de argila apresentarem incremento no perímetro erosivo pode estar relacionado à migração superficial e subsuperficial devido à posição topográfica, em ponto inferior do relevo. Neste setor não há variação significativa nas proporções das diferentes granulometrias da fração areia – Figura 113, sendo o desenvolvimento de processos morfológicos provavelmente associado a outros fatores, como dinâmica erosiva do curso de água Sanga do Rolador provocando a reativação superficial de paleodrenagens, assim como o frequente e intenso trânsito animal.

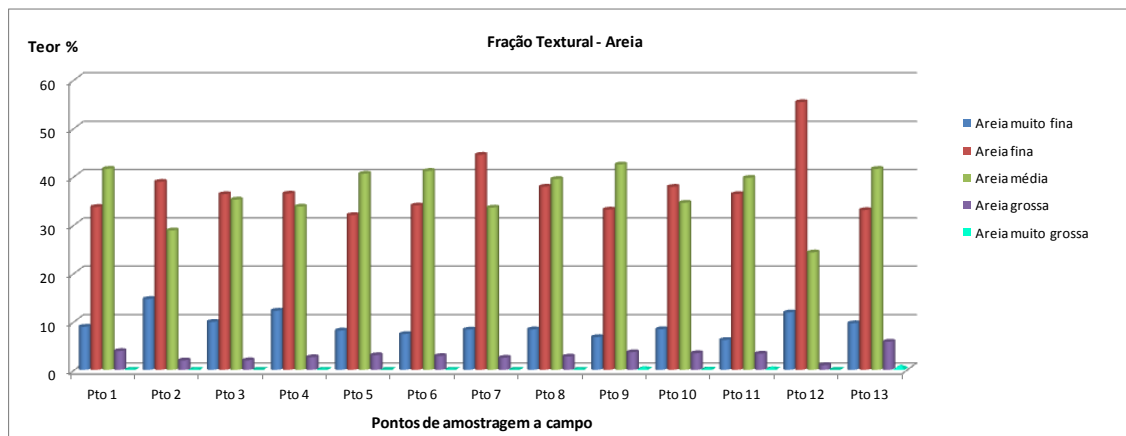


Figura 113. Fração textural areia e as proporções relativas das granulometrias componentes. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

A análise por morfoscopia revelou a predominância das frações areia média e areia fina para as amostras, texturas sacaróide e mamelonado fosco, com graus de arredondamento e esfericidade entre 0.7 e 0.9. Para os pontos quatro (4), seis (6), oito (8) e 10 também se torna significativa a presença de grãos com textura lisa e fosca. De acordo com os últimos mapeamentos realizados, o arenito Guará, Formação flúvio-lacustre do período Mesozóico, passa a ser referenciado como o substrato rochoso com ocorrência predominante para as áreas com arenização, localizadas no sudoeste do RS. A textura fosca, geralmente relacionada aos grãos desgastados pela abrasão derivada da ação direta do processo de deflação e erosão eólica, estaria desta forma, mais relacionada ao arenito Botucatu. Entretanto, verificou-se em laboratório que a maioria das partículas de areia e quartzo analisadas por morfoscopia estavam revestidas de fina película de óxidos de ferro, conferindo às mesmas uma coloração avermelhada e aspecto fosco – Quadro 3. Por outro lado, verifica-se também que há relevos residuais próximos, em cotas mais elevadas do relevo, que apresentam afloramento da Formação Botucatu. Um possível enriquecimento de grãos foscos a partir destas feições residuais e da orientação dos ventos predominantes, quadrantes SW e NE, passa a ser cogitada como uma possibilidade para o contexto da propriedade, já que somente afloramentos do arenito Guará, com estratificação horizontal, e concreções ferruginosas foram verificados no local em estudo.

Em observação com lupa foi verificada a presença de pequenos agregados do solo com baixa resistência à compressão, matéria orgânica não decomposta (pequenas raízes, mesofauna, fragmentos de folhas e sementes) e concreções ferruginosas em

quase todos os pontos, exceto para as amostras MI-8, MI-9 e MI-10, *meio fortemente instável*. Neste setor foi onde também se verificou a ocorrência de grãos mamelonados, indicando um maior retrabalhamento do material pela ação da água e a sua condição de menor coesão entre as partículas.

Quadro 3. Análise de coloração - laboratório CECO/UFRGS. Predominância das cores vermelho (red), vermelho escuro (dark red) e marrom-avermelhado escuro (dark reddish brown).

Análise de sedimento - CECO			
Início 05/09			
Uso de Color chart - amostras úmidas			
AMOSTRA	COR	MATIZ	DESCRIÇÃO
MI - 1	4.4	2.5 YR	reddish brown
MI - 2	3.6	10 R	dark red
MI - 3	3.4	10 R	dusky red
MI - 4	3.4	2.5 YR	dark reddish brown
MI - 5	3.6	10 R	dark red
MI - 6	3.6	10 R	dark red
MI - 7	3.4	2.5 YR	dark reddish brown
MI - 8	4.6	2.5 YR	red
MI - 9	3.6	2.5 YR	dark red
MI - 10	4.6	10 R	red
MI - 11	3.6	2.5 YR	dark red
MI - 12	4.6	2.5 YR	red
MI - 13	7.6	10 R	yellow

Elaboração: C.L. Vieira (Setembro, 2015).

De forma complementar torna-se interessante verificar a importância em se adotar uma metodologia de análise adequada ao local de estudo. De acordo com o programa disponibilizado gratuitamente no site do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para a verificação da classificação textural, foram obtidos alguns resultados que diferem daqueles obtidos no laboratório do CECO/UFRGS. Após a inserção dos dados percentuais de areia, silte e argila das 13 amostras, a classificação textural para as amostras dois (2), três (3), cinco (5) e seis (6) foi determinada como areno-argilosa, segundo o método do USDA - Figuras 114 a 117:

- Amostra 1 (MI-1) = areia
- Amostra 2 (MI-2) = areno-argiloso
- Amostra 3 (MI-3) = areno-argiloso
- Amostra 4 (MI-4) = areia
- Amostra 5 (MI-5) = areno-argiloso
- Amostra 6 (MI-1) = areno-argiloso

- Amostra 7 (MI-1) = areia
- Amostra 8 (MI-1) = areia
- Amostra 9 (MI-1) = areia
- Amostra 10 (MI-1) = areno-argiloso
- Amostra 11 (MI-1) = areno-argiloso
- Amostra 12 (MI-1) = areia
- Amostra 13 (MI-1) = areia

Ocorre, no entanto, que a amostra três (3) apresenta um dos mais baixos teores de argila obtidos através das análises de sedimentos realizadas no laboratório do CECO/UFRGS, com 0,0390% e 16,3372% de silte. A amostra quatro (4) apresenta valores bastante aproximados, 0,0480% de argila e 14,6783% de silte, sendo classificada como areia, segundo o USDA.

A avaliação dos resultados obtidos no laboratório do CECO e a análise da classificação por frequência simples rodadas no programa Panicom/SAG do Instituto de Geociências, Departamento de Geologia – UFRGS resultou na classificação textural areia para todas as 13 amostras consideradas.

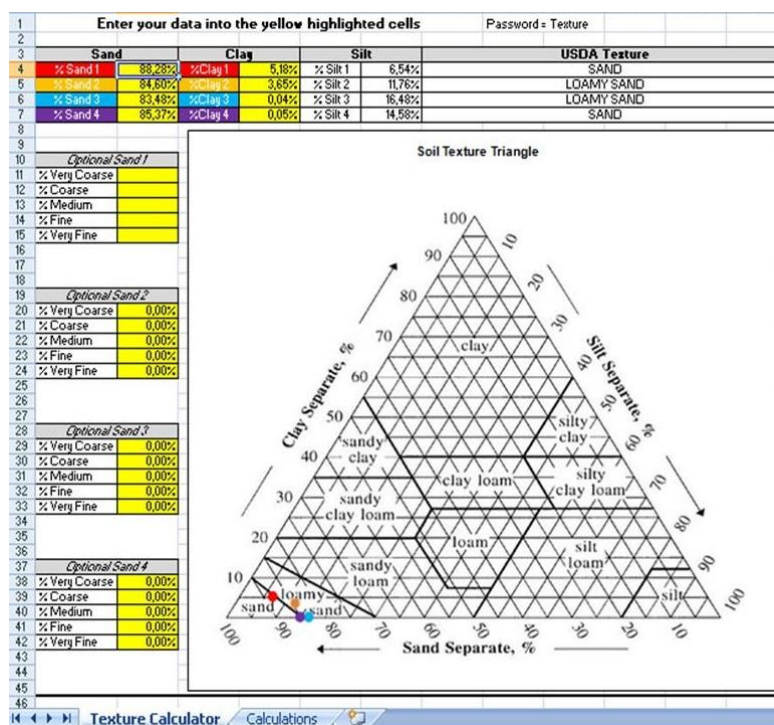


Figura 114. Classificação textural das amostras 1 a 4 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA.

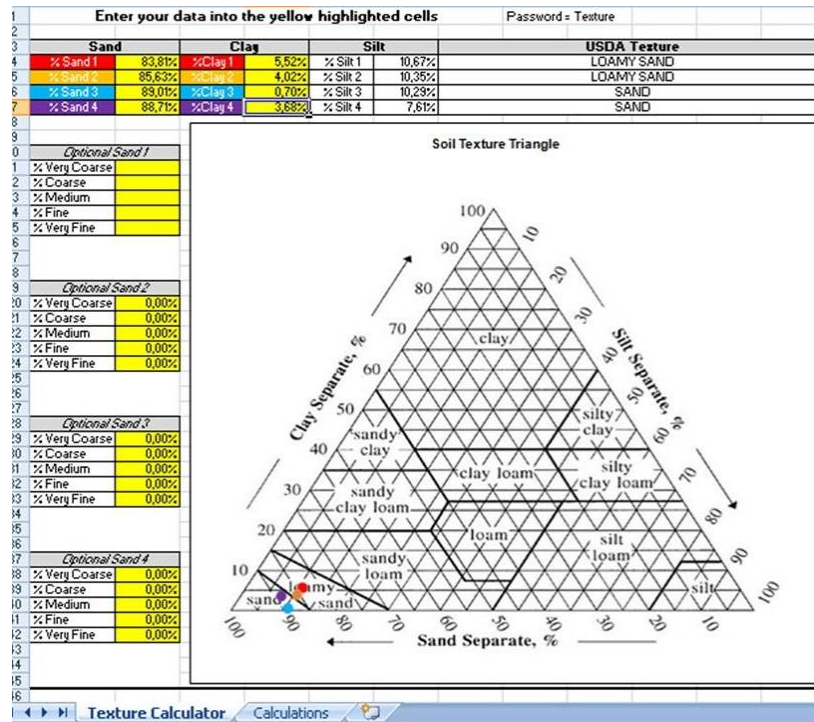


Figura 115. Classificação textural das amostras 5 a 8 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA.

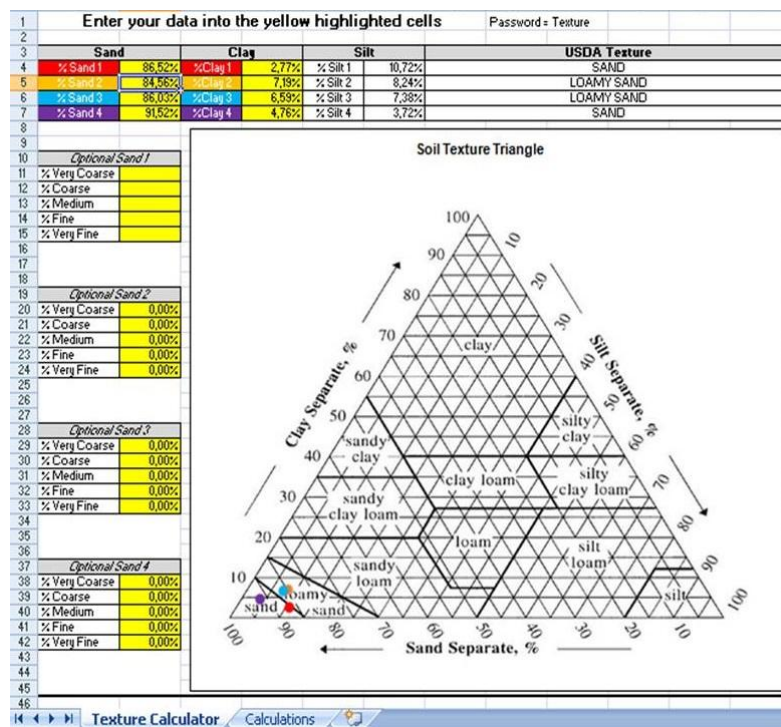


Figura 116. Classificação textural das amostras 9 a 12 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA.

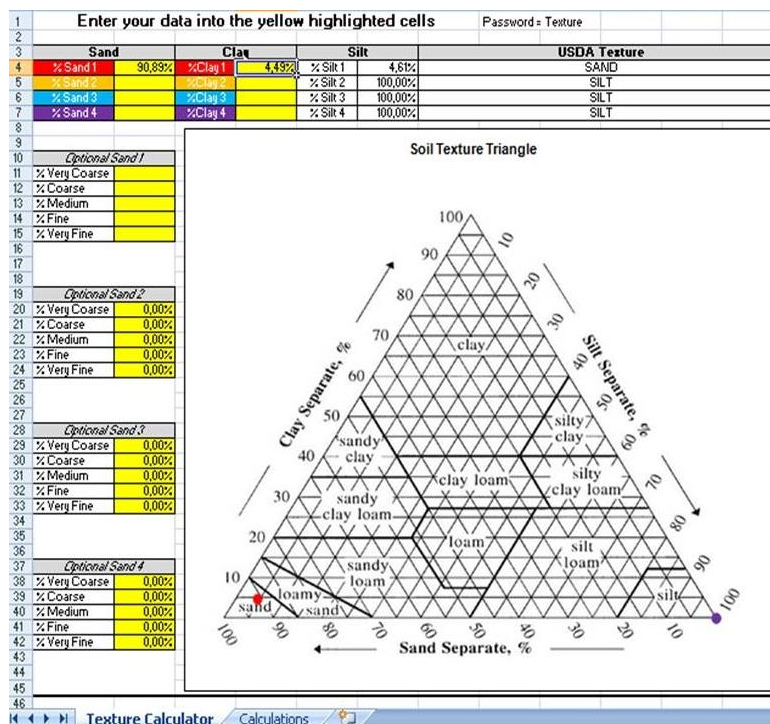


Figura 117. Classificação textural da amostra 13 a partir de programa gratuito disponibilizado no site do USDA.

Ao analisarmos as variações nos teores de silte para as 13 amostras, ao longo da propriedade, verifica-se que esta fração apresenta um comportamento em oposto ao que ocorre com a fração areia, em termos de incrementos e reduções nos valores, mas com variação similar ao íon potássio. Este fato suscitou o questionamento acerca de uma possível relação entre estes dois elementos, quanto à sua dinâmica de mobilidade no perfil do solo. Volf (2014) pesquisou sobre a forma e a disposição do potássio em solos classificados como Areias Quartzosas – RQ, pela denominação antiga do SiBCs (Neossolos Quartzarênicos pela denominação atual – EMBRAPA, 2013) na região do Araguaia. Segundo o autor, ficou evidenciada a relação direta entre os teores de silte e potássio não trocável. Ou seja, para cada aumento nos teores de silte verificados no perfil do solo correspondem incrementos nos teores do íon K^+ e vice-versa, o que se assemelha ao verificado neste trabalho. Nas atividades em campo foi possível averiguar a ocorrência de manchas de solo exposto e vegetação rarefeita exatamente nos pontos em que os teores de potássio se apresentaram inferiores. Pode-se inferir, dessa forma, que a presença de variações na superfície do solo capazes de direcionar e promover a concentração da água precipitada sobre determinados pontos do relevo, o teor de silte no perfil do solo e a natureza da rocha matriz influenciam quanto ao enriquecimento e mobilidade do potássio em substratos areno-quartzosos. Este fato pode ser

preponderante não somente no estímulo ao desenvolvimento de cobertura vegetal, quanto ao próprio potencial de resiliência destes solos arenosos com ocorrência do processo de arenização, localizados na fronteira sudoeste do RS.

Para as análises de substrato realizadas no Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia – UFRGS foram avaliados os seguintes parâmetros: acidez ativa (pH), condutividade elétrica (CE), densidade úmida (DU), densidade seca (DS), umidade atual (UA), porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT), água remanescente (AR), e capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água (CRA - 10; 50; 100). As três (3) amostras utilizadas para a análise de substrato (MI-A, MI-B e MI-C) foram compostas cada uma por grupos de quatro (4) amostras de solo, sendo: MI-A = amostras de solo 1 a 4; MI-B = amostras de solo 5 a 8; MI-C = amostras de solo 9 a 12. A amostra de solo MI-13 foi descartada para a análise de substrato por ter sido coletada na base do talude fluvial e, não, a 20 cm de profundidade. Foram realizadas três repetições para cada amostra e o resultado de cada variável definido a partir de uma média dos valores obtidos nas repetições – Tabela 2.

Tabela 2. Resultado das análises - Laboratório de Substrato (FAGRO/UFRGS).

Variável	Unidade/Meio	Amostra MI-A	Amostra MI-B	Amostra MI-C
pH	H ₂ O	5,12	5,16	4,98
CE	mS cm ⁻¹	0,03	0,02	0,01
DU	Kg m ⁻³	1504,37	1540,69	1580,96
DS	Kg m ⁻³	1497,11	1529,96	1572,40
UA	%	0,48	0,70	0,54
PT	%	51,80	48,63	47,02
EA	%	7,04	5,44	5,76
AFD	%	19,44	23,50	19,12
AT	%	10,32	9,57	12,01
AR	%	15,01	10,13	10,13
CRA (10)	%	44,76	43,20	41,27
CRA (50)	%	25,33	19,70	22,14
CRA (100)	%	15,01	10,13	10,13

Fonte: adaptação - Anexo E.

Conforme os resultados acima se verificam que os valores apresentados nas análises para a determinação das densidades úmida e seca apresentam incrementos

crecentes, do terço inicial da propriedade ao terço mais distal, em consonância à redução nos valores de porosidade total e espaço aéreo, obtidos para os mesmos setores – Figura 118. O impacto direto deste aumento de densidade do solo e redução no espaço aéreo é verificado por meio da disponibilidade e a capacidade de retenção água na matriz do solo, cujo comportamento é o inverso das variáveis mencionadas acima – Figura 119, exceto para as variáveis AFD e AR para a amostra MI-B. Este fato deve estar relacionado, possivelmente, a um maior valor de umidade (UA) em relação às outras duas amostras compostas e à posição no terreno, já que a amostra MI-B corresponde à porção mediana da propriedade rural, *meio intergrade*, apresentando um relevo mais plano em relação às amostras MI-A e MI-C.

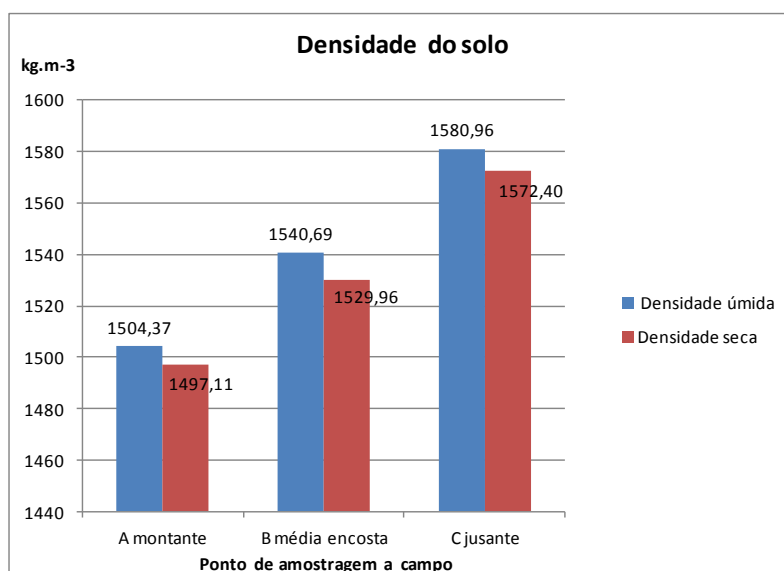


Figura 118. Gráfico representando o aumento nos valores das densidades úmida e seca, de montante para jusante. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

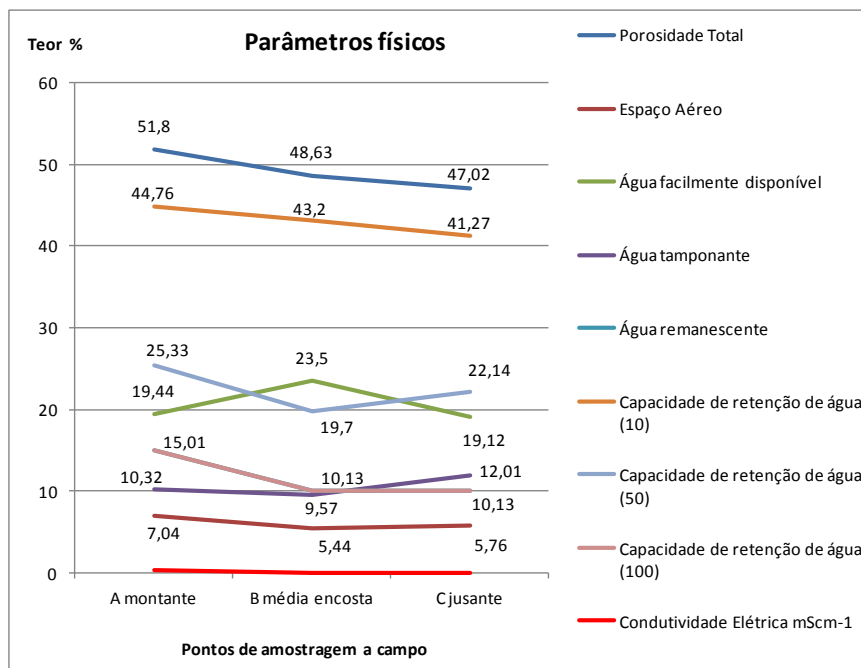


Figura 119. Gráfico com a discriminação das variáveis analisadas no laboratório de substrato – FAGRO/UFRGS, com os respectivos valores para as amostras A, B e C. **Elaboração:** C.L. Vieira (Janeiro, 2016).

Em relação ao demonstrado nas análises do CECO/UFRGS, o aumento das densidades pode ser atribuído a um acréscimo na fração granulométrica areia média, sendo obtido um valor médio de 34,85 % para a amostra MI-A; 38,68 % para a amostra MI-B e 35,25% para a amostra MI-C. Da mesma forma, verifica-se que ocorre uma queda brusca nos valores de argila para as amostras coletadas no *meio intergrade*, pontos sete (7), oito (8) e nove (9), atingindo com 0,7039 %; 3,6835 % e 2,0751 %, respectivamente. Já para os pontos de coleta 10, 11 e 12, componentes da amostra MI-C, meio fortemente instável, há um acréscimo nos teores de argila, alcançando 7,1946 %; 6,5917 % e 4,7618 %, respectivamente. Este incremento de argila pode ter influenciado o aumento nos valores de AFD e AT para a amostra MI-C em relação à amostra MI-B, concomitante ao aumento no percentual de espaço aéreo verificado para o mesmo setor. As partículas de argila possuem maior área superficial específica (ASE) em relação aos grãos de areia, além de cargas elétricas livres em superfície, promovendo a ocorrência de ligações químicas entre as partículas minerais e as moléculas de água, assim como a mais forte retenção de umidade nos poros de menor diâmetro.

Partindo-se de uma perspectiva crítica para a qual o teor de macronutrientes presentes no solo viesse a se confirmar como um filtro ecológico, reduzindo o potencial

de resiliência e o estabelecimento da cobertura vegetal nativa, procedeu-se à interpretação dos laudos emitidos para as análises realizadas no laboratório de solos da FAGRO/UFRGS, tendo como base técnica o Manual de Adubação e Calagem para SC e o RS (2004).

O calcário agrícola, carbonato de cálcio, é utilizado no cultivo vegetal com a função de promover a correção da acidez do solo e o aumento da fertilidade natural, podendo ser calcítico ou dolomítico, com as fórmulas químicas $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, respectivamente. No caso do calcário dolomítico, além da redução na acidez há ainda a liberação do íon magnésio (Mg) para a nutrição das plantas, caso haja a carência deste elemento no solo e a necessidade para o adequado desenvolvimento do cultivo vegetal em questão. Após a aplicação no terreno o produto age por meio da liberação de hidroxilas OH^- na solução do solo, promovendo a neutralização dos íons H^+ e a consequente disponibilização de cátions trocáveis à absorção pelo sistema radicular das plantas. O cálculo utilizado para a determinação da necessidade de aplicação de calcário agrícola ou calagem (NC) teve como base o método por saturação de bases, sendo aplicada a fórmula mais adequada aos solos arenosos:

$$1. \text{NC (ton/hect)} = T (Ve - Va) \div 100, \text{ onde:}$$

NC: necessidade de calagem, em toneladas por hectare;

T: CTC a pH 7, em cmolc/dm^3 ;

Ve: saturação por bases desejada ou esperada, em %;

Va: saturação atual do solo, em %.

De acordo com estes critérios, obtiveram-se os seguintes valores de NC (ton/hect) para as 13 amostras analisadas: MI-1 = 1,38; MI-2 = 1,67; MI-3 = 0,12; MI-4 = 0,67; MI-5 = 0,09; MI-6 = 0,24; MI-7 = 0,75; MI-8 = 0,73; MI-9 = 0,85; MI-10 = 0,85; MI-11 = 0,67; MI-12 = 0,51 e MI-13 = 0,99.

Todos os pontos demonstraram haver a condição de acidez no solo, conforme os dados das análises expostos anteriormente. Chama a atenção, no entanto, o fato de que as maiores demandas para a aplicação de calcário são referentes aos pontos de coleta um (1) e dois (2), localizadas na porção inicial, a montante da propriedade, *meio estável*. Como havia a presença de formigueiro na amostra MI-1 e o gado acessava frequentemente o ponto MI-2, pode-se sugerir que os excrementos e os exsudados destes animais tenham influenciado os teores de acidez nas mesmas.

Para os pontos três (3), cinco (5) e seis (6) os níveis presentes nas amostras indicam não haver a necessidade de correção da acidez em profundidade pela adição de gesso, considerando-se uma camada de 0 a 40 cm de profundidade e de acordo com a fórmula:

$$2. NG (\text{ton/hect}) = 0,30 \times NC, \text{ onde:}$$

NG: necessidade de aplicação de gesso, em toneladas por hectare;

NC: necessidade de calagem definida previamente, em toneladas por hectare.

Para os outros pontos de coleta, os valores obtidos para a aplicação de gesso (ton/hect) foram: MI-1 = 0,69; MI-2 = 0,63; MI-4 = 0,45; MI-5 = 0,57; MI-8 = 0,54; MI-9 = 0,60; MI-10 = 0,72; MI-11 = 0,84; MI-12 = 0,57; MI-13 = 0,72.

Quadro 4. Diagnóstico obtido para as 13 amostras, com base nos laudos de análises de solo. Determinação dos níveis de acidez (pH), teor de macronutrientes, CTC e percentual de material orgânica (MO).

Amostra	Argila %	pH H ₂ O	P mg/dm ³	K mg/dm ³	MO %	Ca troc cmol _e /dm ³	Mg troc cmol _e /dm ³	CTC cmol _e /dm ³	% SAT da CTC	
									Bases	Al
1	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
2	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Média	Muito baixo	Alto
3	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Baixo
4	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
5	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixa	Muito baixo	Médio
6	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
7	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
8	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
9	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
10	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
11	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
12	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto
13	Classe 4	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Muito baixo	Alto

Elaboração: C.L. Vieira (Maio, 2016).

Para o cálculo da estimativa de perda do solo por erosão hídrica considerou-se somente o ponto 12, localizado sobre área plana, com presença de um núcleo de erosão, onde foi instalada a área experimental I (AE-1) e utilizada a Equação Universal de perda dos Solos, USLE. A escolha pela recorte espacial em específico se deve em função de a USLE não ser adequada para áreas com processos erosivos avançados e pelo fato de o meio estável apresentar solo coberto pela vegetação nativa. Desta forma, objetivou-se aplicar o cálculo em um cenário com superfície plana, solo descoberto e sem a ocorrência de ravinas e voçorocas. Para a determinação do fator K utilizou-se o valor para a maior precipitação de chuva acumulada em um intervalo consecutivo de seis horas, verificado no dia em que foi implantada a AE-I (03/05/2015), $P = 9$ mm, conforme o material de referência mencionado no Capítulo 4.

3. A (ton/hect/ano) = $R \times K \times LS \times C \times P$, onde:

A: perda anual de solo (ton/hect/ano);

R: fator de precipitação e run-off;

K: fator de erodibilidade do solo;

LS: fator topográfico, em (m/m);

C: fator de manejo das culturas;

P: fator de práticas de manejo do solo.

O valor obtido, para este local de coleta e evento pontual de precipitação de chuva foi de 86,75 toneladas de solo por hectare, ao ano. Vale ressaltar a crítica que esta equação suscita como método para a estimativa de erosão em propriedades rurais que apresentam diferentes situações e dinâmicas superficiais. Ao se considerar o comprimento de rampa (L) e não uma área em específico há uma homogeneização das condições na superfície. Da mesma forma, adotar a maior precipitação consecutiva para um intervalo de seis horas não reflete, obrigatoriamente, o pior cenário, pois que o comportamento hidrológico é bastante irregular, como demonstrado no Capítulo 4.

Como dito anteriormente, não foi possível instalar parcelas de erosão ou qualquer outro método que exigisse monitoramentos constantes a cada evento de chuva na propriedade, dada a distância da mesma à UFRGS - Porto Alegre/RS, ao fato de não haver morador fixo permanente, além do constante trânsito animal pela área. Dessa forma, optou-se por parcelas abertas para um estimativa da perda de solo em cada área experimental, *meio fortemente instável*. Os dados obtidos nas aferições serão detalhados nos itens finais deste capítulo.

6.1.3 Vegetação nativa

A cobertura do solo na maior parte da propriedade rural é composta predominantemente por espécies vegetais nativas de hábito rasteiro, sendo rarefeita em alguns setores do *meio intergrade* e majoritariamente escassa no *meio fortemente instável*, caracterizado pela ocorrência de solo exposto, ravinas e núcleos de arenização. Em relação ao Plano Nacional de Conservação da Vegetação Nativa, conhecido como o Novo Código Florestal - Lei nº 12.651/12, a propriedade se encontra irregular quanto às Áreas de Preservação Permanente (APPs), adjacentes à margem do curso de água. A promulgação desta lei em 2012 e a subsequente obrigatoriedade de regularização em um prazo inicial definido para dois anos após a sua aprovação gerou grandes debates e controvérsias no estado do Rio Grande do Sul, já que as margens de cursos de água localizados no Bioma Pampa comumente apresentam formações campestres como vegetação nativa predominante. Outro ponto conflitante está relacionado à uma oferta inexistente de sementes e mudas de espécies florestais nativas dos Campos Sulinos que pudessem suprir a demanda gerada pela Lei nº 12.651 de 2012. Como ferramenta para auxiliar na regularização ambiental das propriedades rurais foi instituído o Cadastro Ambiental Rural pelo MMA e Ministério da Agricultura, sendo criado um *software* específico capaz de armazenar dados de registro do imóvel rural, delimitação, georreferenciamento e detalhamento das áreas de uso, servidão, benfeitorias, APP e Reserva Legal.

Com a finalidade de auxiliar a produtora rural na regularização de sua propriedade e gerar um produto visual que demonstrasse a situação local frente às exigências legais foi proposto de forma voluntária a realização do CAR, finalizado em maio de 2016 – Figura 120. Esta demanda foi gerada a partir de questionamentos sobre o potencial de resiliência e a viabilidade em se restabelecer uma cobertura vegetal no *meio fortemente instável*, a fim de se estabilizar os processos erosivos ativos.

Ou seja, a partir do produto gerado pelo CAR foi delineado o cenário quanto à existência ou não de passivos ambientais em relação à legislação vigente. Este material enriqueceu os debates acerca de uma real capacidade para intervenções técnicas na propriedade, de modo a estimular o resgate de funções ecossistêmicas, solucionar os problemas de erosão e arenização e permitir que a produtora rural se mantivesse em uma situação viável de sobrevivência por meio das atividades agropecuárias.

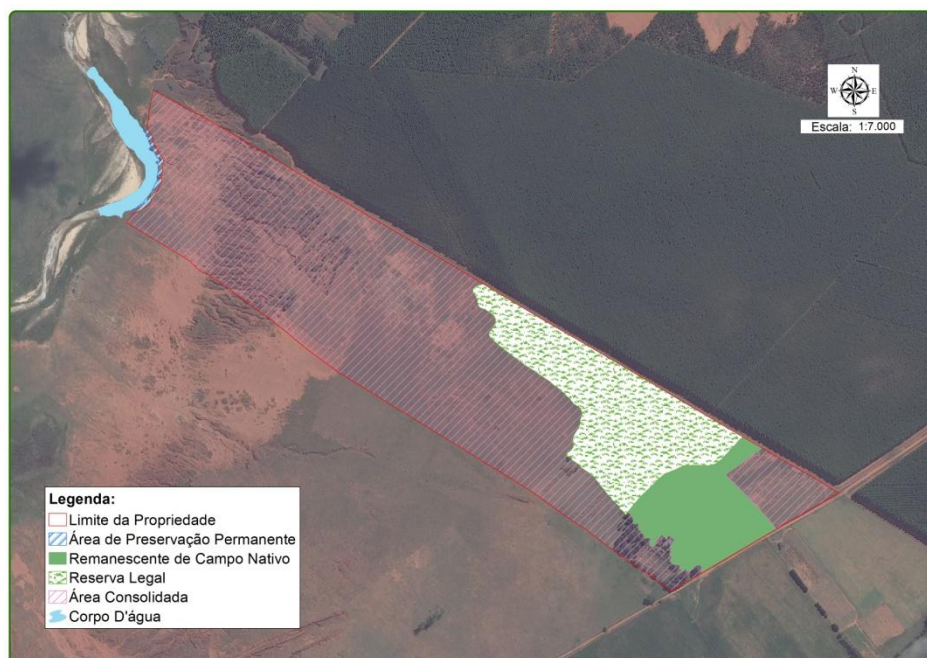


Figura 120. Produto visual gerado em programa específico para o registro do Cadastro Ambiental Rural no Brasil. **Elaboração:** A.G. Goulart e C.L. Vieira (Abril-Maio, 2016).

A área consolidada, conforme orientações fornecidas pelo próprio programa desenvolvido para o preenchimento do CAR, foi determinada incluindo aquelas porções do terreno ocupadas por benfeitorias, pomar doméstico e utilizadas pelos animais para pastoreio. A reserva legal (RL), compondo 20% do total da propriedade, foi determinada para o perímetro que apresentava campo nativo preservado, com a total cobertura do solo pela vegetação nativa, *meio estável e intergrade*.

A partir da análise visual em campo e do memorial fotográfico foi possível verificar a diversidade da cobertura vegetal do solo, predominantemente de porte baixo, com diversas espécies nativas típicas dos campos com arenização do sudoeste do RS, já relacionadas por Freitas (2006; 2009), Boldrini *et al.* (2010), Vieira e Verdum (2011), Vieira (2012), Vieira *et al.* (2015), para o município de São Francisco de Assis. As principais famílias botânicas identificadas com base neste referencial teórico foram: Poaceae, Portulacaceae, Amaranthaceae, Asteraceae, Cactaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Myrtaceae e Oxalidaceae. A maior densidade e diversidade de indivíduos foi verificada no terço inicial da propriedade, *meio estável*. A porção inicial do *meio intergrade* ainda apresentava boa cobertura vegetal e diversidade de espécies, tornando-se rarefeita à medida em que se aproximava do perímetro erosivo. Neste ponto já se comprovava em campo o predomínio de maciços isolados formados por espécies

características dos campos com areais, como a mirtácea de porte anão pitanga-do-campo (*Eugenia pitanga* (O. Berg) Kiaersk.) e touceiras da gramínia capim-limão (*Elionurus* sp.). No *meio fortemente instável* foi registrada a presença de uma touceira do bambu nativo *Bambusa taquara* sobre o topo do talude de uma ravina, algumas touceiras esparsas de capim-limão e, de modo mais significativo, alguns indivíduos e pequenos maciços de *Eugenia pitanga* na área experimental II (AE-II).

Importante salientar o comportamento sazonal da vegetação, com alterações na cobertura do solo em função de haver uma influência estacional bem definida. Foi constatada em campo a predominância periódica e alternada de espécies de ciclo estival e hibernal, promovendo claras modificações na estrutura vertical, densidade de cobertura e diversidade florística observadas em cada estação do ano – Figuras 121 a 124.



Figura 121. Vista do campo sentido sul-norte, *meio intergrade*, verão de 2015. Monocultivo arbóreo de Eucalipto (*Eucalyptus* sp.) da empresa Stora Enso, limite norte com a propriedade rural. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 122. Vista geral do campo, sentido norte-sul, *meio fortemente instável*, início do outono. A cobertura vegetal rasteira de coloração verde-claro em primeiro plano deve-se à gramínea Braquiária (*Brachiaria* sp.), de hábito estolonífero, semeada pela produtora rural. **Foto:** C.L. Vieira (Março de 2016).



Figura 123. Imagem geral do campo nativo, sentido jusante-montante, oeste-leste, em ano de inverno bastante rigoroso, com predominância de temperaturas muito baixas e ocorrência de geadas. À esquerda monocultivo de eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **Foto:** C.L. Vieira (Julho, 2016).



Figura 124. Vista do campo, sentido jusante-montante, oeste-leste, início do perímetro erosivo, estação da primavera. A vegetação que se percebe em primeiro plano são tufos de mirtácea-anã. **Foto:** C.L. Vieira (Outubro, 2016).

A quase totalidade das espécies componentes do campo nativo possuem sistema radicular, fasciculado ou pivotante, ocupando os primeiros 20 a 30 cm de solo, com exceção da mirtácea anã. Esta espécie ocupa tanto áreas superficiais geralmente na forma de maciços densos, sendo encontrada tanto em campo aberto quanto no entorno de áreas com processo de erosão hídrica, como a área experimental II. Sua estrutura aérea, ramos e folhas, não apresentou mais do que 50 cm em campo. De modo contrário, o sistema radicular se mostrava bastante vigoroso e até mesmo desproporcional à parte aérea, com raízes espessas e profundas, freatófitas, formando uma rede enovelada sobre a superfície do solo – Figura 125. Esta arquitetura de raiz é indicativa de uma estratégia desenvolvida pela planta em adaptação a um ambiente com baixa retenção de água, solo pobre em fertilidade e matéria orgânica, dificuldade de fixação em um substrato arenoso e inconsolidado. A espécie se adaptou de modo a não investir muita energia para o desenvolvimento da parte aérea, reduzindo as perdas de água por evapotranspiração e o estresse hídrico.



Figura 125. Maciço de mirtácea anã (*Eugenia pitanga*), nativa dos campos com arenização, desenvolvido sobre área com ocorrência de ravinas, *meio fortemente instável*. Detalhe de robusto sistema radicular e da parte aérea. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

A identificação das espécies nativas predominantes em cada setor da propriedade, observação quanto ao seu desenvolvimento em campo e a verificação de suas estratégias adaptativas essenciais se torna de suma relevância para o delineamento de propostas técnicas que tenham como base o uso de vegetação para as formações campestres desta região, assim como para o fomento a uma rede voltada à coleta de sementes e à produção de mudas nativas, ainda inexistente para o Bioma Pampa.

Enquanto não houver uma política voltada ao conhecimento, seleção e produção de espécies nativas campestres, arbustivas e florestais para o Bioma Pampa, terão prosseguimento as recomendações técnicas e os financiamentos agrícolas que condicionam incentivos ao plantio de espécies exóticas para o estabelecimento da cobertura vegetal nesta região, como a Braquiária e o Eucalipto.

Na década de 70, por exemplo, foram elaboradas as primeiras recomendações técnicas para os campos com arenização no município de Alegrete, RS, estimulando o plantio de espécies exóticas provenientes da África e de grande potencial invasor, como o capim-anoni (*Eragrostis plana*), referenciado na publicação como *Eragrostis abssinica*. Àquela época, esta espécie era considerada um exemplo de espécie adequada ao uso em práticas conservacionistas (CORDEIRO e SOARES, 1977, p.104, p.106). O capim-anonni, no entanto, passou a ser considerado uma ‘praga’ no estado do Rio Grande do Sul, sendo uma espécie altamente invasora e de difícil controle e erradicação, uma vez introduzida em uma área com vegetação nativa, com um banco de sementes

capaz de se manter viável no solo por mais de 20 anos. Outras espécies de gramíneas foram frequentemente citadas pelos autores como de interesse para implantação sobre os campos acometidos pelo processo de arenização, como o capim-chorão (*Eragrostis curvula*) e o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), além da palmeira nativa de caule subterrâneo Butiá-anão (*Butia Lallemandtii*), denominada como butiá-do-campo (*Cocos eriospatha*) à época da publicação (CORDEIRO e SOARES, 1977, p.102, p.117, p.124).

Felizmente este cenário começa a mudar, em função de grupos de pesquisa direcionados a propor alternativas de conservação e preservação aos modelos de recuperação dos campos com arenização, como o Grupo Campos do Departamento de Ecologia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Grupo de estudo em Ecologia do Pastejo da Faculdade de Agronomia/UFRGS, a entidade transfronteiriça *Alianza del Pastizales* e os trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa sobre Restauração Ecológica do Bioma Pampa do Departamento de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria.

O Decreto estadual nº 42.099, publicado em 01 de janeiro de 2003 relaciona a lista final de espécies da flora ameaçada no RS, conhecida como Lista Vermelha, onde constam várias exemplares endêmicos e/ou relacionados com ocorrência na região dos areais de acordo com a relação realizada por Freitas (2010, p.115 a 119), tais como: *Alternanthera Hirtula* (Amaranthaceae), *Alternanthera praelonga* (Amaranthaceae), *Gomphrena graminea* (Amaranthaceae), *Pfaffia gnaphaloides* (Amaranthaceae), *Butia lallemandtii* (Arecaceae), *Calea clematidea* (Asteraceae), *Eupatorium angusticeps* (Asteraceae), *Gochnatia cordata* (Asteraceae), *Dickya vicentensis* (Bromeliaceae) e *Hochreutinera hasslerana* (Malvaceae).

Silva *et al.* (2010, p.7), propõem a conservação de espécies ameaçadas do rio Grande do Sul através de seu uso no paisagismo, mencionando, dentre os indivíduos selecionados, a espécie cambarazinho-de-rambo (*Gognatia ramboi* Cabrera), de ocorrência nos Biomas Mata Atlântica e Pampa. Os autores propõem que sejam formuladas estratégias de conservação das espécies categorizadas como Criticamente em Perigo na Lista Vermelha de espécies da flora do RS ameaçadas de extinção, por meio de sua conservação não somente em Unidades de Conservação, mas também *ex-situ*, havendo o seu emprego, inclusive, em áreas urbanas.

Rovedder (2007) propõe como alternativa para a recuperação dos campos arenizados do Bioma Pampa a semeadura de uma leguminosa nativa *Lupinus albescens*

(Fabaceae), tremçoço, como estratégia inicial para a melhoria da fertilidade do solo pelo aporte de nitrogênio e uma rápida cobertura do solo, gerando um ambiente favorável ao estabelecimento de outras espécies, em consórcio ou rotação de cultivo.

Na última atividade de campo, realizada em outubro de 2016, foram avistados diversos indivíduos de *Lupinus albus* ao longo do caminho para a Vila Kramer e em áreas bastante próximas à propriedade em estudo, o que levantou o questionamento sobre o porquê de sua não ocorrência na propriedade rural e uma possível inserção da mesma em propostas que venham a ser elaboradas para o estabelecimento de cobertura vegetal no local.

A proposição do emprego de sementes arbóreas nativas para a recuperação de áreas no Bioma Pampa por meio de plantio direto e ‘muvuca’ de sementes é descrita no trabalho de Schosler *et al.* (2013), sendo utilizadas espécies como o espinilho (*Acacia caven*), a Murta (*Blepharocalyx salicifolios*), pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*), açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), corticeira-do-banhado (*Erythrina cristagalli*), guabiju (*Myrcianthes pungens*), exemplares típicos dos campos da Campanha Gaúcha, e já relacionadas pelo Padre naturalista Balduino Rambo, em seu diário de viagens ao sudoeste do RS, realizadas entre os anos de 1941 e 1945 (RAMBO, 2014).

Para o contexto deste trabalho, no entanto, verificamos que a ocorrência significativa de *Eugenia pitanga* tanto no meio *intergrade* quanto no meio *fortemente instável* a torna uma espécie estratégica para estudos que contribuam para uma definição de protocolos de coleta de sementes e produção de mudas para o plantio em áreas com arenização.

6.1.4 Capim Vetiver em talude de ravina

O emprego do capim Vetiver fundamenta-se na importância em que gramínea tem assumido nos mais diferentes países do mundo, com formas de utilização que abrangem desde o uso para benefício individual à sua exploração comercial. Truong *et al.* (2008a; 2008b) listam uma série de aplicações para o Vetiver. De acordo com os autores, esta gramínea possui centro de origem no continente indiano e não apresenta comportamento invasor, pois as sementes são estéreis e a única forma de propagação é por meio da divisão de mudas, não ocorrendo o desenvolvimento de estolões ou rizomas. Quanto ao uso, todas as partes da planta podem ser aproveitadas, desde o

sistema radicular às folhas. Em relação às folhas, destacam-se: confecção de peças de artesanato, construção de coberturas para moradias, complemento no material produzido para a confecção de tijolos de adobe e paredes de pau-a-pique, uso medicinal, dentre outros. O sistema radicular apresenta possibilidades de uso ainda mais interessantes, como: extração de óleo essencial destinado à perfumaria e o emprego na recuperação de áreas degradadas por meio do Sistema Vetiver (*Vetiver System* – VS). Seu profundo e robusto sistema radicular possui a resistência de 1/6 do aço doce, podendo atingir até 5 metros de profundidade. Com ênfase nas propriedades das raízes, o Vetiver é geralmente utilizado de forma direta para o controle de processos erosivos, fitorremediação de solo e corpos de água contaminados, na estabilidade de encostas e taludes rodoviários, recuperação de ravinas e voçorocas, fixação de dunas em áreas costeiras, dentre outras aplicações, sendo frequentemente associado em obras de Bioengenharia de Solos (TRUONG *et al.* 2008a; 2008b).

De forma complementar, as folhas jovens do capim Vetiver podem ser utilizadas na alimentação animal, chegando a apresentar boa palatabilidade e altos teores de proteína bruta (PB), segundo Truong *et al.* (2008a; 2008b).

No Brasil, o capim Vetiver tem sido utilizado, nas últimas décadas, em projetos destinados à recuperação de áreas degradadas. Introduzido durante o período colonial, o gênero tem sido cultivado principalmente na região nordeste, com destinação para a produção de óleos essenciais, sendo o país o maior exportador mundial do produto (PEREIRA *et al.*, 2006).

As mudas de capim Vetiver utilizadas no talude da ravina foram enviadas de Itaipava/RJ à cidade de Porto Alegre/RS, onde foram implantadas em um local temporário, por um período de um ano, a fim de promover a adaptação das plantas às condições climáticas do extremo sul do Brasil. No dia anterior ao seu transporte para o local de plantio definitivo, o município de São Francisco de Assis, as touceiras foram removidas no período do final da tarde, com o auxílio de pá de corte. A retirada das plantas não demandou muito esforço físico, pois o sistema radicular não apresentou grande desenvolvimento em profundidade. O fato pode estar relacionado ao local de plantio apresentar um substrato composto em grande parte por material de aterro, o que gera impedimento físico ao desenvolvimento das raízes.

Após a remoção das touceiras estas foram lavadas para a remoção do solo retido nas raízes, passando posteriormente pelo processo de poda das mesmas e das folhas, deixando estas a uma altura de 30 cm. Trinta mudas foram individualizadas para o

plantio em campo. Feixes de mudas foram reunidos e as raízes envoltas em jornal umedecido, como preparativo para o transporte ao município de São Francisco de Assis, realizado no dia posterior à sua remoção em Porto Alegre - Figura 126.



Figura 126. A - Composição de fotos com detalhes de touceiras retiradas do substrato; B - Mudanças lavadas e raízes imersas em baldes com água; C - Mudanças individualizadas após a poda de raízes e folhas; D - Detalhe de pedriscos (fragmentos de granito), retirados do meio de alguns 'emaranhados' de raízes.

Fotos: C.L. Vieira (Junho, 2014).

Uma constatação interessante foi o comportamento de biotactismo positivo, ou seja, o crescimento lateral tanto de raízes quanto de folhas de mudas posicionadas de modo adjacente, provocando uma interseção entre as mesmas. A rede formada pela ligação entre os prolongamentos de raízes tornou difícil, inclusive, a separação entre as touceiras e a produção de mudas individuais. Outra observação de suma relevância foi a retenção de material de grande granulometria pelas raízes, ratificando a capacidade de utilização desta espécie para o controle de processos erosivos e a estabilização de sedimentos. Em adição a estas considerações foram observados animais colonizando as touceiras, localizados entre as folhas e as raízes, como anelídeos (minhocas), moluscos (caracóis-de-jardim), aracnídeos (aranha-de-jardim) e exemplares da ordem Collembola (tatu-bola) – Figura 127. Este fato sugere não haver um ambiente estéril na rizosfera e tampouco na parte aérea em função de metabólitos secundários da planta, como enzimas, resinas ou qualquer outra substância que possa configurar caráter alelopático e que determinasse o uso do Vetiver como uma ameaça à mesobiota local. Encontrar animais no interior das touceiras se torna especialmente importante, dentro da proposta

do trabalho, em se avaliar o potencial de resiliência por meio de técnicas de Restauração Ecológica, especificamente a nucleação, já que esta espécie pode vir a ser um atrativo de mesofauna, promovendo novas relações desejáveis ao resgate de funções ecossistêmicas no local de plantio do capim vetiver e, possivelmente, no seu entorno imediato.

Rovedder *et al.* (2004, p. 87) avaliaram a presença da fauna edáfica como um indicador da qualidade em um solo arenítico, no sudoeste do RS, ressaltando a importância em se avaliar critérios como diversidade e abundância, já que estes animais respondem com muita sensibilidade aos distúrbios ambientais, sejam eles naturais ou causados pela ação humana. Os autores, com referência ao trabalho de Coleman e Hendrix (2000), atribuem especial destaque aos indivíduos da ordem Collembola como indicadores biológicos do equilíbrio no ecossistema edáfico, por serem capazes de manifestar rapidamente as consequências das variações ambientais em suas populações.



Figura 127. A - Composição de fotos com detalhes do sistema radicular; B - Exemplos da mesobiota encontrada no interior das touceiras: anelídeo; C - Animal da ordem Collembola; D - Indivíduos do Filo Molusca. **Fotos:** C.L. Vieira (Junho, 2014).

As mudas de vetiver apresentaram um desenvolvimento bastante lento logo após a sua implantação no talude, realizada em junho de 2014. Houve a necessidade de fixação suplementar, passando um barbante estendido na horizontal, pela frente das plantas, com fixação nas extremidades da linha de plantio e amarração em estacas. Faz-se necessário esclarecer que não foi realizado o plantio em curva de nível no talude, procedimento ideal, em função da intensa precipitação e ameaça de descargas elétricas,

o que tornou imperativo finalizar o serviço antes do previsto. Os sulcos côncavos de plantio também ficaram aquém da profundidade ideal para a fixação das raízes devido ao mesmo argumento. No entanto, a ocorrência de chuva durante o plantio das mudas acabou por eliminar a necessidade de irrigação imediatamente ao plantio. Uma observação bastante pertinente, que já havia sido verificada por Vieira (2012), é que mesmo após longos períodos sem a ocorrência de chuva, ao penetrar a palma da mão no solo cerca de 10 cm constata-se que um significativo teor de umidade presente no sedimento. Este fato deve estar relacionado, provavelmente, à elevada demanda evaporativa da atmosfera, especialmente em períodos quentes e secos, associado ao fato de ser área de recarga do Aquífero Guarani, com um solo de textura predominantemente arenosa e espaço aéreo composto em sua maioria por poros de maior diâmetro, o que facilita o movimento ascendente da água.

A avaliação visual quanto à sobrevivência e sanidade das mudas realizada dois meses após o estabelecimento no talude, agosto de 2014, foi bastante preocupante. Todos os indivíduos apresentavam aspecto senescido, com folhas secas e amareladas.

Em novembro deste mesmo ano, final da primavera, verificou-se o surgimento de perfilhos na base das mudas e folhas jovens. O capim Vetiver, planta de metabolismo C4, responde prontamente a um aumento de radiação e aporte de água no sistema, em consonância ao constatado em campo e à respectiva estação do ano.

A porção do talude que recebeu cobertura com manta têxtil de fibra de juta e aplicação e *topsoil* de mata ciliar na base apresentou algumas brotações, com algumas plântulas sobressaindo sobre as tramas do tecido. Muitos indivíduos provenientes do *topsoil* não conseguiram ultrapassar a manta, ficando retorcidas e atrofiadas sob a mesma, vindo a senescer posteriormente. A partir desta verificação ficou evidente a importância em se escolher uma manta orgânica cujas tramas possuam maior abertura, permitindo que as plântulas consigam se expandir adequadamente, especialmente quando o banco de sementes possui espécies de folha larga, com o predomínio de dicotiledôneas – Figura 128.

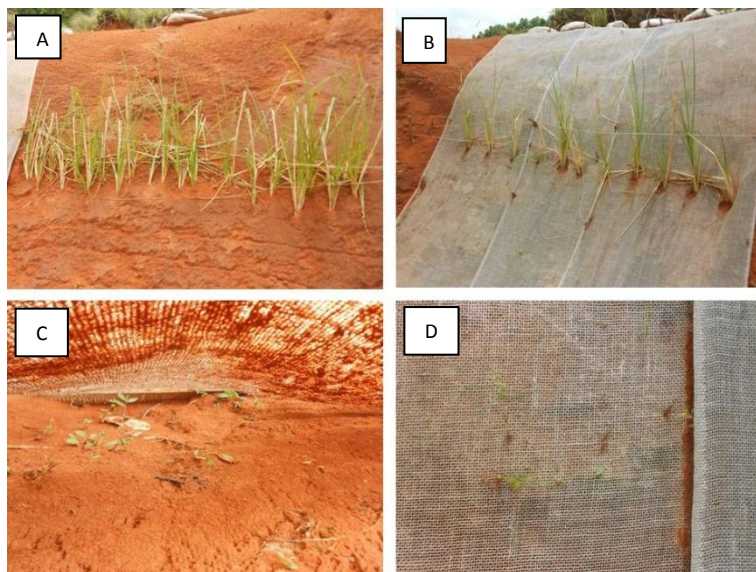


Figura 128. Vetiver em talude de ravina, cinco meses após o plantio. Em sentido horário: A. mudas diretamente sobre o talude; B. mudas com a cobertura de fibra de juta; C. plântulas atrofiadas sob a manta; D. indivíduos provenientes do *topsoil* ultrapassando as tramas do tecido. **Fotos:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).

Em maio de 2015 foi realizada nova verificação, quando da implantação da Área Experimental I, sobre o núcleo de arenização. A manta de fibra de juta já se apresentava bastante decomposta e foi removida do talude. Foi verificado que as plantas situadas no lado onde havia manta apresentaram desenvolvimento inferior, com menor comprimento de folha, redução no perfilhamento e menor diâmetro de touceira, em comparação às mudas plantadas no talude descoberto. Uma possível explicação para tal seja o fato de que a manta tenha reduzido a incidência de radiação solar sobre a coroa das mudas. Neste ponto de inserção entre o sistema radicular e foliar estão localizadas as células vegetais meristemáticas que induzem ao crescimento da parte aérea. Outra possibilidade tenha sido o bloqueio físico das tramas da manta de juta, pois ao removê-la foram visualizados perfilhos retorcidos, atrofiados e amarelados que não conseguiram ultrapassar o tecido.

Em junho de 2015, início do inverno, as mudas apresentavam aumento no comprimento das folhas, mas, entretanto, um aspecto senescido, com coloração amarelada. Este comportamento é semelhante ao verificado na propriedade do viveirista que forneceu as mudas, em Itaipava/RJ. Durante a estação do inverno, com a redução na taxa de radiação solar e queda da temperatura atmosférica, as plantas de capim Vetiver apresentam amarelecimento de todas as folhas e se parecem com mudas mortas. A estratégia da espécie para períodos de baixa temperatura e redução na radiação solar é no sentido de investir menos energia e consumo de metabólitos para o crescimento da

parte aérea, semelhante a um estágio de dormência. Segundo Truong *et al.* (2008), esta gramínea é capaz tolerar uma ampla faixa de variação de temperatura, com extremos que atingem desde -15°C até +55°C.

Em setembro de 2015 foi aplicado a lanço adubo orgânico composto por uma mistura de esterco curtido (bioestabilizado) de cavalo, esterco curtido suíno, cama de aviário e esterco bovino curtido. Para que não houvesse a perda do adubo pelo impacto direto da água da chuva, todo o talude da ravina foi novamente coberto com manta de fibra de sisal (*Agave sisalana*).

A justificativa para a aplicação de adubo orgânico se deu pelo fato de as mudas demonstrarem haver um fator de estresse ambiental limitando fortemente o seu desenvolvimento. Tendo sobrevivido às variações de temperatura, taxa de precipitação, ocorrência de geada e estiagem ocorridas entre ao longo dos 11 meses de acompanhamento (final de outono de 2014 e início do outono de 2015) a hipótese de filtro ecológico determinante recaiu, então, sobre as condições edáficas.

Após a aplicação de adubo orgânico teve início o monitoramento bimestral das touceiras, durante o período de um ano.

Em dezembro de 2015 verificou-se que as mudas, implantadas inicialmente com somente um perfilho e 30 cm de comprimento de lâmina foliar, apresentaram um número médio de 10 perfilhos por planta, chegando a 21 em uma touceira. O maior comprimento médio de folha aferido foi de 1,18 metros, chegando a atingir 1,38 m em uma touceira. O maior diâmetro médio de touceira foi de 0,33 metros, alcançando 0,60 m - Quadro 5, medido na base. Constatou-se a rápida resposta do Vetiver dois meses após a aplicação do produto sobre o Neossolo Quartzarênico, com todas as plantas apresentando um desenvolvimento bastante vigoroso – Figura 129.

Quadro 5. Dados obtidos no primeiro monitoramento do Vetiver estabelecido sobre talude de uma ravina, realizado em dezembro de 2015, dois meses após a aplicação de adubo orgânico.

Planta	Nº Perfилhos	Altura maior (m)	Diâmetro da touceira (cm)	Observações
1	5	0,9	23	
2	6	1,1	24	
3	9	0,94	25	
4	4	0,75	20	
5	24	1,25	60	
6	8	1,1	24	
7	13	1,2	39	
8	11	1,17	36	
9	10	1,15	38	
10	13	1,25	51	
11	10	1,25	34	
12	21	1,20	49	
13	11	1,17	36	
14	11	1,28	36	
15	11	1,18	40	
16	13	1,20	44	
17	11	1,17	32	
18	15	1,16	38	
19	11	1,23	36	
20	4	1,30	20	
21	9	1,30	30	Presença de aranha
22	10	1,24	30	
23	15	1,27	35	
24	7	1,10	28	
25	5	1,25	23	
26	10	1,27	30	
27	5	1,38	28	
28	6	1,13	26	
29	6	1,20	24	
30	7	1,20	30	
	Média 10	Média 1,18	Média 33	

Elaboração: C.L. Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 129. Touceiras de Vetiver sobre o talude de ravina dois meses após a aplicação de adubo orgânico, composto à base de esterco animal curtido. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

Cada perfilho pode dar origem a uma nova muda. Dessa forma, esta primeira avaliação já permitiu vislumbrar a quantidade de mudas possíveis de serem separadas das touceiras matrizes, e replicadas em campo.

Em março de 2016 as mudas apresentaram um diâmetro médio de touceira, medido a dois (2) cm da base, de 43,6 centímetros, chegando a atingir 74 cm. Houve um acréscimo de mais de 10 cm em relação ao monitoramento realizado em dezembro de 2015, com 13 plantas ultrapassando o diâmetro médio. O maior comprimento de folha registrado foi de dois (2) metros. Todas as mudas já estavam ‘encanando’, demonstrando maior lignificação, amadurecimento fisiológico e proximidade da época de florescimento, além da evidente adaptação às condições locais.

O monitoramento realizado durante o inverno apresentou acréscimo em todas as variáveis avaliadas, com um aumento médio de aproximadamente sete (7) perfilhos por planta; três (3) centímetros no valor médio aferido para o maior comprimento de folha e 14 cm de acréscimo no valor médio obtido para o diâmetro das touceiras – Quadro 6.

Quadro 6. Dados obtidos no monitoramento do Vetiver estabelecido sobre talude de uma ravina, dez meses após a aplicação de adubo orgânico.

Planta	Nº Perfilhos	Altura maior (m)	Diâmetro da touceira (cm)	Observações
1	16	0,80	37	
2	12	0,80	42	
3	20	0,90	42	
4	14	0,85	32	1 inflorescência
5	15	1,25	87	3 inflorescências
6	8	1,00	37	
7	25	1,10	56	
8	17	1,10	50	
9	33	1,20	55	
10	32	1,30	75	
11	23	1,30	45	
12	30	1,40	55	
13	17	1,40	60	1 inflorescência
14	16	1,35	50	
15	20	1,35	45	
16	20	1,30	40	
17	15	1,20	34	
18	11	1,35	34	
19	16	1,30	60	2 inflorescências
20	15	1,27	45	
21	16	1,30	40	
22	16	1,50	45	
23	25	1,40	55	1 inflorescência
24	14	1,25	40	
25	9	1,26	40	
26	10	1,25	37	
27	15	1,30	44	1 inflorescência
28	10	1,30	45	1 inflorescência
29	10	1,10	40	1 inflorescência
30	19	1,25	55	1 inflorescência
	17,3	1,21	47,4	
	média/planta	média	média	

Elaboração: C.L. Vieira (Julho, 2016).

No último monitoramento, realizado em Outubro de 2015, foi perceptível a influência das baixas temperaturas e eventos de geada ocorridos durante o rigoroso inverno de 2016. As touceiras apresentavam aspecto amarelecido nas folhas, com redução no número médio de perfilhos por planta. Houve, no entanto, aumento no maior comprimento de folha aferido, atingindo um valor máximo de 1,59 cm para a touceira 20, localizada no lado direito do talude (visada para o norte e costas para o sul), que anteriormente não fora coberto com manta de juta. Da mesma forma, houve um acréscimo de cerca de dois (2) cm no diâmetro médio das touceiras – Quadro 7.

Por meio deste teste com o capim Vetiver foi possível verificar que o ambiente possui a capacidade de dar suporte à implantação de vegetação, havendo potencial de resiliência. Sugere-se, como elemento chave para o sucesso para a introdução de

cobertura vegetal no local, a aplicação de adubo orgânico e a seleção de espécies resistentes ao estresse hídrico, solo de textura arenosa e temperaturas elevadas no verão.

Quadro 7. Último monitoramento das touceiras de capim Vetiver sobre talude de ravina, treze meses após a aplicação de adubo orgânico.

Planta	Nº Perfilhos	Altura maior (m)	Diâmetro da touceira (cm)	Observações
1	11	0,90	40	
2	10	0,90	42	muitas folhas secas
3	13	1,05	45	em todas as touceiras
4	8	1,00	35	
5	30	1,20	90	
6	9	1,15	37	
7	14	1,25	70	
8	14	1,20	55	
9	15	1,20	54	
10	16	1,30	75	
11	10	1,30	50	
12	18	1,35	60	
13	15	1,46	48	
14	10	1,47	43	
15	12	1,50	45	
16	15	1,53	47	
17	15	1,49	35	
18	22	1,45	65	
19	11	1,44	50	
20	8	1,49	45	
21	11	1,55	60	
22	7	1,59	43	
23	7	1,25	40	
24	8	1,40	40	
25	10	1,43	43	
26	10	1,48	43	
27	9	1,52	43	
28	7	1,46	46	
29	6	1,55	50	
30	4	1,34	50	
	11,83	1,34	49,63	
	média/planta	média	média	

Elaboração: C.L. Vieira (Outubro, 2016).

6.1.5 Processos avançados de erosão hídrica

Processos de erosão hídrica laminar e em sulcos começam a aparecer no *meio intergrade* próximo ao ponto médio da propriedade, considerando a sua extensão longitudinal. Núcleos de arenização e pequenas ravinas tem início neste setor, com prolongamento e agravamento na medida em que se aproximam do curso de água, *meio fortemente instável*.

O setor de ravinas apresenta maior área mobilizada junto ao limite norte, adjacente ao plantio monocultivo de eucalipto. Em diálogo com a produtora rural, esta afirmou não ter percebido agravamentos nos processos erosivos em função do estabelecimento do cultivo arbóreo. Foi ressaltado pela mesma o efeito benéfico de quebra-vento proporcionado pelas árvores, eliminando a ocorrência de tempestades de areia, bastante frequentes anteriormente ao plantio florestal, de acordo com o seu depoimento. Sobre parte deste setor foi instalada a Área Experimental II. As ravinas se apresentam desconectadas da rede de drenagem e mais estáveis em sua dinâmica erosiva, em relação ao setor mais próximo ao curso de água – Figuras 130 e 131.



Figura 130. Setor com ravinas desconectadas da rede de drenagem sobre o qual foi instalada a AE-II.
Foto: C.L. Vieira (Março, 2016).

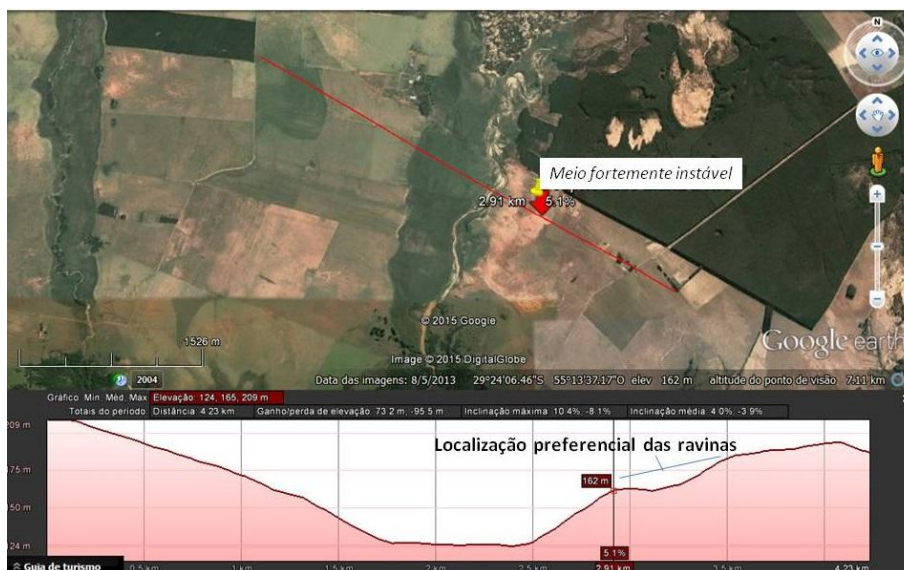


Figura 131. Imagem com a localização das ravinas de maior profundidade em relação ao perfil longitudinal obtido com o uso do Google Earth. **Elaboração:** C.L. Vieira (Junho, 2015).

Uma hipótese levantada a partir da análise em campo comparativamente às imagens do Google Earth, cartas topográficas e análises sedimentométricas seria a de que os depósitos mais recentes estariam localizados a montante da propriedade, meio estável. Depósitos de colúvio estariam localizados nos meios *intergrade* e *fortemente instável*. A jusante estariam depositados os sedimentos aluviais, formando assim três compartimentos diferenciados, em relação à sua gênese, tempo e processo de deposição – Figura 132.

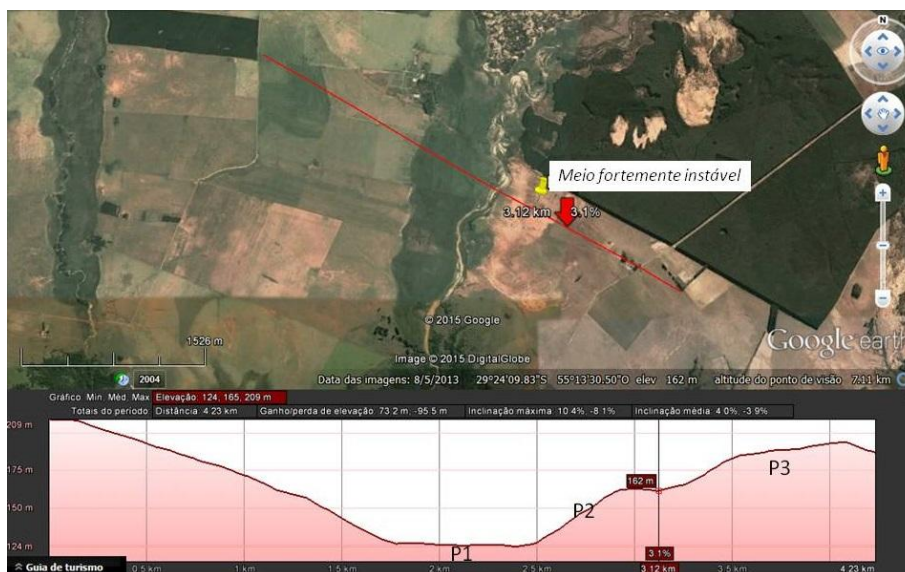


Figura 132. Perfil longitudinal com a localização hipotética de diferentes compartimentos. P1: depósito aluvial; P2: depósito de colúvio; P3: depósitos eólicos mais recentes. Imagem Google Earth. **Elaboração:** C.L. Vieira (Junho, 2015).

Moura *et al.* (1997, p. 4) a partir de uma proposta metodológica que considera a elaboração de um mapa de dinâmica de erosão em bacias de drenagem realizaram a individualização de áreas mais propensas ao mecanismo da retomada erosiva por voçorocas conectadas no médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP), caracterizando estas áreas como zonas de maior instabilidade ambiental, mais propensas à perda de terras agricultáveis e ao assoreamento dos corpos líquidos. De acordo com os autores, a partir do reconhecimento de feições deposicionais quaternárias associadas ao entulhamento de eixos de drenagem se torna possível detectar diferentes ambientes dinâmicos de erosão, cabeceiras e/ou sub-bacias mais suscetíveis ao desencadeamento de processos erosivos remontantes.

No setor mais próximo ao curso de água, quadrante sudoeste, estão localizadas as ravinas conectadas à rede de drenagem, de intensa atividade e dinâmica erosiva e dispostas transversalmente ao curso de água. A rápida evolução em profundidade e extensão dos sulcos em superfície era claramente percebida em cada atividade de campo, com evolução remontante e avanço em escala de metros, em relação às observações anteriores. Quando o nível da lâmina de água na Sanga do Rolador estava elevado o curso de água apresentava fluxo rente à base do talude fluvial, não sendo possível visualizar os depósitos em forma de banco de areia. Nestes episódios era perceptível o avanço das ravinas em superfície, com prolongamentos em direção a montante. Na última atividade de campo algumas ravinas já tinham alcançado e, até mesmo, ultrapassado o núcleo de arenização sobre o qual havia sido instalada a Área Experimental I, tamanha a velocidade de expansão destas feições morfológicas. A partir de uma rápida análise de imagens do Google Earth, agregando a sobreposição de falhamentos litológicos preferenciais identificados no município de São Francisco de Assis, torna-se possível comprovar que grande parte dos processos de erosão hídrica lineares se orientam preferencialmente por estas falhas do substrato rochoso – Figuras 133 e 134.



Figura 133. Ravina transversal ao curso de água e com dinâmica conectada à rede de drenagem. **Foto:** C.L. Vieira (Março, 2016).



Figura 134. Falhamentos de rocha preferenciais identificados para o município de São Francisco de Assis, sentido NW-SE (traços em cor amarela mais escuro) e NE-SW (traços em cor amarela mais clara). Rio Ibicuí e imagem do Google Earth. **Elaboração:** R. Verdum (Janeiro, 2015).

Os núcleos de arenização na propriedade aparecem próximos ao curso de água, *meio fortemente instável*. Não foi observada evolução destes núcleos ao longo dos três anos de atividades em campo. Ao contrário, em função da semeadura de braquiária sobre a área a à sua rápida cobertura do solo o areal apresentou involução, com grande redução do percentual de solo exposto – Figura 135.



Figura 135. Núcleo de arenização ocupando uma área significativa do *meio fortemente instável*, a jusante da propriedade rural. **Foto:** C.L. Vieira (Novembro, 2014).

6.1.6 Bacia Hidrográfica da Sanga da Areia e Sanga do Rolador

Os parâmetros morfométricos obtidos podem auxiliar na identificação de possíveis processos e formas, produtos da influência de eventos neotectônicos na evolução da bacia de drenagem da Sanga da Areia, que possam ter relação com a intensidade dos processos erosivos observados em superfície. O cálculo de parâmetros morfométricos permite que se definam alguns atributos qualitativos e quantitativos referentes à forma e determinadas relações métricas de proporcionalidade em uma Bacia Hidrográfica, e demonstram características que podem vir a ser indicativos de atividade de cunho neotectônico, aos quais os cursos de água respondem imediatamente. De acordo com Etchbehere *et al.* (2004, p. 44) as técnicas morfométricas apresentam um elevado potencial para a avaliação e detecção e deformações crustais e se aplicam por meio da investigação de atributos relacionados ao perfil ou ao traçado dos cursos de água. A partir da análise das cartas topográficas do Exército, escala 1:50.000 foram realizados cálculos de parâmetros morfométricos, a delimitação da Bacia Hidrográfica e a aplicação da técnica manual para o cálculo do índice de Relação Declividade-Extensão (RDE), conhecido também Índice de Hack. Este índice é determinado a partir da razão entre a amplitude altimétrica de cada curso de água e o logaritmo natural de sua extensão, demonstrando a existência ou não de anomalias de drenagem, como

resposta a deformações ocorridas em diferentes escalas ETCHEBEHERE *et al.* (2004, p.44). O argumento que motivou esta análise partiu da verificação em campo da intensa dinâmica erosiva do curso de água e erosão de taludes fluviais, além da gramatura do material rochoso no fundo do leito do curso de água, demonstrando grande competência de transporte, os quais poderiam ter relação com controles tectônicos. FILHO *et al.* (2012) investigaram os parâmetros morfométricos para a Sanga da Areia por meio de *softwares* de geoprocessamento, encontrando anomalias de primeira ordem, provavelmente relacionadas a um forte controle estrutural, como resultado de atividades neotectônicas. A partir da análise de fotos de satélite são visualizados diversos meandros abandonados na margem direita do curso de água, sentido montante-jusante, localizados em área de turfeira, limite oeste da propriedade rural em estudo, o que ratifica a importância em se investigar a dinâmica do curso de água e as características da Bacia Hidrográfica.

Utilizando-se procedimento manual, com base nas cartas topográficas, o auxílio de escalímetro e folha milimetrada, foram coletados os dados necessários para o cálculo dos parâmetros morfométricos e o índice RDE, sendo tabulados e relacionados em planilhas do programa Excel – Quadros 8 e 9. De acordo com esta metodologia, sete pontos apresentaram anomalias de primeira ordem, que representam um forte controle estrutural sobre o curso de água, sendo um destes localizado ao sul, próximo à propriedade rural, sentido montante-jusante – Figura 136. Todos os outros trechos apresentaram anomalias de segunda ordem, as quais podem estar relacionadas ao contato entre diferentes litologias, confluência de cursos de água com diferentes competências, diferente aporte de carga, dentre outros fatores causais.

Quadro 8. Cálculo do RDE para o setor à esquerda da bacia hidrográfica Sanga da Areia, sentido nascente-foz.

RDE Total = $\Delta h / \text{Log L}$		(L = extensão total)					
Nome do curso de Água	Extensão (m)	Log (L ₁₀)	cota de cabeceira	cota foz	amplitude	RDE total	
A0	3560	3,6	260	160	100	28,2	
A1	1650	3,2	260	180	80	24,9	
A2	1050	3,0	240	180	60	19,9	
P1	1500	3,2	280	200	80	25,2	
Principal P	21700	4,3	280	100	180	41,5	
C	4075	3,6	280	180	100	27,7	
C1	650	2,8	280	260	20	7,1	
C2	2500	3,4	280	220	60	17,7	
C3	1700	3,2	260	200	60	18,6	
Curso I	1350	3,1	200	160	40	12,8	
Curso II	1850	3,3	180	140	40	12,2	
Curso III	2950	3,5	240	160	80	23,1	
Curso IV	900	3,0	200	180	20	6,8	
Curso V	2150	3,3	220	160	60	18,0	
Curso VI	1600	3,2	220	180	40	12,5	
Curso VII	1500	3,2	200	140	60	18,9	
Curso VIII	1600	3,2	180	140	40	12,5	
Curso IX	1150	3,1	160	140	20	6,5	
Curso X	1100	3,0	180	140	40	13,2	
Curso XI	1750	3,2	160	120	40	12,3	
Curso XII	1800	3,3	160	120	40	12,3	
Curso XIII	1150	3,1	140	120	20	6,5	
Curso XIV	2200	3,3	140	120	20	6,0	
Curso XV	2100	3,3	140	120	20	6,0	

Elaboração: C.L. Vieira (Dezembro, 2014).

Quadro 9. Cálculo do RDE para o setor à direita da bacia hidrográfica Sanga da Areia, sentido nascente-foz.

RDE Total = $\Delta h / \text{Log L}$		(L = extensão total)					
Nome do curso de Água	Extensão (m)	Log (L ₁₀)	cota de cabeceira	cota foz	amplitude	RDE total	
B0	7100	3,9	240	140	100	26,0	
B1	800	2,9	220	180	40	13,8	
B2	975	3,0	220	180	40	13,4	
B3	1350	3,1	220	180	40	12,8	
B4	1500	3,2	220	160	60	18,9	
B5	1250	3,1	200	180	20	6,5	
B6	5100	3,7	220	160	60	16,2	
B7	1050	3,0	200	180	20	6,6	
B8	8350	3,9	220	120	100	25,5	
B9	250	2,4	200	180	20	8,3	
B10	450	2,7	180	160	20	7,5	
B11	400	2,6	180	160	20	7,7	
B12	900	3,0	200	160	40	13,5	
B13	1300	3,1	180	140	40	12,8	
B14	1350	3,1	180	140	40	12,8	

Elaboração: C.L. Vieira (Março, 2016).

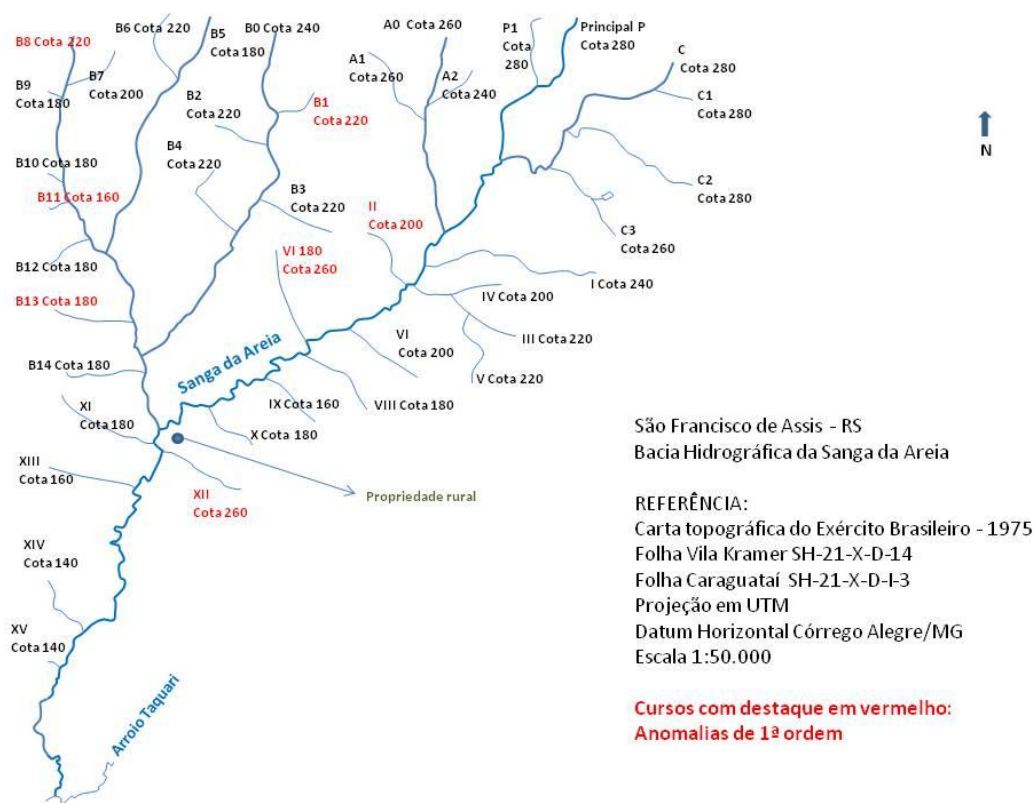


Figura 136: Identificação de anomalias na Bacia de drenagem da Sanga da Areia, a partir do cálculo do RDE. Coordenadas UTM 671967.00 mE; 6746333.00 mS. **Elaboração:** C.L.Vieira (Dezembro, 2014).

Em relação às propriedades da Bacia Hidrográfica da Sanga da Areia, verificou-se que apresenta forma triangular, predominância de cursos de primeira ordem e drenagem retilínea. A forma triangular condiciona a uma mais rápida capacidade de escoamento, em termos de unidades de hora necessárias para que a drenagem, quando comparada, por exemplo, à uma configuração de bacia em formato retangular. A área obtida foi de 97,08 km² e um perímetro de 45.750 m. A maior presença de cursos de primeira ordem e retilíneos indica ser uma bacia jovem, com maior capacidade de transporte de materiais pelo fluxo de água.

Estas características puderam ser comprovadas nos resultados obtidos para o cálculo do fator forma $K_f = 0,02$; sinuosidade $Sin = 1,17$; coeficiente de compacidade $K_c = 1,30$ e densidade de drenagem $D_d = 0,10$.

O fator forma K_f expressa a relação diretamente proporcional entre a área da bacia e o quadrado do valor obtido para o comprimento do curso de água principal, Sanga da Areia, tomado ao longo de seu curso natural. O baixo valor de K_f obtido para a Sanga da Areia reforça uma menor tendência à enchente na bacia.

A sinuosidade obtida $Sin = 1,17$ expressa a relação entre o comprimento natural do curso de água principal e o seu comprimento em linha reta, nascente-foz. Quanto mais próximo de um (1) mais evidente o caráter retilíneo, situação verificada para a Sanga da Areia.

O coeficiente de compacidade K_c permite que se verifique a propensão à ocorrência de enchentes, relacionando parâmetros como o perímetro e a raiz quadrada calculada para a área da bacia. Para o caso em questão ratifica-se uma menor propensão à enchente na Sanga da Areia, pois quanto maior o valor de compacidade obtido menor a probabilidade para tal fenômeno.

Quanto à densidade de drenagem D_d , valores menores do que $0,5 \text{ km/km}^2$ indicam que a bacia apresenta uma drenagem pobre. Para a Sanga da Areia esta característica se confirma, com um valor obtido de $0,10$.

A análise de parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica pode fornecer elementos que auxiliem na interpretação da dinâmica do curso de água, nível de base local. O desencadeamento dos processos de erosão hídrica verificados em superfície, como sulcos e ravinas, estão intimamente associados ao solapamento da base do talude fluvial. A constante mobilidade do sedimento arenoso dificulta o estabelecimento de vegetação. Este processo tem influência direta quanto a um maior ou menor potencial de resiliência do meio, podendo inviabilizar qualquer proposta técnica para este setor, especialmente se os principais filtros ecológicos não forem devidamente identificados. Apesar de não ser a ênfase deste trabalho, para a formulação de um projeto direcionado à implantação de cobertura vegetal no *meio fortemente instável* seria impreterível realizar, primeiramente o controle de processos erosivos tanto em superfície quanto no talude fluvial. Uma técnica viável economicamente poderia ser através da fixação de anteparos físicos, como paliçadas, em pontos estratégicos e a aplicação de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização e proteção dos taludes fluviais.

O cálculo do Índice RDE e a determinação dos parâmetros da bacia podem demonstrar a existência de condicionantes naturais catalisadores dos intensos processos erosivos observados na propriedade. Estas informações, quando conjugadas a outras obtidas em atividades de campo, gabinete e laboratório possibilitam que se faça um diagnóstico integrado da situação geral na propriedade, com o delineamento de propostas técnicas preliminares coerentes à problemática considerada.

6.1.7 Regime pluviométrico

Para a avaliação da precipitação considerando um intervalo que abrange dos três anos anteriores até o final do ano de implantação das áreas experimentais, 2012 a 2015, foram utilizados dados da Estação Hidrológica do Município de Manuel Viana, tabuladas por meio do software Hydra (CPRM). São Francisco de Assis não possui estação própria e o município de Manuel Viana, ex-distrito, apresenta semelhante tipo de solo, cobertura vegetal, relevo e padrão de ocorrência do processo de arenização. A tabulação e a análise dos dados foram realizadas no programa Excel®, pacote Office da empresa Microsoft. Verificou-se que o padrão de chuvas é bastante diversificado, tanto para as precipitações diárias, quanto as mensais e o acumulado anual, conforme as figuras disponibilizadas no Capítulo quatro (4) e relacionadas no Quadro 10. A ocorrência de chuvas erosivas e a frequência de precipitação nos diferentes meses e em anos consecutivos são bastante diversificadas comparativamente, nas diferentes estações do ano.

Quadro 10. Médias mensais de precipitação para o intervalo de tempo considerado.

ANO	2012	2013	2014	2015
MÊS	Média mensal P (mm)	Média mensal (mm)	Média mensal (mm)	Média mensal (mm)
Janeiro	1,24	4,66	4,31	8,08
Fevereiro	1,64	8,01	6,4	0,99
Março	1,66	5,01	7,37	2,06
Abril	4,25	5,87	2,54	2,15
Maio	1,23	6,13	6,65	3,33
Junho	2,4	0,99	4,38	3,7
Julho	3,31	3,43	3,97	3,26
Agosto	1,98	2,26	2,85	2,72
Setembro	1,83	1,06	7,9	4,47
Outubro	14,68	3,36	8,63	9,21
Novembro	0,65	19,93	2,17	4,21
Dezembro	12,3	1,32	13	14,25

Elaboração: C.L. Vieira (Janeiro, 2017).

Para o ano de 2012 predominaram intervalos desde 9 a 22 dias com a ausência de precipitação. Foram registrados 79 dias de chuva neste ano, sendo 52 % destes com eventos de potencial erosivo, caracterizados por precipitações com mais de 10 mm de volume acumulado de chuva. A maior precipitação de potencial erosivo foi registrada no dia 13 de dezembro, com 103,6 mm, antecedida por precipitações de 18,60 mm e 15,60 mm ocorridas nos dias 12 e 11, após dois dias sem chuva.

Para o ano de 2013 predominaram intervalos de 7 a 17 dias com a ausência de precipitação. Foram registrados 89 dias de precipitação neste ano, sendo 50,6 % deles com potencial erosivo. A maior precipitação de potencial erosivo foi registrada no dia 11 de novembro, com 134,20 mm, antecedida por uma precipitação de 69,20 mm ocorrida no dia 10, após seis dias sem chuva.

Em 2014 predominaram intervalos de nove (9) dias sem a ocorrência de qualquer precipitação. Houve um aumento para 113 dias com o registro de chuva, dos quais 46,9 % com característica erosiva. A maior precipitação de potencial erosivo, com 141 mm foi registrada no dia quatro (4) de maio, após dois dias sem chuva.

O ano de 2015 teve a predominância de 12 a 16 dias com ausência de chuva e 91 dias de precipitação, sendo 56 % destes com potencial de causar processos de erosão hídrica. A maior precipitação de potencial erosivo foi registrada no dia oito (8) de outubro, com 137,5 mm, tendo ocorrido uma precipitação de 27 mm no dia anterior, após um dia com ausência de chuva. Torna-se importante complementar que no dia seguinte à implantação da AE-I teve início a ocorrência de elevadas taxas de precipitação de chuva em todo o estado, ocorrendo de forma consecutiva durante duas semanas, sendo decretado estado de calamidade em vários municípios do estado.

A análise dos dados de precipitação permitiu confirmar o padrão hidrológico detalhado no estudo de Verдум (1997), ratificando a má distribuição das chuvas no município e nas localidades adjacentes, tanto em relação ao intervalo entre os eventos de precipitação quanto à intensidade das mesmas. Esta característica pluviométrica termina por potencializar a ocorrência de núcleos de arenização e processos avançados de erosão hídrica, já que longos períodos de estiagem provocam a morte da vegetação nativa e precipitações repentinas de intensidade erosiva provocam a desagregação, o transporte e a deposição do material em sítios diferentes daqueles nos quais o sedimento se encontrava, originalmente. Dessa forma, pode-se considerar a desuniformidade e imprevisibilidade do padrão pluviométrico assim como a elevada ocorrência de chuvas com potencial erosivo como um filtro ecológico, contribuindo para que haja uma redução no potencial de resiliência no local. A aplicação de técnicas que permitam a retenção de água no solo e a proteção da superfície quanto ao impacto direto das gotas de chuvas é fundamental, assim como a adequada seleção do período do ano para a introdução de sementes e mudas destinadas ao restabelecimento de cobertura vegetal.

6.2 ÁREAS EXPERIMENTAIS E UNIDADES DE AVALIAÇÃO

6.2.1 Área Experimental I (AE-I)

Foram realizadas cinco avaliações (Av) desde a implantação da AE-I – Figura 137. A primeira foi iniciada em maio de 2015 e a desativação foi consumada em outubro de 2016, sendo: Av-1 junho de 2015; Av-2 setembro de 2015; Av-3 dezembro de 2015; Av-4 março 2016 e Av-5 julho 2016. As parcelas foram divididas em três zonas de monitoramento, utilizando-se um esquadro de madeira com gabarito de um (1) m² para as aferições.

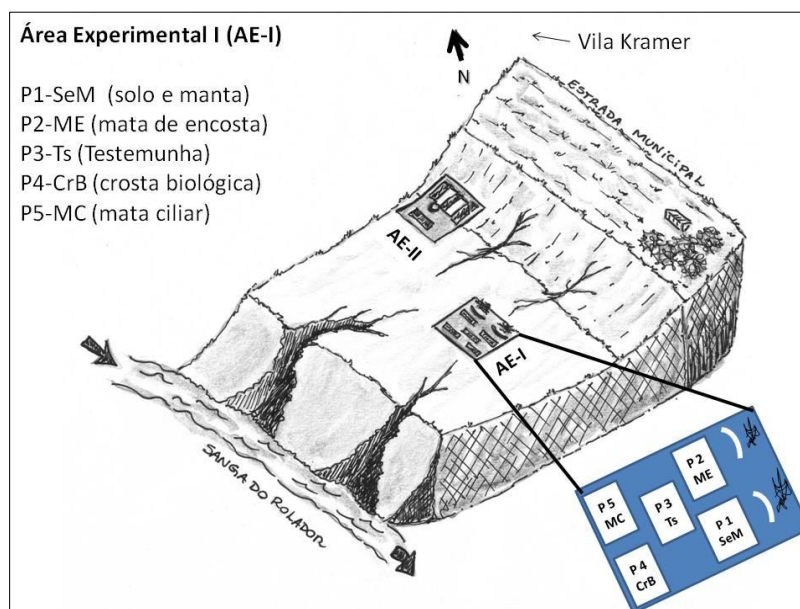


Figura 137. Bloco diagrama fora de escala, com a representação esquemática das parcelas na área experimental I. **Elaboração:** C.L. Vieira (Fevereiro, 2017).

O material *topsoil* de mata de encosta foi coletado junto à face noroeste de um relevo arenítico denominado Cerro da Equina, localizado próximo ao centro urbano de São Francisco de Assis e ao curso de água conhecido como Arroio Inhacundá. Algumas características básicas foram observadas e registradas para este local de coleta, como: solo de textura arenosa com coloração mais escura; presença de diferentes extratos na mata, como bosque, sub-bosque e regenerantes; abundância de indivíduos adultos e jovens de pitangueira (*Eugenia uniflora*).

Para o ponto de coleta de *topsoil* de mata ciliar foram registradas condições e características tais como: solo mais arenoso em relação ao ponto de coleta de mata de encosta; boa ocorrência de regenerantes; bosque e sub-bosque e vários pontos com a presença de mesofauna.

Na primeira atividade de monitoramento Av-1, realizada em Junho de 2015, observou-se que as unidades de avaliação (UAs) estavam bem preservadas, apesar de o gado ter derrubado parte do cercamento. Os núcleos de galharia NG-1 e NG-2 apresentaram uma redução de 0,34 m e 0,10 m em sua altura, respectivamente. Verificou-se a presença de aranhas, grilos, além de aranhas, formigas e pegadas próximas de graxaim, de acordo com um biólogo que acompanhava a atividade em campo – Figura 138.



Figura 138. Aranhas presentes nos núcleos de galharia NG-1 e NG-2, respectivamente. **Fotos:** A.G. Goulart e J.C.G. Canepelle (Junho, 2015).

A parcela solo e manta UAP1-SeM não apresentou qualquer indício de novas brotações em nenhuma das três zonas. Foi registrada, entretanto, a presença de formigas e pegadas de graxaim.

A unidade de avaliação com *topsoil* de mata de encosta UAP2-ME apresentou quatro regenerantes na zona Z1, três na zona Z2 e dois indivíduos na zona Z3, totalizando nove plântulas na parcela. Todos os indivíduos possuíam folha oblonga ou arredondada e dois deles apresentavam pilosidade no limbo foliar. Observou-se a pegada de gado bovino sobre a parcela e graxaim, assim como a presença de pequenos coleópteros. O percentual de cobertura para as três zonas foi de 0-25%. O exemplar de *Eugenia pitanga* transplantado apresentava boa condição, com 10 cm de altura. A serrapilheira estava bastante preservada sob a manta de sisal, com boa quantidade cobrindo o solo.

Na unidade de avaliação testemunha UAP3-Ts o percentual de cobertura foi de 25-50% nas extremidades, Z1 e Z3, e 0-25% no centro. A única espécie a colonizar a parcela foi a gramínea braquiária, semeada anteriormente pela produtora rural.

A parcela com crosta biológica UAP4-CrB apresentou dois núcleos ativos na zona um Z1, e somente um para cada uma das zonas Z2 e Z3. Havia a pegada de gado bovino e graxaim sobre a parcela.

Comportamento significativo foi registrado para a parcela com *topsoil* de mata ciliar UAP5-MC com 14 regenerantes no total – Figura 139. Quatro indivíduos se desenvolveram na zona Z1, seis na Z2 e quatro na Z3. O percentual de cobertura para as três zonas foi de 0-25%. A quase totalidade das plântulas apresentava hábito rasteiro e folha larga. Oito indivíduos possuíam pilosidade no limbo foliar.



Figura 139. Regenerantes sob a manta de sisal, UAP5-MC. **Foto:** A.G. Goulart e J.C.G. Canepelle (Junho, 2015).

Para o segundo monitoramento Av-2, realizado em setembro de 2015, foi verificada nova redução no núcleo de galharia NG-1, atingindo 0,28 m de altura. Sobre os ramos secos houve colonização da gramínea braquiária, para os dois núcleos de galharia.

Em ambas as estruturas em semicírculo, parcelas abertas para estimativa de erosão, foi aferido na régua um acúmulo de 1,5 cm de sedimento.

Havia ocorrido um intenso evento de precipitação de granizo na noite anterior à atividade em campo. O campo apresentava uma vegetação de coloração opaca, de porte

rente à superfície do solo, com o aspecto de ressecamento, e pouco desenvolvimento foliar.

A UAP1-SeM apresentou somente dois indivíduos na zona um - Z1, sendo um com folha oblonga e uma gramínea. O percentual de cobertura para as três zonas foi de 0-25%. A manta de sisal utilizada para isolar o perímetro da parcela estava bastante decomposta, permitindo que uma extremidade fosse coberta por sedimentos carreados de montante.

Abundante colonização foi verificada na parcela com *topsoil* de mata de encosta UAP2-ME, com 47 indivíduos no total, sendo 18 na zona um, 18 na zona dois e onze na zona três. O percentual de cobertura para a Z1 ficou estimado em 20-50%, e entre 0-25% para as outras zonas. Algumas espécies de porte ereto se destacaram sobre a manta, chegando a alcançar 10 cm de altura – Figura 140. No entanto, a maioria das espécies apresentou hábito rasteiro e 19 indivíduos possuíam pilosidade nas folhas. O exemplar de *Eugenia pitanga* apresentava folhas novas e crescimento em relação ao último monitoramento, com 12 cm de altura.

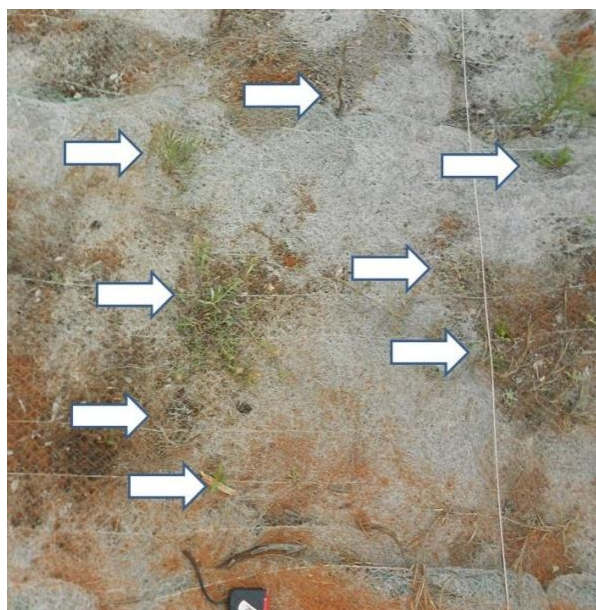


Figura 140. Imagem demonstrando pontos com vegetação regenerante sobre a parcela com *topsoil* de mata de encosta indicados pelas setas brancas. Avaliação realizada em setembro de 2015. **Foto:** C.L. Vieira (Setembro, 2015).

A unidade de avaliação UAP3-Ts apresentou uma taxa de cobertura de 25-50% para todas as zonas, sendo colonizada unicamente pela gramínea braquiária.

O acréscimo na atividade biológica também foi verificado na parcela com crosta biológica UAP4-CrB, havendo 12 núcleos ativos na Z1, 25 núcleos ativos na Z2 e 20 núcleos ativos na Z3, totalizando 47. Houve aumento de 43 unidades em relação ao monitoramento anterior. A constatação de atividade biológica foi evidenciada principalmente pelo aumento nas dimensões e a coloração verde claro dos núcleos. O aumento na atividade fotossintética e expansão das crostas estão relacionados, provavelmente, à elevação da temperatura e ao aumento de radiação solar incidente, condizente à estação da primavera.

A UAP5-MC apresentou 35 indivíduos, sendo 13 para a Z1, 16 para a zona dois Z2 e seis (6) para a Z3, com estimativa de cobertura entre 0-25% para toda a parcela. A quase totalidade das espécies vegetais apresentava hábito rasteiro. Algumas plântulas não conseguiram ultrapassar a manta orgânica, ficando atrofiadas sob a mesma.

No mês de dezembro de 2015 foi realizada a terceira avaliação para as unidades da área experimental I. O núcleo de galharia NG1 apresentou 10 cm de redução em sua altura, sendo constatada a presença de teias de aranha tanto em NG-1 quanto NG-2 e a expansão da braquiária abaixo dos ramos, rente ao solo.

A deposição de sedimentos nas estruturas em semicírculo foi de oito (8) cm, aferido na régua de madeira com escala em centímetros.

Na parcela solo e manta UAP1-SeM a estimativa de cobertura do solo para todas as zonas foi de 0-25%, havendo somente indivíduos de braquiária.

A parcela solo e mata de encosta apresentou 71 indivíduos para todas as zonas, com 25 regenerantes na Z1, 36 indivíduos na zona dois (2) e 10 na zona Z3. A pitangueira (*Eugenia uniflora*) não apresentou diferença em sua altura. Em todas as zonas foi constatada a presença de mesofauna (lagartas, aranhas e percevejos), com insetos predando as folhas de alguns regenerantes. A estimativa de cobertura foi de 0-25% para as três zonas – Figura 141.

Para a UAP3-Ts a estimativa de cobertura foi de 25-50% nas zonas Z1 e Z3, sendo colonizada unicamente pela braquiária.

Não foi possível verificar núcleos de crosta biológica na parcela UAP4-CrB devido ao fato de o gado ter derrubado o cercamento e invadido a área experimental. O rolo de manta de sisal que demarcava o perímetro da parcela também estava muito reduzido em sua altura em função da decomposição das fibras vegetais, o que permitiu o total soterramento da parcela com sedimento arenoso – Figura 142.

A parcela com *topsoil* de mata ciliar UA-P5MC apresentou uma cobertura do solo pela vegetação estimada em 25-50% na zona um Z1, sendo de 0-25% nas outras zonas. Importante ressaltar que, ao contrário do monitoramento anterior, devido ao soterramento desta parcela, foram verificados somente indivíduos da gramínea braquiária sobre a parcela. Pegadas e esterco de gado bovino estavam em vários pontos da unidade de avaliação, evidenciado o pisoteio e predação da vegetação regenerante anteriormente registrada. Os intensos eventos de precipitação de chuva ocorridos nos dias anteriores, de forma consecutiva, podem ter contribuído para o soterramento de algumas parcelas.

Cabe ressaltar também a observação de muitas aves sobrevoando a propriedade, como caturritas, corruíra e anu-branco. Insetos polinizadores como euglossídeos também se faziam bastante frequentes junto às espécies do campo nativo, *meio estável* e *intergrade*.



Figura 141. Detalhe de espécie com potencial ornamental registrada na parcela com *topsoil* de mata ciliar. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 142. Parcela UA-P4CrB soterrada. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

Em Março de 2016 foi realizado o quarto monitoramento para as UAs da AE-I. Os núcleos de galharia apresentaram nova redução em sua altura, com 0,32 m e 0,24 m para o NG-1 e NG-2, respectivamente. O capim braquiária avançou por debaixo dos ramos secos, com boa cobertura do solo.

Houve precipitação de chuva com potencial erosivo no dia anterior à atividade de campo.

As parcelas abertas para a estimativa de erosão estavam cobertas por sedimento carregado de montante, com um acúmulo de 30 cm em cada – Figura 143. Na parcela um (1) o total de acúmulo estimado em função da área isolada pela manta foi de 2,38 m³. Na parcela dois (2) o acúmulo calculado foi de 1,13 m³. O total de sedimento proveniente de erosão superficial laminar acumulado nas estruturas abertas de contenção foi de 3,52 m³, durante o período de 13 meses, em uma área total de 11,72 m². Extrapolando para uma situação hipotética de um hectare com solo exposto e declividade acima de 3%, teríamos um total de três (3) mil m³ de sedimento transportado.



Figura 143. Parcela para estimativa de erosão localizada em frente ao NG-1 coberta por sedimentos carreados de montante. **Foto:** C.L. Vieira (Março, 2016).

Em todas as unidades de avaliação foi verificado um avançado estado de decomposição da manta de sisal.

A parcela solo e manta UAP1-SeM apresentou oito indivíduos de braquiária no total, com um percentual de cobertura entre 0-25% para as zonas Z1 e Z2 e 0% para a Z3.

Para a UA solo e mata de encosta foram registrados dois indivíduos na Z1, três indivíduos na Z2 e um indivíduo na Z3, com uma taxa de cobertura de 0-25% para toda a parcela. Alguns pontos da unidade de avaliação P5ME estavam bastante soterrados. A muda de *Eugenia uniflora* estava com acúmulo de dois (2) cm de areia em sua base.

Na parcela testemunha UAP3-Ts havia apenas exemplares de braquiária. Todas as plantas se encontravam em estágio de produção de sementes.

A parcela com crosta biológica UAP4-CrB apresentava poucos núcleos ativos para todas as zonas, com um percentual de cobertura entre 0-25%.

Para a parcela com *topsoil* de mata ciliar UAP5-MC foram contabilizados 29 indivíduos, sendo 14 na Z1, oito na Z2 e sete na Z3. Algumas espécies apresentavam floração.

Cabe ressaltar que o campo nativo estava alto, com várias espécies florescidas e muitos insetos polinizadores frequentando a área.

Em julho de 2016 foi realizado o último monitoramento das UAs na área experimental I, sendo desativada após a coleta de dados. Para a parcela UAP1-SeM foram contabilizados seis indivíduos no total, sendo quatro na Z1 e dois na Z2. Para a zona Z3 não foram registrados regenerantes no quadrante fixado para os monitoramentos. O campo se apresentava bastante ressecado, com a vegetação rente ao solo. Neste mês foi registrado o recorde para o estado quanto à ocorrência de temperaturas baixas contínuas, considerando as últimas décadas.

A unidade de avaliação UAP2-ME apresentou uma estimativa de cobertura de 0-25% para todas as zonas, com 19 regenerantes na Z1, 24 na Z2 e seis na Z3. Havia esterco bovino e bastante soterramento da parcela. Houve um incremento de 15 regenerantes no total, em relação ao monitoramento de março de 2016.

A parcela testemunha UAP3-Ts apresentou uma estimativa de cobertura entre 25-50% para a Z1 e entre 0-25% para as outras zonas. A única espécie a colonizar a parcela foi o capim braquiária.

Na UAP4-CrB foram contabilizados 27 núcleos de crosta biológica ativos, ratificando a informação de que estes organismos preferem temperaturas mais baixas e maior umidade para o seu desenvolvimento e reprodução. Havia pisoteio do gado na Z1, onde 15 núcleos ativos se faziam presentes.

A parcela com *topsoil* de mata ciliar, assim como as parcelas P2-ME e P4-CrB apresentou um aumento na quantidade de indivíduos, com uma taxa de aproximadamente 190%. Foram registrados 12 regenerantes na Z1, 40 na Z2 e quatro na Z3, com uma estimativa de cobertura entre 0-25% para as zonas um e três, e entre 25-50% para a Z2.

Gráficos comparativos foram elaborados a fim de que se pudesse sintetizar e analisar comparativamente os dados registrados ao longo de todo o período de monitoramento da AE-I. Foram consideradas variáveis como o total de indivíduos regenerantes registrados - Figura 144; o total de espécies nas unidades de avaliação onde havia diversidade florística - Figura 145; assim como total de indivíduos e a quantidade de diferentes espécies registradas em cada UA - Figuras 146 a 153.

Verifica-se que para a parcela com transposição de solo proveniente de mata de encosta foram obtidas maiores quantidades de regenerantes para a segunda, a terceira e a quarta avaliações, realizadas nos meses de setembro 2015, dezembro de 2015 e julho de 2016. No segundo ano após a implantação da AE-I a maior quantidade de regenerantes foi registrada para a parcela com *topsoil* de mata ciliar, de acordo com as

avaliações realizadas nos meses de março (Av4) e julho de 2016 (Av5). Ou seja, o banco de sementes coletado em área de encosta germinou de forma mais significativa durante a primavera e o verão, estações com maior radiação solar e temperaturas mais elevadas. Já o banco de sementes oriundo de mata ciliar demonstrou boa quantidade de regenerantes nas quatro últimas avaliações, realizadas em junho de 2015 (Av2), dezembro de 2015 (Av3), março de 2016 (Av4) e julho de 2016 (Av5), com maior homogeneidade na quantidade de regenerantes apresentada. O maior percentual de cobertura para a P5MC foi registrado nas avaliações de setembro de 2015 e julho 2016, durante a primavera e o inverno, estações do ano com menor incidência de radiação solar e menor temperatura ambiente.

Quanto às diferentes espécies presentes nas unidades de avaliação com acréscimo de *topsoil*, verificou-se que a parcela com mata de encosta apresentou maior diversidade na segunda e terceira avaliações, realizadas em setembro e dezembro de 2015. Nas avaliações seguintes, realizadas durante o outono e inverno de 2016 ocorreu um decréscimo substancial na quantidade de espécies diferentes colonizando a parcela.

A unidade de avaliação P5-MC apresentou acréscimo significativo na segunda avaliação, realizada em setembro de 2015. O incremento na taxa de radiação solar incidente, típico da primavera, sugere que o banco de sementes de mata ciliar continha espécies estivais, cuja quebra de dormência respondeu ao aumento de energia luminosa e elevação da temperatura ambiente.

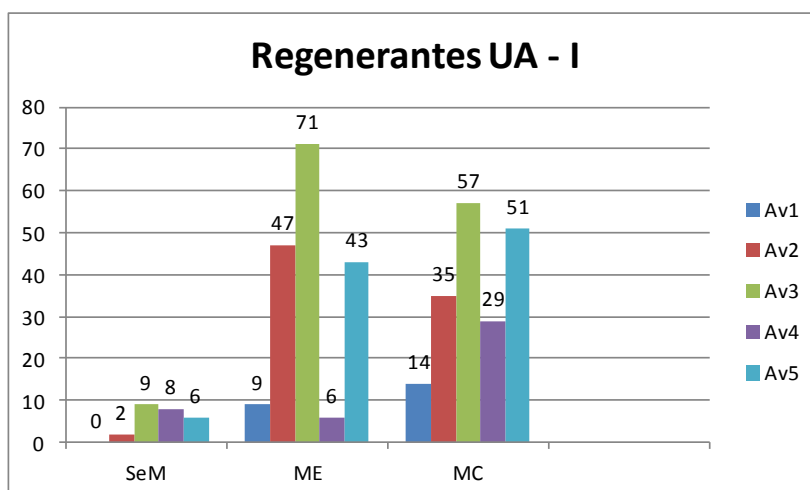


Figura 144. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos nas unidades de avaliação P1-SeM, P2-ME e P5-MC. As UAs P3-Ts e P4-CrB não foram consideradas por não apresentarem indivíduos além daqueles já presentes na área ou desenvolvidos a partir de um banco de sementes. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

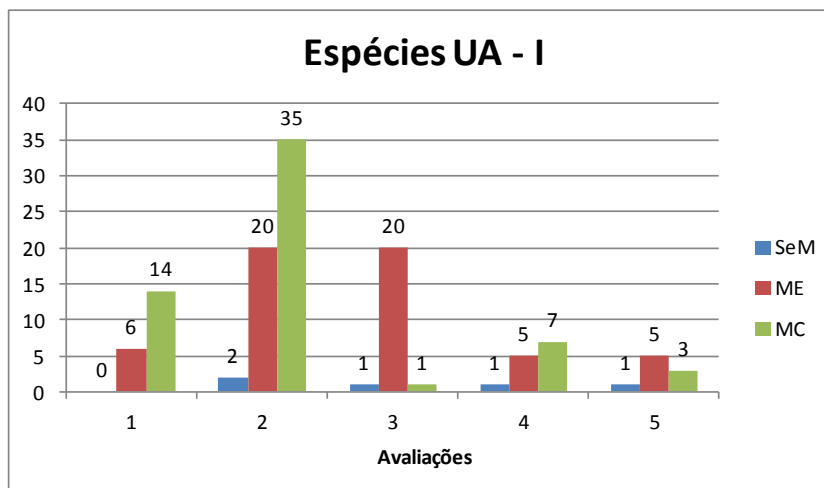


Figura 145. Gráfico relacionando o número de diferentes espécies vegetais identificados nas UAs P1-SeM, P2-ME e P5-MC. As UAs P3-Ts e P4-CrB não foram consideradas. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

A parcela solo e manta P1-SeM apresentou maior quantidade de indivíduos nas três últimas avaliações, realizadas em dezembro de 2015, março e julho de 2016. Entretanto, a maior diversidade de espécies foi verificada na segunda avaliação, realizada em setembro de 2015, pois nos monitoramentos posteriores houve o predomínio do capim Braquiária.

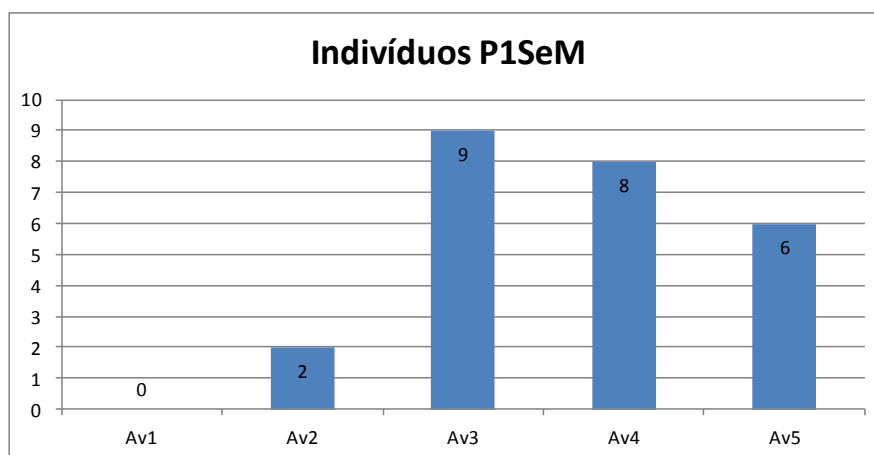


Figura 146. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P1-SeM nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

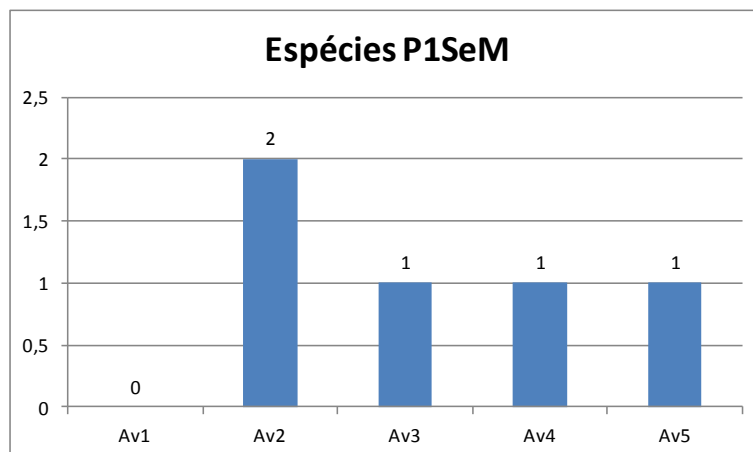


Figura 147. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P1-SeM nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

A unidade de avaliação com *topsoil* de mata de encosta apresentou um aumento de mais de 500% na quantidade de regenerantes verificados entre a primeira e a segunda avaliação, realizadas nos meses de junho e setembro de 2015. Entre setembro e dezembro de 2015 houve um acréscimo de pouco mais de 150% na quantidade de regenerantes. Ou seja, nas estações da primavera e verão o aumento da radiação incidente e da temperatura do ar promoveu uma maior taxa de germinação e cobertura do solo. Com a chegada do outono ocorreu uma queda significativa de 71 para seis regenerantes na parcela, apresentando novo acréscimo no último monitoramento realizado, em julho de 2016. A lacuna verificada no mês de março de deve, provavelmente, ao fato de ter havido uma supressão natural dos regenerantes desenvolvidos durante a primavera e verão, sendo suplantados por espécies de maior tolerância ao frio no mês de julho.

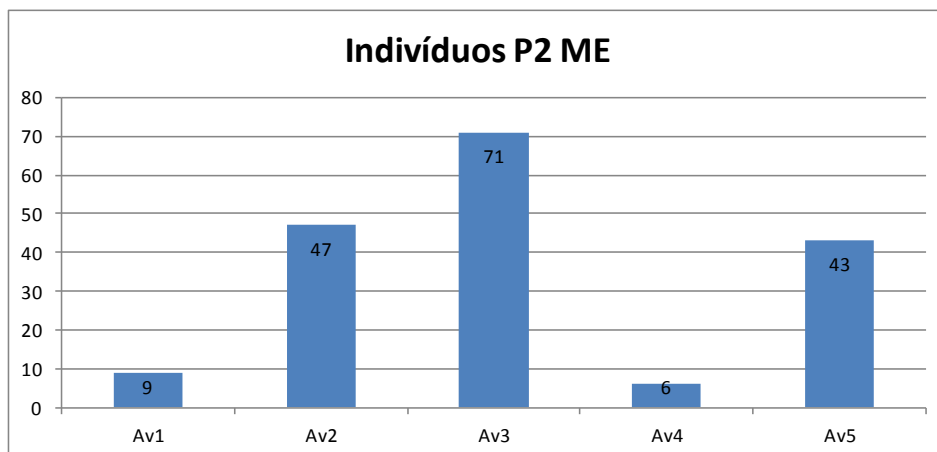


Figura 148. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P2-ME nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

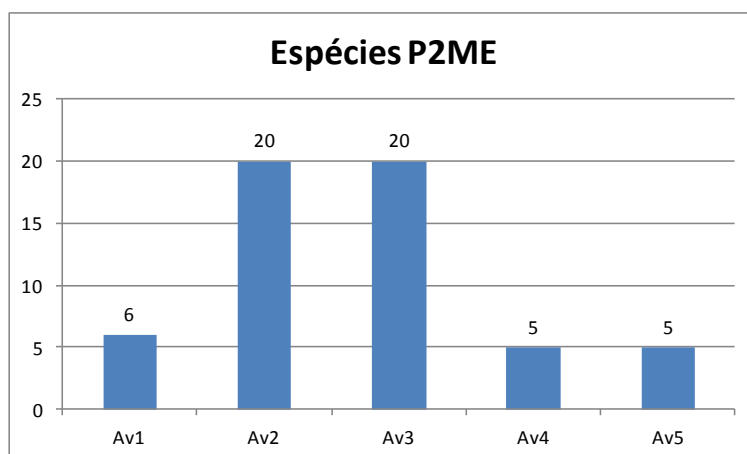


Figura 149. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P2-ME nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

No mês de setembro de 2015 foi verificado um aumento de mais de 50 núcleos ativos de crosta biológica sobre a parcela P4-CrB, com redução total no mês de dezembro e elevação no mês de março de 2016 à mesma quantidade inicialmente verificada para o mês de junho de 2015. No último monitoramento, realizado em julho de 2016, houve um acréscimo de mais de 20 núcleos ativos, atestando a influência positiva das temperaturas mais amenas e da queda na radiação solar incidente sobre o desenvolvimento das crostas biológicas do solo.

Em março de 2016, Av4, foi registrada a presença de indivíduos de capim braquiária sobre a parcela. Esta colonização pode ter ocorrido de forma oportunista, pois

foi verificada a ausência de núcleos de crosta biológica no monitoramento imediatamente anterior.

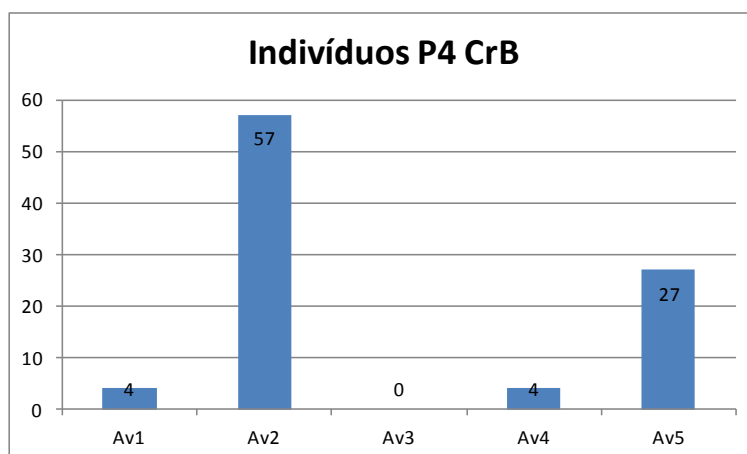


Figura 150. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P4-CrB nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

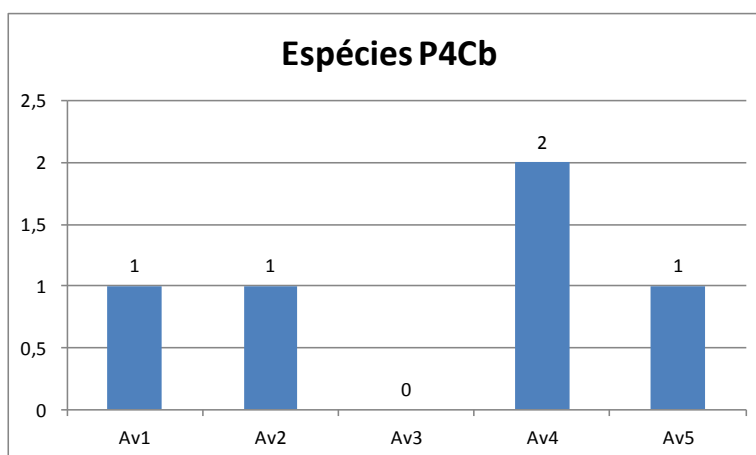


Figura 151. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P4-CrB nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

A parcela que recebeu transposição de solo de mata ciliar demonstrou um incremento no total de regenerantes para as três primeiras avaliações, com um decréscimo de 50% para a avaliação realizada no mês de março de 2016 e novo incremento verificado no mês de julho de 2016. A segunda avaliação nesta UA, realizada em setembro de 2015, apesar de não apresentar a maior quantidade de regenerantes, foi a que registrou a maior diversidade de espécies. Este comportamento

coincide com o início da primavera, quando muitas espécies nativas encontram as condições ideais para a sua germinação e desenvolvimento, havendo quebra no estado de dormência das sementes.

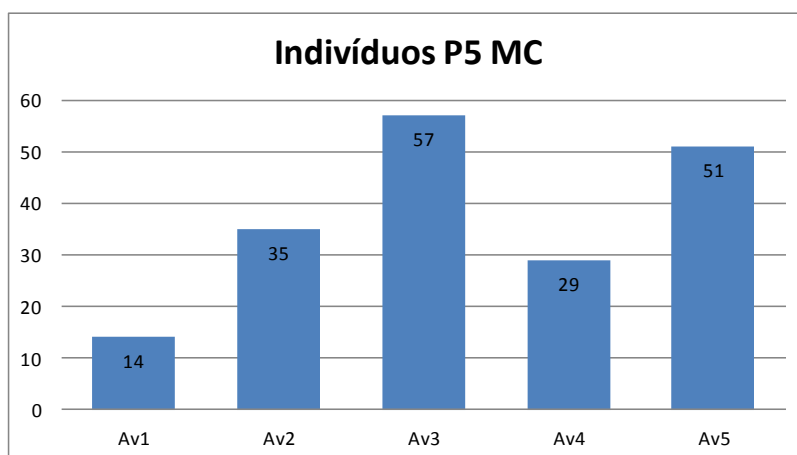


Figura 152. Gráfico relacionando o total de regenerantes obtidos na unidade de avaliação P5-MC nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

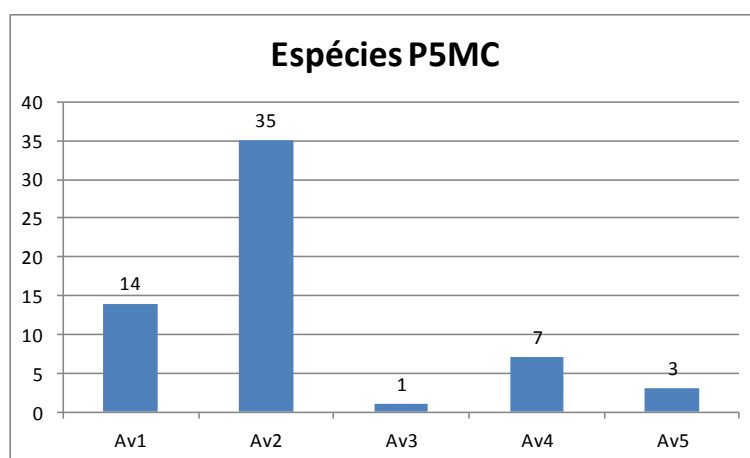


Figura 153. Gráfico relacionando as diferentes espécies verificadas para a unidade de avaliação P5-MC nas cinco atividades de monitoramento em campo, considerando as zonas Z1, Z2 e Z3. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

6.2.2 Área Experimental II (AE-II)

A área experimental II foi estabelecida em Setembro de 2015 – Figura 154. O local foi definido em diálogo com a produtora rural, como já detalhado no Capítulo 5.

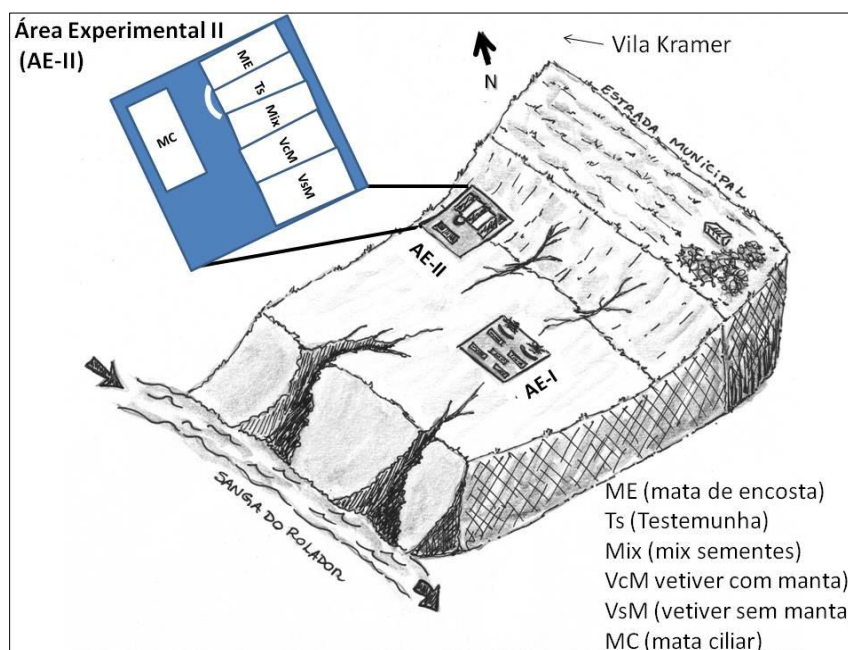


Figura 154. Bloco diagrama fora de escala, com a representação esquemática das parcelas na área experimental II. **Elaboração:** C.L. Vieira (Fevereiro, 2017).

6.2.2.1 parcelas com Vetiver

Houve certa dificuldade para o cercamento e a implantação das UAs, pois o trabalho foi executado em dia com a ocorrência de intensas precipitações de chuva, com eventos descontínuos e de curta duração, semelhante a ‘pancadas de chuva de verão’. Esta situação acabou por retardar a implantação das parcelas e, novamente, as curvas de nível para o plantio das mudas de Vetiver não puderam ser foram determinadas. Dessa forma, o plantio do Vetiver foi realizado em linhas paralelas, em sentido transversal ao declive da rampa. As mudas, com raiz nua, foram doadas ao projeto, sendo enviadas de SP para o RS pelo correio no dia anterior ao seu traslado para São Francisco de Assis. Os parâmetros avaliados para as mudas nas unidades de avaliação Vetiver com manta UA-VcM, Vetiver sem manta UA-VsM e Vetiver área externa foram: **1.** quantidade de mudas vivas, **2.** quantidade de mudas mortas, **3.** quantidade de perfilhos produzidos nas UAs, **4.** média geral de perfilhos por planta e **5.** maior comprimento de folha verificado nas respectivas UAs.

As parcelas de Vetiver demonstraram um desenvolvimento diferenciado já no primeiro monitoramento, realizado em Dezembro de 2015. A partir da segunda

avaliação, em março de 2016, ficou ainda mais nítida a diferença entre a UA onde foi aplicado o adubo orgânico - VcM e cobertura com manta orgânica, em relação à parcela em que as mudas não receberam adubação de cobertura e tampouco proteção da superfície do solo - VsM – Figura 155. Após a aplicação de manta de sisal sobre vários pontos da AE-II foi criado um ambiente favorável ao desenvolvimento do capim braquiária presente na área adjacente, a partir da estabilização dos sedimentos. A gramínea passou a se expandir rapidamente sobre a AE-II e, inclusive, sobre a parcela UA-VsM e a parcela Vetiver área externa. A remoção manual da braquiária se tornou necessária. As mudas de Vetiver plantadas nas áreas sem cobertura e adubação começaram a apresentar expressivo ressecamento das folhas e senescência das plantas. Para que pudesse haver continuidade nos monitoramentos sem prejuízo na coleta dos dados, etiquetas adesivas foram fixadas em cada uma das mudas nestas duas áreas, junto à sua base, no ponto de inserção das folhas. Assim, mesmo que houvesse a morte da planta, a etiqueta poderia ser visualizada rente ao solo.



Figura 155. A - Detalhe das mudas na parcela VcM; B - Vista ao fundo das parcelas VcM e VsM e em primeiro plano o capim braquiária cobrindo o solo. **Fotos:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

Para a parcela VcM foram registrados os seguintes dados: 150 mudas vivas e 11 mudas mortas; 614 perfilhos no total, com média de 4,1 perfilhos/muda. A altura máxima de lâmina foliar aferida foi de 1,7 metros.

A parcela VsM apresentou 133 mudas vivas e 21 mudas mortas, com um total de 174 perfilhos e média de 1,3 perfilhos/muda. A altura máxima de folha obtida foi de 0,43 m.

Para a parcela Vetiver área externa foram contabilizadas 63 mudas vivas e seis (6) mudas mortas.

Na segunda atividade de monitoramento, realizada em março de 2016 as mudas da parcela VcM estavam com um desenvolvimento muito superior àquelas componentes das parcelas sem adubação e cobertura do solo por manta de fibra de sisal – Figura 156. Os dados registrados evidenciam a influência positiva da adubação orgânica sobre o capim Vetiver, nas condições dos solos areno-quartzosos do sudoeste do RS, seis meses após a aplicação do esterco curtido.

Na unidade de avaliação Vetiver com manta foram contabilizadas 153 mudas vivas e apenas oito mudas mortas. Em relação ao monitoramento anterior verificou-se uma redução de 11 para oito mudas mortas. Ou seja, três mudas com aspecto de senescência observadas na avaliação anterior apresentaram brotações novas. O fato deve-se ao equívoco de considerar como mortas três mudas que estavam com a parte aérea senescida. Esta espécie possui reconhecida capacidade de rebrote após intensos eventos de estresse ambiental, como estiagens prolongadas e queimadas. Foram registrados para a UA-VcM 1499 perfilhos no total, com um aumento de 855 unidades em relação à avaliação anterior, mais de 200 %. Foi registrada uma média de 9,8 perfilhos por muda e o maior comprimento de lâmina foliar aferido foi de 1,72 metros.



Figura 156. Unidade de avaliação VsM em primeiro plano. Ao fundo a parcela Vetiver com manta. **Foto:** C.L. Vieira (Março, 2016).

Na unidade de avaliação Vetiver sem manta foram registrados 271 perfilhos no total, com uma média de 1,7 por planta. A maior altura de folha mensurada foi de 0,30 metros. Para esta UA foram verificadas 30 mudas realmente senescidas, com uma perda de nove mudas a mais em relação à avaliação anterior.

Para a parcela Vetiver área externa foram registradas 62 mudas vivas e sete

mortas, com um desenvolvimento similar à UA-VsM.

O terceiro monitoramento, realizado em Julho de 2016, deixou evidente os efeitos do inverno rigoroso sobre as mudas de capim Vetiver. Houve incremento significativo na quantidade de mudas mortas nas três UAs avaliadas, além de todas as plantas apresentarem um aspecto ressecamento e senescência das folhas – Figura 157.



Figura 157. Imagem comparativa demonstrando o efeito das baixas temperaturas do inverno sobre as mudas de capim Vetiver nas UAs-VcM e VsM. **Foto:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Outro fato indesejável foi a invasão do gado na AE-II, com sinais de pastoreio em várias mudas de Vetiver na parcela VcM, além de pisoteio sobre quase toda a parcela adjacente, onde havia sido semeado um mix de gramíneas e leguminosas.

Para a parcela VcM foram contabilizadas 149 mudas vivas e 12 mortas. Um total de 1473 perfilhos foi registrado, com uma média de 9,9/planta. A altura máxima de lâmina foliar aferida foi de 1,0 com redução de 0,7 m em relação ao monitoramento anterior.

A parcela VsM apresentou 104 mudas vivas e 50 mudas mortas. O total de perfilhos contabilizado foi de 218, com uma média de 2,1 perfilhos/planta. A altura máxima de lâmina foliar verificada alcançou 0,39 m.

A UA Vetiver área externa apresentou somente 45 mudas vivas e 24 mortas. Tanto na UA-VsM quanto na UA-Vetiver foi possível verificar mudas em avançado processo de senescência, expressando agudo estágio de estresse pelas condições ambientais.

O último monitoramento e coleta de dados, realizado em outubro de 2016, ratificou os intensos danos ocasionados nesta espécie C4 pelos longos períodos

consecutivos de baixas temperaturas. Além do capim Vetiver, a braquiária e as espécies do campo nativo apresentavam aspecto de senescência. As crostas biológicas estavam com coloração cinza e ressecamento - Figura 158.

Os dados obtidos na parcela VcM foram de 145 mudas vivas e oito mortas. O total de perfilhos foi de 1171, com média de 8,1 por planta e altura máxima de folha aferida de 1,42 m. Em relação ao monitoramento anterior houve perda de quatro mudas, redução de 300 perfilhos e uma diminuição de 1,8 perfilhos/planta.

Para a parcela VsM houve um acréscimo nas variáveis contabilizadas, com 115 mudas vivas e 39 mortas. O total de perfilhos foi de 228, com média de 2,0/planta e altura máxima de folha aferida de 0,55 m.

Na unidade de avaliação Vetiver área externa foram contabilizadas 54 mudas vivas e 15 mudas mortas, com 58 perfilhos no total e uma média de 1,1 perfilho/planta. A altura máxima de folha obtida foi de 0,46 m.



Figura 158. Aspecto geral das AE-II evidenciando o dano sofrido pela vegetação em função do rigoroso inverno de 2016. **Foto:** C.L. Vieira (Outubro, 2016).

Uma síntese dos dados coletados nos monitoramentos realizados entre Dezembro de 2015 e outubro de 2016 se encontram relacionados na Figura 159.

AE-II Avaliação com Vetiver 2015			AE-II Avaliação com Vetiver 2016		
DEZEMBRO	UA VsM	UA VcM	MARÇO	UA VsM	UA VcM
Mudas vivas	133	150	Mudas vivas	124	153
Mudas mortas	21	11	Mudas mortas	30	8
Total de mudas/UA	154	161	Total de mudas/UA	154	161
Total de perfilhos	174	614	Total de perfilhos	217	1499
média perfilhos/UA	1,3	4,1	média perfilhos/UA	1,8	9,8
Altura máx. folha (m)	0,43	1,7	Altura máx. folha (m)	0,5	1,72

AE-II Avaliação com Vetiver 2016			AE-II Avaliação com Vetiver 2016		
OUTUBRO	UA VsM	UA VcM	JULHO	UA VsM	UA VcM
Mudas vivas	115	145	Mudas vivas	104	149
Mudas mortas	39	8	Mudas mortas	50	12
Total de mudas/UA	154	161	Total de mudas/UA	154	161
Total de perfilhos	228	1171	Total de perfilhos	218	1473
média perfilhos/UA	2,0	8,1	média perfilhos/UA	2,1	9,9
Altura máx. folha (m)	0,55	1,42	Altura máx. folha (m)	0,39	1

Figura 159. Comparativo com os dados relativos ao desenvolvimento do capim Vetiver na AE-II, ao longo de 13 meses de acompanhamento. Sequência em sentido horário. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

6.2.2.2 unidades de avaliação: UAP1-Mix, UAP2-ME, UAP3-TS e UAP4-MC

O primeiro monitoramento foi realizado em Dezembro de 2015. Foi notável a abundância de exemplares de *Eugenia pitanga* com frutificação expressiva, encontrada em vários pontos da propriedade, em especial na área experimental II.

Para a parcela Mix foram registrados nove regenerantes, sendo cinco na Z1, um na Z2 e quatro na Z3, com uma estimativa de cobertura entre 0-25% para todas as zonas – Figura 160. Houve intensa predação por formigas cortadeiras em toda a parcela. De acordo com a produtora rural, havia expressiva cobertura vegetal em toda a parcela, com indivíduos de nabo forrageiro alcançando mais de um metro de altura, e várias mudas florescidas no mês de novembro. Ela mesma visualizou o processo de predação pelas formigas, tendo suprimido quase toda a cobertura vegetal da parcela.

A UAP2-ME apresentou 63 indivíduos, sendo seis na Z1, dois na Z2 e 55 regenerantes na Z3. A presença de cupins de solo foi verificada na Z3. O percentual de cobertura estimado foi de 0-25% para as zonas um e dois e 25-50% para a zona três.

A parcela testemunha UAP3-Ts apresentou nove indivíduos, todos do capim braquiária, sendo zero na Z1, um na Z2 e oito na Z3. O percentual de cobertura foi de 0-25% para todas as zonas. O acúmulo de sedimentos verificado na estrutura em semicírculo instalada na base para a estimativa de erosão foi de 16 cm, com um volume

aproximado de 0,50 m³.

Na parcela P4-MC a presença de regenerantes foi destaque em relação à parcela com *topsoil* de mata de encosta, sendo registrados 23 indivíduos na Z1, 22 na Z2 e 26 na Z3, totalizando 71 regenerantes. O percentual de cobertura estimado para a parcela, entretanto, foi de 0-25%. Havia exemplares de *Eugenia pitanga* com frutos na Z3. Constatou-se uma boa diversidade de regenerantes na AE-II – Figura 161.



Figura 160. Quantificação dos regenerantes na parcela Mix com o gabarito de 1 m², zona – Z1. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).



Figura 161. Alguns exemplares de regenerantes registrados durante o primeiro monitoramento realizado na AE-II. **Foto:** C.L. Vieira (Dezembro, 2015).

A segunda avaliação Av-2 foi realizada em Março de 2016. Na parcela P1-Mix não foi verificada a presença de qualquer vegetação. O capim braquiária estava

cobrindo grande parte da AE-II, com desenvolvimento abundante.

Na parcela com *topsoil* de mata de encosta foram verificados 19 indivíduos, sendo sete na Z1, quatro na Z2 e oito na Z3. Em todas as zonas foi registrada a presença de espécie de solanácea nativa, sofrendo intensa predação por formigas cortadeiras.

A parcela testemunha UAP3-Ts, assim como a parcela Mix, também não apresentou qualquer presença de vegetação. O acúmulo de sedimentos mensurado na régua junto à estrutura para a estimativa de erosão foi de 20 cm, com um volume aproximado de 0,63 m³.

Para a unidade de avaliação UAP4-MC foi registrada a ocorrência de 34 regenerantes, sendo três na Z1, nove na Z2 e 22 na Z3. A estimativa de cobertura ficou entre 0-25% para todas as zonas. Na zona Z3 havia a presença de *Eugenia arenosa* e em todas as zonas foram observados regenerantes com flores – Figura 162.

Cabe destacar que a camada de serrapilheira na parcela com *topsoil* de mata de encosta estava mais preservada e espessa em relação à parcela com *topsoil* de mata ciliar, em estágio de decomposição mais avançado.



Figura 162. Detalhe de regenerantes sobre a parcela com *topsoil* de mata ciliar. **Foto:** C.L. Vieira (Março, 2016).

O penúltimo monitoramento foi realizado em Julho de 2016. A parcela mix apresentou um percentual de cobertura em 50-75% nas zonas Z1 e Z2, com 0-25% na zona Z3, onde ocorrera intenso pisoteio do gado bovino. Predominaram indivíduos de trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*) – Figura 163.

As unidades de avaliação UAP2-ME e UAP3-Ts não apresentaram regenerantes em qualquer uma das zonas. Na base da parcela testemunha foi registrado um acúmulo de 18 cm de sedimento retido na estrutura em semicírculo. A redução em dois (2) cm de sedimento acumulado em relação ao monitoramento realizado em março pode estar

associada não somente ao pisoteio do gado quanto à erosão hídrica, devido aos intensos e consecutivos eventos de chuva que caracterizaram o inverno gaúcho no referido ano.

A parcela com *topsoil* de mata ciliar apresentou onze indivíduos no total, sendo um indivíduo na Z1, dois na Z2 e oito na Z3, onde se destaca a presença da espécie nativa dos areais do sudoeste do RS, *Eugenia pitanga*.

Apesar de o campo estar bastante ressecado em função do inverno rigoroso ocorrido em 2016, verificou-se que as crostas biológicas apresentavam uma coloração verde-claro e maior desenvolvimento em altura e largura, denotando a sua melhor adaptação a temperaturas mais baixas. Estes organismos foram observados em vários pontos da propriedade, colonizando afloramentos de rocha, taludes sombreados de ravinas e associadas ao campo nativo.



Figura 163. Indivíduos de trevo vesiculoso sobre a parcela Mix. **Foto:** C.L. Vieira (Julho, 2016).

Havia intensa atividade de formigas cortadeiras do gênero *Atta*, coletando material vegetal na propriedade em estudo e transportando para a propriedade ao lado, área com o plantio de eucalipto, onde poderiam ser avistados diversos ‘olheiros’.

O último monitoramento foi realizado em outubro de 2016. Na parcela Mix, UAP1-Mix, foram registrados 80 indivíduos de trevo vesiculoso no total, sendo 40 na Z1, 30 plantas na Z2 e 10 na zona três (3), Z3. O percentual de cobertura do solo estimado foi 0-25% em todas as zonas.

Na parcela P2-ME foram contabilizados nove indivíduos na Z1, seis na Z2 e nove na Z3, totalizando 19 regenerantes. A estimativa de cobertura do solo foi de 0-25% para as três zonas. Um indivíduo de *Senecio cisplatinus*, espécie nativa típica dos solos com arenização no Rio Grande do Sul, foi registrado na Z3.

A unidade de avaliação testemunha UAP3-Ts não apresentou regenerantes. A quantidade de sedimentos acumulada em sua base foi de 18 cm.

Melhores perspectivas foram registradas na parcela com *topsoil* de mata ciliar, com 29 regenerantes no total, sendo sete indivíduos na zona um Z1, oito na zona dois (2), Z2 e 14 plantas na Z3 – Figura 164. A estimativa de cobertura para as três zonas foi de 0 a 25%.



Figura 164. Regenerantes verificados na zona três Z3, UAP4-MC após 13 meses de deposição do *topsoil*. Foto: C.L. Vieira (Outubro, 2016).

O laudo com o resultado das amostras coletadas para a análise nas parcelas Mix, Testemunha, Mata Ciliar e Mata de encosta apresentou valores semelhantes para as UAs P3-Ts, P2-ME e P4-MC quanto aos parâmetros acidez ativa (pH), acidez potencial (Al+H), macro e micronutrientes, saturação do solo por bases, índice SMP, saturação por alumínio e as relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K. Ou seja, a aplicação em superfície de *topsoil* não gerou alterações químicas significativas em relação às propriedades verificadas na parcela descoberta, UAP3-Ts. Foi destaque, entretanto, o efeito da fertilização do solo com adubo orgânico, pois a parcela Mix apresentou: menor acidez, com pH 5,7, enquanto as outras parcelas apresentaram um valor médio de pH 4,8; saturação por bases de 56% em comparação a um valor médio de 14,3% para as outras parcelas; teor de P = 14 mg/dm³ e K =127 mg/dm³, enquanto para as outras parcelas os valores médios foram de 2,96 mg/dm³ e 11 mg/dm³, respectivamente e saturação por alumínio nula, enquanto para as outras parcelas o valor médio obtido foi de 69,3%.

Um panorama comparativo geral para todas as UAs, durante todo o período de avaliação foi sintetizado nos gráficos que seguem – Figuras 165 a 166. Dentre as parcelas que receberam *topsoil*, a unidade de avaliação com material de mata ciliar apresentou melhor desempenho, tanto na quantidade de regenerantes, quanto na diversidade de espécies observadas.

A parcela Mix apresentou maior quantidade de plântulas na terceira e na quarta avaliações, realizadas nos meses de março e julho de 2016 e uma maior diversidade de espécies no primeiro monitoramento, realizado em dezembro de 2015. Já para as unidades de avaliação que receberam transposição de solo de mata de encosta e mata ciliar foi verificado um maior número de regenerantes nas primeiras e últimas avaliações, realizadas em dezembro 2015 e outubro de 2016 e um correspondente acréscimo na diversidade de espécies vegetais para estes mesmos meses. De modo preliminar, pode-se inferir que o banco de sementes com espécies nativas de ambiente florestal demonstraram menor germinação durante os meses mais frios, outono e inverno, devido a uma provável dormência de grande parte do material propagativo.

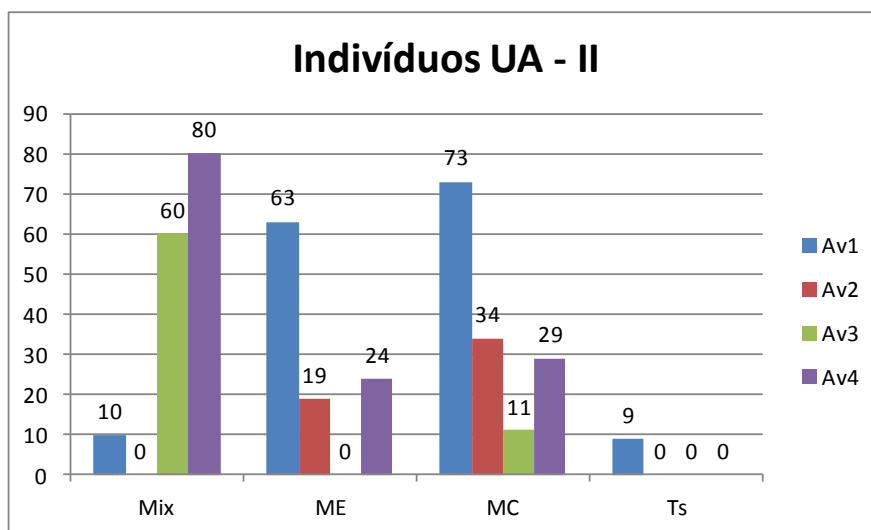


Figura 165. Gráfico representando o total de indivíduos vegetais registrados para as unidades de avaliação, ao longo dos trezes meses de coleta dos dados em campo. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

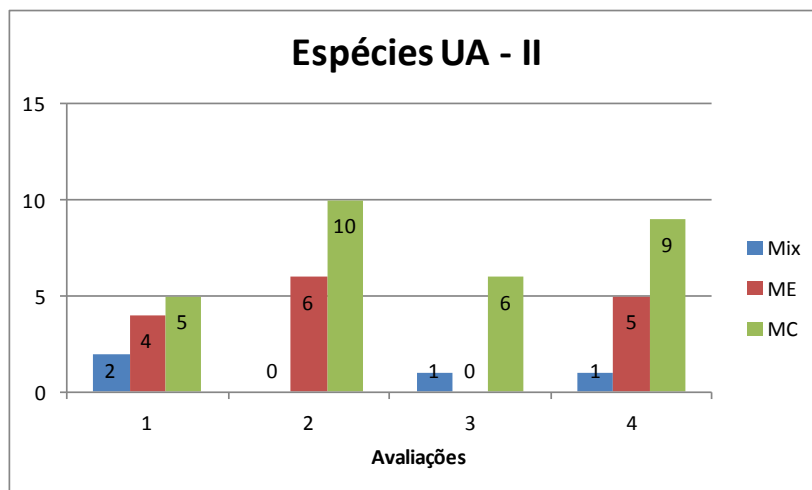


Figura 166. Gráfico representando as diferentes espécies vegetais verificadas para as UAs da área experimental II. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

A parcela Mix apresentou maior quantidade de indivíduos nas duas últimas avaliações, realizadas nos meses de julho e outubro de 2016, pois uma nova sementeira de uma mistura de espécies forrageiras hibernais havia sido realizada em março de 2016, associada à aplicação a lanço de terra preta adubada. Entretanto, uma maior diversidade de espécies para esta UA foi registrada na primeira avaliação, realizada no mês de dezembro de 2015. Após a sementeira do mix de espécies hibernais, foi registrada sobre a parcela somente a presença da leguminosa forrageira trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*) dentre as outras forrageiras exóticas semeadas: tremoço (*Lupinus albus*), aveia-preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) – Figuras 167 e 168.

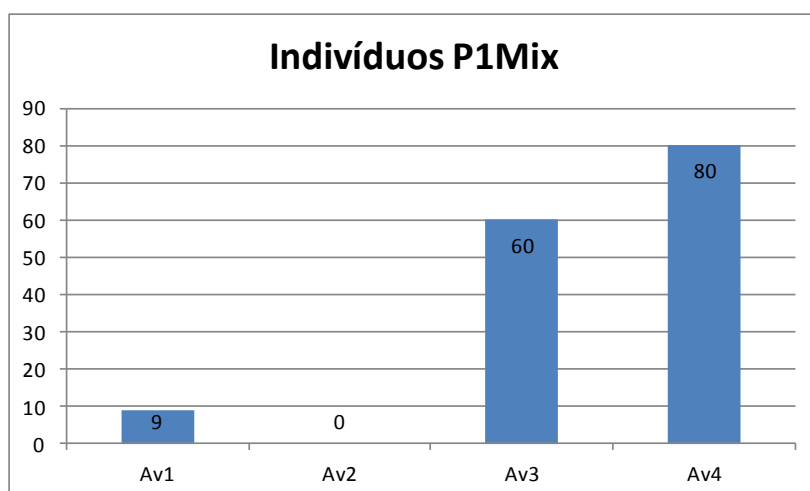


Figura 167. Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP1-Mix durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

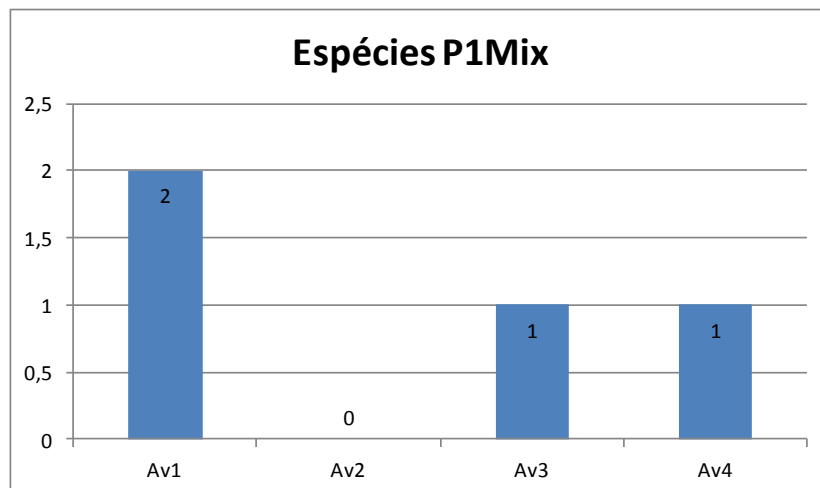


Figura 168. Gráfico representando as diferentes espécies registradas na parcela UAP1-Mix durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

Para a parcela com transposição de solo de mata de encosta P2-ME foi registrada a maior quantidade de regenerantes na primeira avaliação, realizada em dezembro de 2015, com ausência total durante o período de inverno, julho de 2016 - Av3, e novo incremento durante a primavera, outubro de 2016 - Av4, Figura 169. A diversidade de espécies apresentou pouca variação para as avaliações nas quais foram verificados regenerantes, Av1, Av2 e Av4, com uma média de cinco espécies diferentes colonizando a UA – Figura 170.

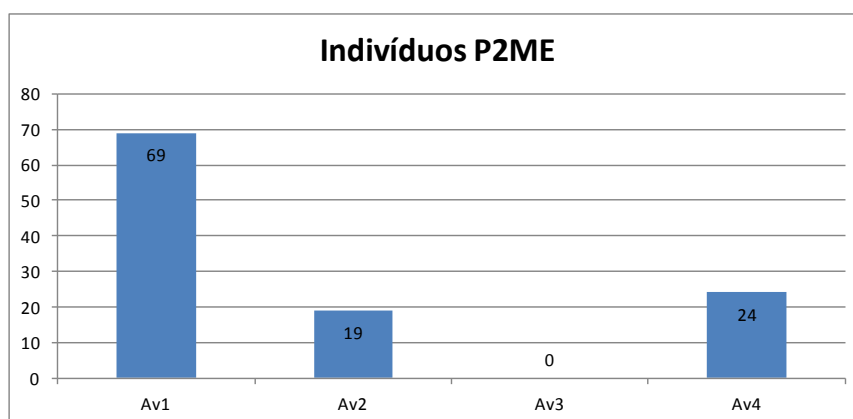


Figura 169. Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP2-ME durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

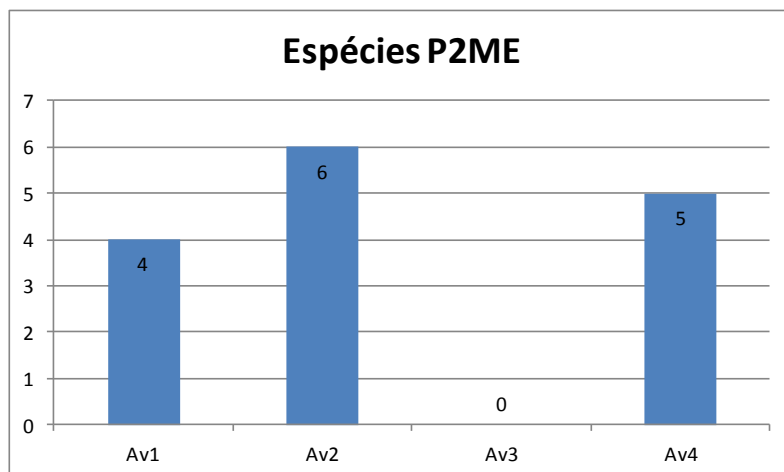


Figura 170. Gráfico representando as diferentes espécies registradas na parcela UAP2-ME durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

Para a unidade de avaliação testemunha só foram registrados indivíduos durante o primeiro monitoramento, realizado em dezembro de 2015, com total ausência de cobertura vegetal durante as avaliações posteriores – Figura 171. Só houve uma espécie colonizando a parcela, representada pela gramínea exótica braquiária.

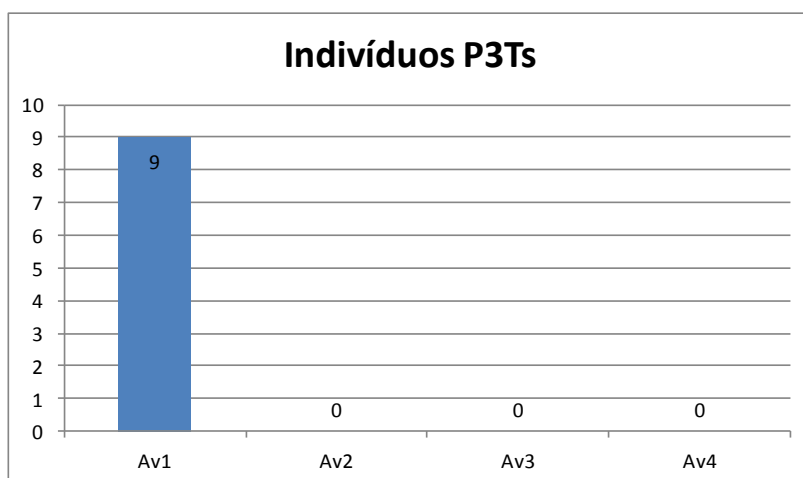


Figura 171. Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP3-Ts durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

Para a parcela com transposição de solo de mata ciliar a maior quantidade de indivíduos foi verificada nas avaliações de dezembro de 2015, março e outubro de 2016, respectivamente – Figura 172. O incremento na diversidade de espécies foi registrado para as avaliações Av2 e Av4, realizadas nos meses de março e outubro de 2016, correspondendo às estações com temperaturas mais amenas do outono e primavera – Figura 173.

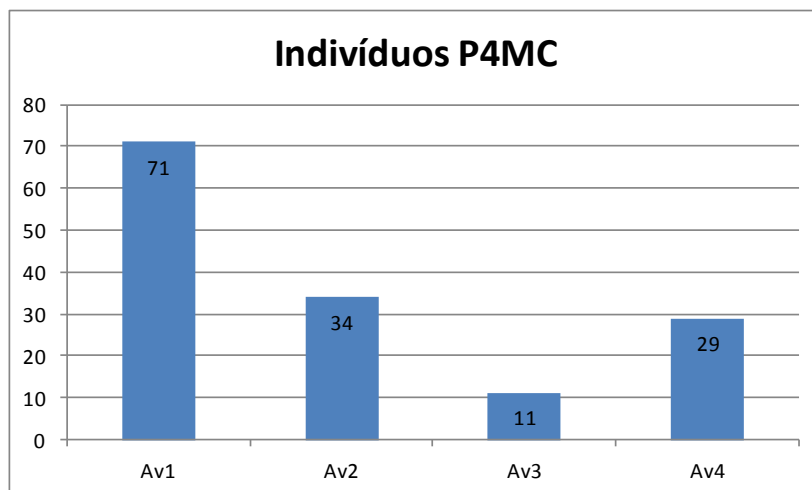


Figura 172. Gráfico representando o total de indivíduos registrados para a parcela UAP4-MC durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

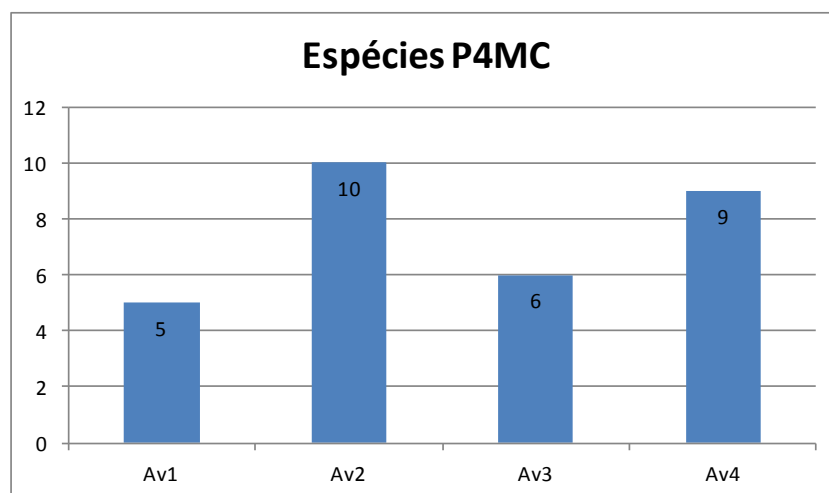


Figura 173. Gráfico representando as diferentes espécies observadas na parcela UAP4-MC durante o período avaliado. **Elaboração:** C.L. Vieira (Novembro, 2016).

Analisando comparativamente as espécies coletadas em campo e herborizadas com o material disponibilizado pelo Herbário do Instituto de Botânica da UFRGS, foi possível verificar a predominância de regenerantes do gênero *Senecio* e da família botânica Asteraceae, assim como espécies típicas dos campos com arenização do sudoeste do RS. Algumas das espécies foram identificadas por aproximação visual, sem a conferência minuciosa por meio de chaves taxonômicas, como: *Facelis retusa* (Lam.) – Asteraceae; *Senecio heterotrichus* DC - Asteraceae; *Galinsoga* sp. - Asteraceae; *Senecio riograndensis* - Asteraceae; *Solanum hasslerianum* – Solanaceae; *Senecio cisplatinus* - Asteraceae; *Senecio crossiflorus* (Poir.) DC - Asteraceae; *Senecio brasiliensis* - Asteraceae; *Chaptalia integerrima* (Vell.) Burk - Asteraceae; *Chaptalia*

exacapa - Asteraceae; *Ambrosia tenuifolia* Spreng. - Asteraceae; *Alternanthera praelonga* Saint-Hilaire – Amarantheceae; *Acanthospermum australe* (Loefl.) Kuntze – Asteraceae; *Sericea* sp. – Convolvulaceae e *Dichondra sericea* – Convolvulaceae.

7 DISCUSSÕES FINAIS

Ainda não há consenso quanto a uma metodologia ou um protocolo específico para a avaliação do potencial de resiliência de áreas submetidas a algum tipo de impacto em seu equilíbrio natural, sejam elas classificadas como degradadas, perturbadas ou com simples distúrbios em suas funções ecológicas. Uma das alternativas seria adotar a fitofisionomia original de um ecossistema de referência e amostrar a vegetação da área em estudo em diferentes momentos, com base em valores como a riqueza e a estrutura. Quantificar a resiliência implica, dentre outras necessidades, em se obter dados relativos à variação de indicadores no tempo e espaço, com relação a um determinado referencial. Dessa forma, pode-se inferir o tempo necessário para reestabelecer funções ecológicas e recuperar ecossistemas degradados. Em relação às fitofisionomias abertas, como o Bioma Pampa, o Cerrado e Caatinga, um dos indicadores ambientais mais adequados pode ser a avaliação do percentual de cobertura do solo pela vegetação nativa, como ervas, gramíneas e arbustos.

A proposta em se utilizar técnicas nucleadoras para avaliar o potencial de resiliência em solos arenosos com ocorrência do processo de arenização e erosão hídrica avançada teve como ponto de partida o entendimento de que, ao serem utilizadas para um propósito de restauração, estas técnicas formam microhabitats em núcleos que tornam favorável a atração de distintas formas de vida, as quais se tornam capazes de dispersar diversidade para outras áreas adjacentes (BECHARA, 2006, p. 11).

Ao longo dos monitoramentos realizados nas áreas experimentais AE-I e AE-II foi verificada a predominância de espécies herbáceas provenientes da transposição de solo, tanto de mata ciliar, quanto de mata de encosta. Este resultado vai ao encontro do exposto por Bechara (2006, p. 112) ao asseverar que na utilização de *topsoil* é verificado um grande número de regenerantes de porte herbáceo e arbustivo, pois estas plantas constituem a base do processo de sucessão secundária, devido ao seu desenvolvimento pioneiro, com característica mais agressiva e colonizadora. O autor complementa com a informação de que as plantas introduzidas por meio da técnica de transposição de solo, em função de sua rápida senescência, promovem um alto dinamismo na comunidade e o desencadeamento dos primeiros estágios de sucessão inicial (BECHARA, 2006, p. 118). De acordo com Bechara (2006, p. 120) quando há transferência de solo e serrapilheira de um local mais sombreado para outro com maior

insolação, ocorre uma ativação do banco de sementes que estava dormente sob a copa das árvores no ambiente florestal. Este comportamento foi verificado nas unidades de avaliação – UAs, com o desenvolvimento predominante de espécies herbáceas que compõem o ‘assoalho’ da floresta.

Quanto às investigações realizadas para o diagnóstico da propriedade, foi possível verificar certa confluência ao estudo conduzido por Rovedder *et al.* (2014, p. 2181) sobre a influência de fatores ambientais, tais como características pedológicas e grau de declividade nas relações solo-vegetação, condicionando a predominância de grupos fitossociológicos em determinadas porções do relevo. O estudo foi realizado na região central do estado do RS com a ocorrência de Neossolo Quartzarênico derivado da decomposição de rochas sedimentares areníticas em locais com relevo plano a suavemente ondulado, semelhante ao contexto geomorfológico do município de São Francisco de Assis. De acordo com os autores, verificou-se que as diferenças de declividade se refletiram nas propriedades químicas do solo, tendo influência sobre a dinâmica catiônica. Outro ponto importante verificado pelos mesmos foi o efeito da cobertura do solo em relação aos processos erosivos. Quanto maior a cobertura do solo pela vegetação há uma maior rugosidade superficial e, conseqüentemente, uma menor suscetibilidade aos processos erosivos (ROVEDDER *et al.*, 2014, p. 2183). Esta assertiva condiz ao verificado para o *meio estável*, terço inicial da propriedade em estudo no município de São Francisco de Assis.

O mesmo fato pode ser verificado nas UAs onde houve o plantio de capim Vetiver e a cobertura com manta orgânica, produzidas com fibra de sisal ou juta. Houve a proteção do solo contra os impactos diretos das gotas de chuva sobre as partículas arenosas inconsolidadas, impedindo a ocorrência do efeito *splash*, assim como processos de erosão laminar e em sulco. O acúmulo de sedimentos registrado nas parcelas abertas semicirculares implantadas para a estimativa de erosão na AE-I e na base da parcela Testemunha da AE-II ratificou o fato. Segundo Rovedder *et al.* (2005, p. 193) a manutenção da vegetação deve ser priorizada em qualquer atividade humana a se estabelecer na região de ocorrência dos areais, já que se trata de um componente essencial à estabilidade do ecossistema campestre da Campanha Gaúcha, protegendo o solo contra a erosão e reduzindo a temperatura na camada superficial.

De acordo com os autores, para a utilização da técnica de revegetação na recuperação de áreas degradadas devem ser observadas características fundamentais, como rusticidade, baixa exigência em fertilidade do solo, cobertura rápida e eficiente da

superfície e elevada produção de massa verde (ELTZ e ROVEDDER, 2005, p. 194). O capim Vetiver preenche estes pré-requisitos, sendo necessário, no entanto, a aplicação de fertilizante orgânico para o seu melhor desenvolvimento, em função das limitações edáficas intrínsecas típicas de Neossolos Quartzarênicos distróficos.

As significativas alterações na altura de lâmina de água, na vazão e na orientação do fluxo da Sanga do Rolador, causam o frequente solapamento da base do talude fluvial e a reativação de processos de erosão hídrica em sulcos na superfície. A este cenário somam-se a dinâmica pluviométrica bastante irregular e a elevada fragilidade ambiental inerente, sendo possível constatar presença de diferentes filtros ecológicos atuando de modo decisivo para a redução do potencial de resiliência.

Segundo registros dos relatórios de campo, em setembro de 2015 a Sanga do Rolador estava com um volume de água muito alto em relação ao mês de maio do mesmo ano, não sendo possível visualizar o acúmulo de sedimentos, tipo banco de areia, na margem esquerda, sentido montante-jusante. Em dezembro de 2015 foi verificada a liquefação do banco de areia junto ao talude fluvial erodido, assemelhando-se a uma 'areia-movediça'. No mês de março de 2016 o nível de água estava muito baixo. A sanga estava bastante assoreada, e o canal mais alargado, em relação a dezembro de 2015. Em julho de 2016 a evolução das ravinas conectadas à rede de drenagem foi bastante acelerada, com projeção remontante. Os dígitos alcançaram a lateral da área experimental I, próximo à parcela com *topsoil* de mata ciliar. Em outubro de 2016 os dígitos das ravinas transversais ao curso de água já haviam ultrapassado o início da AE-I.

Os regenerantes demonstraram melhor resposta quanto à taxa de germinação para as estações com temperaturas mais amenas e maior disponibilidade de água, assim como o mix de espécies exóticas semeadas na primavera de 2015 e no outono de 2016, na AE-II. Houve a predominância da família Asteraceae e do gênero *Senecio* em ambas as áreas experimentais. De acordo com Kissmann e Groth (1999, p. 152) a família Asteraceae é uma das mais expressivas, com um número de gêneros maior do que 1.100 e um número de espécies que deve ficar entre 20.000 e 25.000. Poucas dessas têm espécies sido aproveitadas economicamente e para usos industriais, apesar de algumas delas apresentarem elevado valor nutricional, potencial ornamental e uso estético. Segundo os autores, as plantas da família Asteraceae apresentam excepcional importância devido ao grande número de espécies infestantes e agressividade que em geral apresentam.

O gênero *Senecio* apresenta o maior número de espécies no mundo, com cerca de 1.300 a 2000 espécies conhecidas. No Brasil são reconhecidas ao menos 130 espécies e 25 para o Rio Grande do Sul. Grande parte delas apresenta elevada toxicidade quando ingeridas. Isso se deve à ação de compostos alcalóides pirrolizidínicos que levam ao desenvolvimento da doença cirrose, com caráter progressivo, sendo utilizado, inclusive, o termo “seneciose” para denominar o problema. A espécie nativa com ocorrência nos areais do RS, *Senecio cisplatinus* é relacionada como uma das mais importantes em relação à toxidade e morte de gado após a sua ingestão, que pode se manifestar de imediato ou após alguns meses (KISSMANN e GROTH, 1999, p. 402). Foi observada a presença de mesofauna e dispersores de sementes na área em estudo o que, aliado ao fato de haver fragmentos florestais próximos, torna viável o planejamento de propostas de revegetação que levem em conta o potencial de resiliência local e a identificação dos filtros ecológicos predominantes. Técnicas direcionadas à correção da fertilidade do solo e estabilização dos processos erosivos devem estar associadas, assim como o fomento a uma rede de produção de sementes das espécies nativas mais adaptadas às condições locais.

8 INVESTIGAÇÕES PARALELAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Ao longo do desenvolvimento do trabalho e realização das atividades em campo, laboratório e gabinete, diversas foram as discussões e os questionamentos paralelos suscitados, tanto pelas observações feitas, quanto pelos dados registrados. Uma consideração importante teve como base avaliar a possibilidade em sugerir uma proposta técnica que fosse efetiva para o estabelecimento de cobertura vegetal sobre os areais do RS, em consonância com a fitofisionomia campestre do Bioma Pampa. Dessa forma, a investigação a respeito das formações vegetais que originalmente compunham o ambiente selecionado para estudo assumiram caráter essencial. Admitiu-se, primeiramente, que poderiam ser obtidos bons indicativos a respeito da cobertura vegetal original da área a partir da análise de um recorte temporal em escala humana, a avaliação por fotos de satélite, o questionamento dos fatos relatados em depoimento da produtora rural, a verificação do banco de sementes viável presente na área, assim como a existência de fragmentos florestais próximos. No caso da propriedade rural considerada, foram verificados fragmentos florestais na propriedade fronteira, localizados de modo adjacente ao curso de água Sanga do Rolador, fronteira sul. De acordo com o depoimento da produtora rural, havia uma pequena formação florestal na propriedade, sobre o *meio fortemente instável*, a qual foi removida por processos intensos de erosão hídrica, ocasionados por um evento extraordinário de precipitação de chuva, há cerca de duas décadas. Considerando o intervalo histórico de fotos de satélite disponíveis no Google Earth, de 1984 até o presente, no entanto, é possível verificar que não havia mata ciliar na propriedade em estudo. O núcleo de arenização já estava presente na década de 80, constituindo o *meio fortemente instável* e cobrindo um percentual significativo da área útil total. Destacava-se, porém, uma predominante cobertura campestre em todo o restante da área e abundante vegetação herbácea na margem em frente, sobre a turfeira. Como as informações visuais disponíveis discordam daquelas fornecidas pela produtora rural, considerou-se a realização de uma investigação pretérita, com referência a uma escala de tempo geológica e o emprego de paleobiomarcadores. Esta proposta, complementar ao estudo, surgiu de forma espontânea, após a interação com um grupo de estudos do laboratório LAGEMAR, do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense – UFF/RJ, durante um

Simpósio da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, realizado em 2015.

A reconstrução de paleoambientes por meio da identificação de um conjunto específico de fitólitos, denominadas assembleias fitolíticas, utiliza a datação por isótopos estáveis de Carbono (C^{14}) e representa apenas uma das aplicações possíveis desta técnica, em um contexto pretérito. Fitólitos são partículas de sílica amorfa que alguns organismos vegetais acumulam no meio intra ou extracelular, após a absorção de sílica em um estado solúvel (sílica ácida) da solução do solo ou do lençol freático. O alto grau de preservação da sílica opala mesmo sobre condições de oxidação permite que se faça uma caracterização específica e funcional das plantas, assim como inferências sobre o paleoclima, favorecendo a compreensão das relações entre evolução e degradação do solo (COE *et al.*, 2013, p.2).

Os fitólitos são extraídos por meio de processo químico a partir de amostras com 20 g de solo seco, levemente comprimido, peneirado em malha de dois (2) mm e processado em quatro estágios: **1.** Dissolução dos carbonatos utilizando ácido clorídrico (HCl); **2.** Oxidação da matéria orgânica utilizando Peróxido De Hidrogênio (H_2O_2) a 30% e 90°C; **3.** Extração da fração argila (< 2 μ m) por decantação; **4.** Separação por densidade das partículas opacas em uma solução aquosa mais densa de Brometo de Zinco ($ZnBr_2$), densidade de 2,3 g/cm³. As partículas são secas e pesadas após a extração. Os fitólitos são então preparados sobre lâminas microscópicas em um meio de glicerina para a observação em 3D, e em bálsamo do Canadá para a contagem em um aumento de 600 x. Os fitólitos obtidos podem ser classificados em 10 tipos, relacionados ao tipo de vegetação e/ou família botânica (COE *et al.*, 2013, p. 63).

Os estudos com fitólitos de solo ainda são bastante incipientes no Brasil. Coe *et al.* (2013), por exemplo, realizaram trabalho em Cabo Frio/RJ a fim de investigar as potenciais mudanças ocasionadas durante o período Holocênico na densidade da cobertura arbórea, levando em consideração a pedogênese, as alterações em profundidade do solo nas assembleias fitolíticas e, principalmente, as alterações no índice de fitólitos D/P, indicativo da densidade de cobertura arbórea. De acordo com os autores, em função de a matéria orgânica do solo (MOS) ser composta por uma mistura complexa de moléculas orgânicas com diferentes origens e em diferentes estágios de decomposição, a análise pela massa de Carbono 14 pode representar somente a concentração média de C^{14} da amostra de solo. Os resultados obtidos pelos autores tornaram possível sugerir que: **1.** a densidade da cobertura florestal arbórea se

aproximava das formações florestais de ambientes secos, encontradas atualmente; **2.** a densidade da cobertura arbórea não diferiu significativamente para o período considerado (últimos 13 mil anos para o perfil do solo A) e **3.** a densidade de cobertura florestal no local de estudo nunca alcançou os níveis das florestas úmidas que frequentemente estão espalhadas pelo estado do Rio de Janeiro.

Coe *et al.* (2015, p.1) utilizaram protocolo de pesquisa com base em fitólitos de solo em locais com vegetação de restinga, município de Maricá/RJ, para a reconstrução de paleoambientes durante o período Quaternário. Os autores ressaltaram a importância quanto ao pioneirismo da pesquisa e afirmam ser essencial caracterizar as assembleias fitolíticas para cada comunidade vegetal, através da identificação dos principais morfotipos, a fim de que se pudesse reconstruir o histórico da vegetação de restinga naquele local. É importante destacar que a técnica de datação por fitólitos de solo muitas vezes permite que se faça uma reconstrução da evolução geomorfológica e da ocorrência de processos erosivos, em função do revolvimento, transporte e deposição dos sedimentos em uma dada posição da vertente. A datação de material mais antigo depositado de maneira sobreposta a um material de idade mais recente, por exemplo, indica o deslocamento de assembleias fitolíticas modernas em momento posterior à sua deposição pretérita. Este tipo de informação torna o emprego da técnica promissor para os areais do RS, possibilitando não somente a reconstrução da comunidade vegetal pregressa como o entendimento acerca da ocorrência de processos erosivos, cronologia e sequência de deposição dos sedimentos.

8.1 FITÓLITOS: BIOMINERALIZAÇÕES DE SÍLICA NOS AREAIS DO RS

Quatro amostras foram separadas a partir de material coletado na AE-II, em Dezembro de 2015. As análises para a identificação de paleobiomineralizações foram realizadas por uma aluna de mestrado do laboratório LAGEMAR, especialista na técnica, Karina F. Chueng, que havia desenvolvido suas pesquisas no Quadrilátero Ferrífero/MG, em condições ambientais com alguma semelhança aos areais do RS.

O Quadrilátero Ferrífero apresenta uma vegetação característica de transição entre o Bioma Cerrado e Mata Atlântica, representada por grande diversidade e complexidade estrutural nos tipos de vegetação, como os campos rupestres e de altitude,

as savanas, as matas de galeria e floresta semidecidual. A região se configura em uma das mais importantes províncias geológicas e geomorfológicas do Brasil, com especial interesse para recursos naturais tais como reservatórios de água doce e mineração de ouro. Outra semelhança com a região sudoeste do RS, além da reserva de água doce, formações campestres e florestais, o solo na região do Quadrilátero se originou, dentre outras, a partir de rochas sedimentares ricas em quartzitos, como as Formações do Grupo Itacolomi e Supergrupo Minas (BARROS *et al.*, 2016, p. 71 a 88). Os autores identificaram para o Quadrilátero Ferrífero a predominância de fitólitos típicos de espécies com metabolismo C3 datadas em 34 ka AP para um primeiro perfil de solo e fitólitos de espécies C4 datadas em aproximadamente 27 ka AP para outro perfil, com predominância dos grupos *bulliform*, *elongate*, *acicular*, *globular* e *bilobate*. De acordo com Barros *et al.* (2016, p. 71), foi possível inferir, a partir dos resultados obtidos, que o clima também desempenhou um importante papel na dinâmica hidrosedimentológica regional, dadas as variações na vegetação influenciando os terraços abandonados e a formação de planícies aluviais.

Em fevereiro de 2017 foi constatada a resposta positiva quanto à presença de biomineralizações de sílica, fitólitos de solo, para a propriedade em estudo no sudoeste do RS, sendo identificados os tipos *trapeziform*, *elongate*, *cuneiform* e *bulliform parallelepipedal*, característicos de células de gramíneas – Figura 182. O intervalo de análise coberto pelas datações realizadas por esta técnica cobre um intervalo de tempo máximo correspondente ao período Quaternário. Ou seja, a partir destes dados a interpretação mais razoável passa a ser a de que uma cobertura campestre predominava no local. Apesar de as áreas experimentais I e II estarem em proximidade com o curso de água, área de preservação permanente (APP), os resultados com os fitólitos para o local ressaltam a importância em se desenvolver recomendações técnicas que tenham como prioridade o emprego de espécies vegetais nativas componentes de uma fisionomia campestre e, não, florestal.

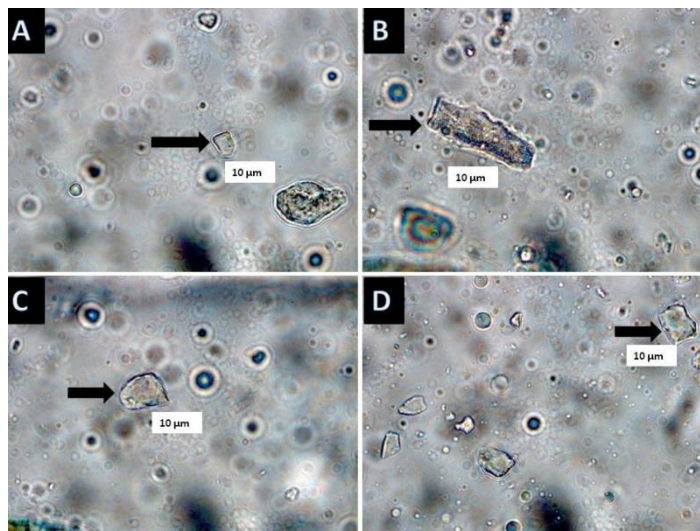


Figura 174: Biomineralizações de sílica em células de gramíneas, fitólitos de solo, identificados na propriedade rural em estudo, meio fortemente instável: **A.** *trapeziform*; **B.** *elongate*; **C.** *cuneiform* e **D.** *bulliform parallelepipedal*. Escala em 10 micrômetros. **Fonte:** Chueng, K.F. (Fevereiro, 2017).

Um projeto de pós-doutorado já está sendo delineado para ser desenvolvido na mesma propriedade rural onde foi conduzido o presente trabalho de pesquisa utilizando a técnica de datação por fitólitos de solo. Objetiva-se identificar a fisionomia vegetal característica da área em um recorte temporal relativo ao Quaternário, possibilitando que a reconstrução paleoambiental por biomineralização de sílica nos areais do sudoeste do RS. Este conhecimento servirá como base teórica para a formulação de um programa voltado à produção de sementes de espécies nativas adequado ao estabelecimento de cobertura vegetal, e específico para o contexto local.

9 CONCLUSÕES

Ao final deste extenso trabalho de caracterização, análise e diagnóstico, houve o entendimento de que diversas questões necessitam ainda ser investigadas por um tempo mais longo e com a utilização de outras técnicas, para que se possa ter maior precisão e acurácia nas proposições e ações práticas. Entretanto, a metodologia adotada para a interpretação do contexto ambiental, avaliação do potencial de resiliência, identificação dos fatores limitantes e recomendação de ações direcionadas à implantação de cobertura vegetal sobre uma área com ocorrência do processo de arenização demonstrou respostas preliminares bastante positivas e promissoras. Os resultados mais concretos obtidos na presente pesquisa estão relacionados a seguir:

1. Há, efetivamente, a influência do relevo no escoamento e infiltração da água em superfície, condicionando a dinâmica catiônica no perfil do solo, o que gera reflexos na diversidade e densidade da cobertura vegetal.
2. Neossolos Quartzarênicos presentes em distintos pontos do relevo podem apresentar diferenças nas propriedades físico-químicas em função de distintas características topográficas, predominância de cobertura vegetal e o tipo de alteração derivada do manejo do solo pelo homem.
3. A ocorrência significativa de anomalias de drenagem na bacia hidrográfica da Sanga da Areia condiciona a ocorrência de processos de erosão hídrica sobre taludes fluviais, com reflexo direto na reativação de paleodrenagens sobre a superfície e o desenvolvimento de ravinas e voçorocas.
4. A intensidade e a frequência das precipitações de chuva na região dos areais não apresenta um padrão de distribuição no tempo e espaço, tendo importância fundamental no desenvolvimento de processos erosivos e ausência de cobertura vegetal em solos arenosos da região dos areais do RS, se configurando como um importante filtro ecológico.
5. Há elevada diversidade de espécies vegetais nativas, típicas da fisionomia campestre do Bioma Pampa, em meios onde se verifica o equilíbrio entre processos pedogenéticos e morfológicos, como o terço superior da propriedade em estudo, *meio estável*.

6. Solos arenosos suscetíveis ao processo de arenização localizados no município de São Francisco de Assis respondem de forma bastante positiva a uma adubação orgânica, com esterco animal estabilizado, fornecendo condições adequadas ao desenvolvimento de gramíneas com maior rusticidade, como o capim Vetiver (*Chrisopogon zizanioides*). Dessa forma, recomendações técnicas que visem a aplicação de fertilizantes orgânicos são essenciais em projetos que objetivam o estabelecimento de cobertura vegetal neste contexto ambiental específico.

7. Técnicas de nucleação como a transposição de uma camada superficial de solo e serrapilheira sobre áreas com solo exposto pode vir a ser uma boa opção para a restauração ecológica de áreas degradadas no Bioma Pampa, desde que haja um cuidado quanto ao impacto causado pela coleta do material, havendo grande viabilidade para o reaproveitamento de *topsoil* proveniente de áreas destinadas à implantação de lavouras anuais na região sudoeste do RS.

8. O uso de materiais para a proteção da superfície do solo, como os geotêxteis fabricados com fibra vegetal, ao serem conjugados com o plantio de espécies que promovam a rápida de densa cobertura vegetal são capazes de impedir a perda de solo por erosão hídrica, como verificado nas parcelas abertas instaladas nas áreas experimentais I e II, destinadas a fornecer uma estimativa da quantidade de solo transportado pela erosão laminar.

9. Estruturas simples, como parcelas abertas, são capazes de fornecer importantes estimativas da perda de solo arenosos por erosão hídrica. A facilidade em sua execução e monitoramento permite que a técnica seja aprendida e replicada em propriedades rurais, favorecendo a autonomia do produtor para a gestão ambiental na propriedade.

10. Locais com ocorrência do processo de arenização no sudoeste do RS podem apresentar um importante potencial de resiliência, não sendo configuradas, necessariamente, como áreas degradadas. Faz-se imperativo, entretanto, que os principais filtros ecológicos sejam identificados, permitindo ações direcionadas e adequadas ao contexto ambiental em questão.

11. A análise ambiental integrada permitiu que se realizasse uma leitura abrangente e interrelacionada em escala local, se constituindo como importante ferramenta para a

gestão e adequação da propriedade rural, principalmente se aliada a uma caracterização geomorfológica, aplicada em escala regional.

Exceto nos momentos de implantação das áreas experimentais, a metodologia adotada não demandou a disponibilização permanente de uma grande equipe de técnicos e funcionários, sendo plenamente exequível a sua realização por duas pessoas. Os custos para a implantação das AEs e as atividades de monitoramento podem ser bastante reduzidos para o produtor rural, principalmente se o mesmo residir na propriedade e viabilizar o aproveitamento de materiais disponíveis local e regionalmente.

Como avaliação final, conclui-se que os objetivos delineados para o trabalho foram alcançados em um período de tempo relativamente curto, com a mobilização de uma pequena área de trabalho e a geração de dados pioneiros e de grande relevância à proposição de novas técnicas de análise ambiental e ao estabelecimento de cobertura vegetal em solos arenosos do sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rochas e Solos**. Em inglês: Rocks and Soils - Terminology. São Paulo: ABNT/CEE, 1995.

AB’SÁBER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. Geomorfologia. n.18, IG-USP,SãoPaulo.1969.

AB’SÁBER, A. N. **Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários**. USP. Inst. Geogr., Paleoclimas. 1977.

ALBUQUERQUE, A.R.C. **Impactos ambientais na Bacia do Igarapé do Leão/Manaus – AM: tendências à arenização**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999. xiii, 120 p.; il., mapas; 30 cm.

ARONSON, J.; DURINGAN, G.; BRANCALION, P.H. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da Restauração Ecológica. In.: **IF Sér. Reg.** São Paulo: Secretaria Municipal do Meio Ambiente – Instituto Florestal. n. 44, p. 1-38 ago 2013, 44 p.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RS. Comissão especial sobre a arenização da região sudoeste do RS, 2008.

BARBOSA, L.M.B. (coord.). IV Simpósio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros, 2011. São Paulo. **Anais...**Instituto de Botânica: SMA, 2011. 344p.

BARBOSA, L.M.B. (coord.). Simpósio de Restauração Ecológica: Políticas Públicas para a Restauração Ecológica e Conservação da Biodiversidade, 5º, 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica: SMA, 2013. 400p.

BARROS, L.F.P.; COE, H.H.G.; SEIXAS, A.P.; MAGALHÃES, A.P.Jr.; MACARIO, K.C.D. Paleobiogeoclimatic scenarius of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, 67, p. 71-88, 2016.

BECHARA, F.C. **Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica Através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. 2006, 249 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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

BIGARELLA, J.J., HARTKOPF, C.C., SOBANSKI, A.; TREVISAN, N. **Textura superficial dos grãos em areias e arenitos**. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, X, 253-275, 1955.

BINDA, A.L. **Eventos hidrológicos extremos e morfodinâmica fluvial em área afetada por processos de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul - Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu**. 2016, 292 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

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

BRANCALION, P.H.S.; LIMA, L.R.; RODRIGUES, R.R. Restauração ecológica como estratégia de resgate e conservação da biodiversidade em paisagens antrópicas tropicais. In: PERES, C.A.; BARLOW, J.; GARDNER, T.A.; VIEIRA, I.C.G. (Orgs.). **Conservação da Biodiversidade em Paisagens antropizadas do Brasil**. Curitiba: Editora da UFPR, 2013. p. 565-687.

BRAND, F.S.; JAX, K. Focusing the meaning of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. **Ecology and Society**, v. 12, p. 23. Disponível em <<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art23/2007>>. Acesso em 20 jun. 2011.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P.; POESTER, G.C. **Práticas para a Restauração da Mata Ciliar**. Porto Alegre: Catarse – Coletivo de Comunicação, 2012. 60p.

COE, H.H.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C.N.; SANTOS, G.M.; SILVA, A.S.; SOUSA, L.O.F.; LEPSH, I.F. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, 287, p. 63-72, 2013.

COE, H.H.; RAMOS, Y.B.M.; SANTOS, K.P.S.; SILVA, A.L.C.; SILVESTRE, C.P.; BORELLI, N.; SOUSA, L.O.F. Dynamics of production and accumulation of puhytolith assemblages in the Restinga of Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. **Quaternary International**, p. 1-12, 2015.

COLEMAN, D.C.; HENDRIX, P.F. **Invertebrates as Webmasters in Ecosystems**. London, CABI Publishing, 2000. 336 p.

CORDEIRO, C.A.; SOARES, L.C. A erosão dos solos arenosos da região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Geográfica**. Rio de Janeiro, n. 39, v.4, p. 82-150, 1977.

CORRÊA, R.S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado: manual para a revegetação**. Brasília: Universa, 2005. 186 p.: il.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. (Tradução: Eduardo Nunes Fonseca). 1. ed. São Paulo: Folha de São Paulo, 2010. 368 p.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L.E.S. Mapeamento das Unidades de relevo no oeste do RS: o caso da Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatú. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11º, 2005, São Paulo, **Anais...** São Paulo, USP, 2005. p. 3576-3588.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L.E.S. Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (3): 487-502, dez., 2010.

ELTZ, F.L.F.; ROVEDDER, A.P.M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **R. bras. Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 193-200, abr-jun, 2005.

ETCHEBEHERE, M.L.; SAAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J. Aplicação do índice “relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para a Detecção de Deformações Neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient.**, São Paulo, v. 4, n.2, p. 43-56, outubro 2004.

FILHO, C.O.A.; GUASSELLI, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. Identificação de possíveis deformações tectônicas a partir de dados SRTM e sua relação com a gênese dos areais – sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 245-264, 2012.

FONSECA, D.A.; ROSENFELD, M.F.; MÜLLER, S.C. **Regeneração natural em área de floresta ciliar em processo de restauração ecológica**. Monografia de final de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Trabalho de Conclusão de curso. 2013. 38 p.

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., MÜLLER, S.C., VERDUM, R. Florística e fitossociologia da vegetação de um campo sujeito à renização no sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta bot. bras.** 23(2): 1-2009. p. 1-13, 2009.

FREITAS, E.M. ^a **Campos de solos arenosos do sudoeste do Rio Grande do Sul: aspectos florísticos e adaptativos, RS**. 2010. 171 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FREITAS, E.M. ^b Floristic of sandy soil grasslands in southwestern Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 1, p. 112-130, jan./mar., 2010.

FUJIMOTO, N.S.M.V.; GONÇAVES, 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**, v. 11, n. 2, p. 69-74, 2010.

GANDOLFI, S. Impactos das alterações no Código Florestal. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: Desafios Atuais e Futuros, 4º, 2011, São Paulo, **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica/SP: SMA, 2011, p. 21 – 25.

GASS, S.L.B. **Zoneamento Ambiental como subsídio para a definição de Áreas de Preservação Permanente**, 2015, 319 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

GUASSELLI, L.A. Mapeamento de areais a partir de sensoriamento remoto. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012, p. 97-126.

GUASSELLI, L.A.; EVERS, H. Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de areais no sudoeste do RS. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012, p.. 227-243.

HACK, J.T. Stream profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. **Survey, Jour. Research**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HIGGS, E.S. The two-culture problem: Ecological restoration and the integration of knowledge. **Restoration Ecology**, v. 13, p. 159-164, 2005.

HOLLING, C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, vol. 4 (1973), pp. 1-23. disponível em <http://www.zoology.ubc.ca/bdg/pdfs_bdg/2013/Holling%201973.pdf>. Acesso em 01 out. 2016.

KAGEYAMA, P.Y; SANTOS, J.D. Histórico da Restauração no Estado de São Paulo: Revisão de Bases Teóricas. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: Desafios Atuais e Futuros, 4º, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica – SMA, 2011, p. 13 - 20.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas Infestantes e Nocivas**. Tomo III, 2ª ed. São Paulo: BASF. 1991-1995, 723 p.: il.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas Infestantes e Nocivas**. Tomo I, 2ª ed. São Paulo: BASF. 1997, 825 p.: il.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas Infestantes e Nocivas**. Tomo II, 2ª ed. São Paulo: BASF. 1999, 978 p.: il.

KLANT, 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 e Ambiente: Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, n. 11, 71-80, jul/dez, 1995.

KROPOTKIN, P. **Mutual Aid, a Factor of Evolution**. New York: Cosimo Classics, 2009 (originally published in 1904), 350 p.

KRUMBEIN, W.C. (1941). Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 11, (2): 64-72.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 752 p.: il.

Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10 ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.: il.

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.

MARCUZZO, S.B.; ARAÚJO, M.M.; RORATO, D.G.; MACHADO, J. Comparação entre Áreas em Restauração e Área de Referência no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 38, n. 6, p. 961 – 972, 2014.

MELO, V.F., CORRÊA, G.F., MASCHIO, P.A., RIBEIRO, A.N., LIMA, V.C. A importância das espécies minerais no potássio total na fração argila de solos do triângulo mineiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 807-819, 2003.

MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. 4ed. Porto Alegre: Sulina, 2011. 120p.

MÓSENA, M. (2006) **Agricultura em áreas frágeis: as transformações decorrentes do processo de arenização em São Francisco de Assis/RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 143 p.

MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M. Mapa de dinâmica de erosão de bacias de drenagem: uma proposta metodológica de avaliação ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7º, Curitiba, **Anais...** Curitiba, PR: I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada, 1997, vol. II, (CD-ROM), 7 p.

OLIVEIRA, M.G., SUERTEGARAY, D.M.A. Processos Geomorfológicos na evolução da Paisagem. **Revista FSA**, Teresina, vol. 11, nº 2, art.2, p. 211-233, abr./jun. 2014.

OLIVEIRA, L.C.B.; GUASSELLI, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. Análise de áreas de arenização em Neossolos Quartzarênicos Órticos, nos estados de RS, GO, TO e PI, por meio de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17º, 2015, **Anais...** João Pessoa, Paraíba: SBSR-INPE, 25 a 29 de Abril, 2015, p. 4458-4465.

PARISCA, O.S.R. **Conservación de suelos y água. Uma premisa del desarrollo sustentable.** Caracas: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 2010. 470p.

PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M.; MOURA, J.R.S. Reflexões sobre as perspectivas Metodológicas em Geografia Física. **Revista da Pós-Graduação em Geografia.** Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, v. 1, p. 35-48, 1997.

PEREIRA, A.R¹. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão.** Belo Horizonte, MG: Editora FAPI, 2006, 239 p.: il.

PEREIRA, A. R². 2006. **Uso do Vetiver na estabilização de taludes e encostas.** Belo Horizonte: Boletim Técnico DEFLOR – Bioengenharia, ano 01, nº 003. 20 p.

PERGAMENT, M.I. **Methods of experimental physics.** London-New York: Taylor & Francis group/CRC Press, 2015.

PILLAR, V.P.; LANGE, O. (eds.). **Os campos do Sul.** Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. 192 p.: il.

RAMBO, B. **Viagens ao sudoeste do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Ed. da UFSM, 2014. 200 p.: il.

REIS, A.; ESPINDOLA, M.B.; VIEIRA, N. A nucleação como ferramenta para a restauração ambiental. In: Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica, 2003. p. 32-39.

REIS, A.; HMELJEVSKI, K.V. **A Recuperação Ambiental de Áreas Ciliares: o lago da Hidrelétrica de Itá.** Apostila. UFSC, 2009.

ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.2, p. 11-23, 2010.

RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V.; BARROS, L.C. Tropical Rain Forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso state, Brazil. **Forest Ecology and Management.** 190: 323-333, 2004.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. Adequação Ambiental de Propriedades Rurais e Recuperação de Áreas Degradadas. **Apostila.** Piracicaba: ESALQ/USP., 25p., 2011

ROMEIRO, C.E.; SOUZA, C.E.; LOPES, F.W. Discussões sobre a Recuperação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 1º, 2014, Alfenas, **Anais...** Alfenas – MG, 2014, 17 p.

ROSENTRETER, R.; BOWKER, M.; BELNAP, J. **A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands**. Denver, Colorado: U.S. Government Printing Office, 2007, 104 p.; il.

ROVEDDER, A.P.M.; ANTONIOLLI, Z.I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S.F. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Mages, v.3, n.2, p. 87-96, 2005.

ROVEDDER, A.P.M. **Potencial de *Lupinus albescens* Hook.&Arn. Para a Recuperação de Solos Arenizados do Bioma Pampa**. Santa Maria, RS. 2007. 154f. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ROVEDDER, A.P.M., ALMEIDA, C.M., ARAUJO, M.M., TONETTO, T.S., SCOTTI, M.S.V. Relação solo-vegetação em remanescente da floresta estacional decidual na Região Central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.12, p. 2178-2185, dez, 2014.

SANTOS, H.G.; ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, J.B.; LUMBRERAS, J.F.; ANJOS, L.H.C.; COELHO, M.R.; JACOMINE, P.K.T.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, V.A. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS, EMBRAPA**, 3ª ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 pg.: il. color.

SCHOSLER, D.S.; SCHOSLER, E.; ARANTES, C.A. Recuperação de área degradada com sementes arbóreas nativas do Bioma Pampa. In: COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – COBREAP, 17º, 2013, Santa Catarina. Santa Catarina: IBAPE, 2013, p.1-10.

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

SCOPEL, I.; SOUSA, M.S.; MARTINS, A.P. Infiltração de água e potencial de uso de solos muito arenosos nos Cerrados (savanas) do Brasil. **Bol. Goia. Geogr.** (Online). Goiânia, v. 33, n. 2, p. 45-61./mai/ago. 2013.

SER, Society for Ecological Restoration International. **Princípios da SER International sobre a Restauração Ecológica**. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política (Versão 2: outubro de 2004). Tradução de Efraim Rodrigues. 18p.

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.

SILVA, J.G. Conservação de espécies ameaçadas do Rio Grande do Sul através de seu uso no Paisagismo. **REVSBAU**, Piracicaba, v.5, n.4, p.01-21, 2010.

SILVA, L.A.P. Paisagem com areais: ecossistema testemunho, uma janela temporal. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012, p. 307 – 352.

SIRANGELO, F. **Análise da atividade de silvicultura em relação aos areais, com base nas restrições estabelecidas no Zoneamento Ambiental para a UPN PC3, no sudoeste do RS**. Porto Alegre. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

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.

STRAHLER, A.N. **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: **Handbook of applied Hydrology**, edited by V.T.Chow, 4-39/4-76. McGraw-Hill, New York, 1964.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.D.; DINIZ, R.S.; KLANT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª Edição. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.: il.

SUERTEGARAY, D.M.A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí-RS**. 1987, 243 f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1987.

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

SUERTEGARAY, D.M.A. **Deserto grande do sul: controvérsia**. 2. ed. rev. amp. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS, 1998.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R.; BASSO, L. A.; MEDEIROS, R. M. V.; MARTINS, R.; ROSSATO, M. S.; BELLANCA, E. T.; BERTÊ, A. M. de A. **Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do RS, 2001, 84 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. Erosão nos campos sulinos: Arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, v. 12, n. 3, número especial, p. 61-74, 2011.

SUERTEGARAY, D.M.A. Caminhos, Interfaces e Transdisciplinaridade: arenização como tema. In: **Arenização: natureza socializada**. Dirce Maria Antunes Suertegaray, Luís Alberto Pires da Silva, Laurindo Antonio Guasselli (org.). Porto Alegre: Compasso – Lugar Cultura: Imprensa Livre, 2012. p. 25 – 40.

SUERTEGARAY, M.R. O Clima no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. (org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, 2012, p. 385-411.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91 p.: 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.

TRUONG, P.; VAN, T.T.; PINNERS, E. 2008^a. **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.; VAN, T.T.; PINNERS, E. 2008^b. **Vetiver System applications: Technical reference manual**. 2nd ed. Thailand: the Vetiver Network International, 2008. 89 p.

VERDUM, R. **L'approche géographique des 'déserts' dans lês communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État Du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997, 211 f. Tese de Doutorado, UFR de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, France, 1997.

VERDUM, R.; BASSO L. A. Arenização na campanha gaúcha: mudanças na produção e degradações dos solos e das águas superficiais. In: CONGRESSO MUNDIAL DE SOCIOLOGIA RURAL, 10º e CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 28, Rio de Janeiro, 2000, 9p.

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. 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. Descoberta permanente: das areias aos areais. In: Dirce Maria Antunes Suertegaray; Luis Alberto Pires da Silva; Laurindo Antonio Guasselli. (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura & Imprensa Livre, 2012,v.1, p.73-83.

VIANA, R.A.G.; DURIGAN, G.; MELO, A.C.G. A Regeneração Natural sob Plantações Florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade? **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 533-552, 2010.

VIEIRA, C.L., VERDUM, R. Uso de espécies vegetais nativas em projeto destinado à estabilização de ravina localizada em área com ocorrência do processo de arenização – SW/RS. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: desafios atuais e futuros, 4º, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica – SMA, 2011, p. 333.

VIEIRA, C.L. **Emprego de técnicas mecânico-vegetativas em ravinamento no areal em São Francisco de Assis – sudoeste do Rio Grande do Sul.** 2012. 163 f.: Il. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VIEIRA, C.L., GOULART, A.G., CANEPPELE, J.C.G., VERDUM, R., SILVA, T.M. Flora Campestre do Bioma Pampa: dinâmica vegetacional e o processo de Arenização no Sudoeste do RS. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: Restauração Ecológica: novos rumos e perspectivas, 6º, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica – SMA, 2015, p. 283-284.

VIEIRA, C.L., VERDUM, R. Arenização e erosão hídrica no sudoeste do Rio Grande do Sul: análise dos agentes condicionantes e considerações básicas para intervenções mecânico-vegetativas. **Revista de Geografia**, vol. 32, nº 1, 2015. 25 p.

VOLF, M. R.. **Formas e Disponibilidade de K nos solos do Vale do Araguaia.** 2014. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Goiás: Universidade de Rio Verde, Brasil.

WEBBER, C.L. **Características e Morfologia de Crostas Biológicas de Solo em areais no sudoeste do Rio Grande do Sul.** 2016, 137 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. il.

WENTWORTH, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediment. **J. Geology**, 30, 377–392.

WESTMAN, W.E. Measuring the inertia and resilience of ecosystems. **BioScience**, v. 28, p. 705-710, 1978.

WETZEL, R.G. (1983). **Limnology**. Florida: Saunders College Publishing. 767p.

ARQUIVOS ELETRÔNICOS:

CONAMA. Resolução nº 238 de 1997.

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=238>

(acessado em 30/08/2016 às 10h22min).

http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/paqlf/wp-content/uploads/2008/08/textura_solo.pdf

(acessado em 24/08/2016 às 10h24 min).

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_5_22_12200611537.html

(acessado em 24/08/2016 às 10h31min).

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/world-reference-base/en/>

(acessado em 28/08/2016 às 13h43 min).

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils/docs/isricu_i9264_001.pdf

(acessado em 28/08/2016 às 15h30 min).

<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/>

(acessado em 28/08/2016 às 13h44 min).

<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/maps/>

(acessado em 29/08/2016 às 11h27 min).

http://www.isric.org/sites/default/files/Anthrosols_0.png

(acessado em 28/08/2016 às 17h59 min).

http://www.iuss.org/index.php?article_id=32

(acessado em 28/08/2016 às 22h51 min).

<http://www.undp.org/content/undp/en/home/search.html?q=sandy+soils>

(acessado em 30/08/2016 às 10h03 min).

<http://www.abas.org/educacao.php>

(acessado em 02/09/2016 às 12h42 min).

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm

(acessado em 02/09/2016 às 19h52 min).

http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/Solos_de_Goias_71851.pdf

(acessado em 02/09/2016 às 20h18 min).

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3444909/equipe-avalia-uso-sustentavel-de-solos-arenosos>

(acessado em 02/09/2016 às 22h34 min).

<http://www.ufrgs.br/areas-pampa/>

(acessado em 08/09/2016 às 08h58 min).

www.ibama.gov.br/phocadownload/supes_go/in_04_11_prad.doc

(acessado em 09/09/2016 às 11h07 min).

http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1484

(acessado em 11/09/2016 às 15h30 min).

http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=58&cod_conteudo=5867

(acessado em 11/09/2016 às 17h08 min).

<http://www.ibama.gov.br/publicadas/publicada-no-diario-oficial-in-para-elaboracao-de-prad>

(acessado em 01/10/2016 às 16h10 min).

<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letter-r>

(acessado em 17/10/2016 às 16h37 min).

<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431810&search=||info%20El%20ficos:-dados-gerais-do-munic%20EDpio>

(acessado em 01/11/2016 às 11h29 min).

<https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/~eder.clementino/GEST%C3%83O%20AMBIENTAL/LEGISLA%C3%87%C3%83O%20AMBIENTAL/NORMAS%20BRASILEIRAS%20REGULAMENTADORAS/NBR/NBR%2006502%20-%201995%20-%20Rochas%20e%20Solos.pdf>

(acessado em 22/11/2016 às 18h27 min).

http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/files/2015/01/2015_1_15_Procotolo_monitoramento_restauracao_vfinal.pdf

(acessado em 22/11/2016 às 18h29min).

<http://www.lerf.eco.br/capa.asp?pi=principal>

(acessado em 30/12/2016 às 14h57min).

http://sbsc.wr.usgs.gov/products/pdfs/Field_Guide_Book_25.pdf

(acesso em 15/09/2016 às 23h26min).

APÊNDICE B – Descrição das condições em campo quando realizadas as coletas de *topsoil*.

ATIVIDADE DE CAMPO	set/15		
SÃO FRANCISCO DE ASSIS/RS			
PONTOS DE COLETA	TOPSOIL DE MATIA DE ENCOSTA		
PONTO	COORDENADAS UTM	DISTÂNCIA DO CERRO (m)	OBSERVAÇÕES
1	680598, 6746859	3	solo arenoso, coloração clara; muitas raízes; presença de mesofauna
2	679542, 6746596	3	solo arenoso, com matéria orgânica; localizado em uma clareira
3	679560, 6746568	25	solo arenoso; coloração mais escura; presença maior do subosque; regemrantes; insetos
4	679564, 6746563	30	solo arenoso; coloração mais escura; presença de raízes; semente s; localizado na porção média da encosta
5	679554, 6746555	25	solo arenoso; coloração mais escura; matéria orgânica; subosque; local mais aberto em termos de vegetação/insolação
6	679540, 6746553	16	solo arenoso; coloração mais clara; matéria orgânica; localizado em uma clareira
7	679539, 6746567	15	solo arenoso; coloração mais clara; presença de graminhas; localizado em uma clareira
8	679523, 6746549	2	solo arenoso; coloração mais clara; ponto mais alto no terreno; matéria orgânica; próximo a uma nascente intermitente
9	679524, 6746553	0	solo arenoso; coloração mais esverdeada; coleta junto ao cerro; matéria orgânica; em uma clareira; mesofauna (pilho de cobra)
10	679525, 6746555	0	solo arenoso; coloração mais esverdeada; coleta junto ao cerro; matéria orgânica; presença de mesofauna

ATIVIDADE DE CAMPO	set/15	
SAO FRANCISCO DE ASSIS/RS		
PONTOS DE COLETA	TOPSOIL DE MATÁ CILIAR	
COORDENADAS UTM		
PONTO		OBSERVAÇÕES
1	680291; 6747040	solo com bastante matéria orgânica; coloração mais escura; coleta em local abaixo de uma leguminosa arborea; barranco com seis metros de altura
2	680297; 6747044	solo arenoso
3	680321; 6747178	mata mais aberta; poucos regenerantes arbóreos; solo mais escurecido; próximo à margem direita do rio, sentido nascente-foz
4	680309; 6747175	mata mais aberta; presença de regenerantes arbóreos; exemplares adultos de manacá-de-cheiro; solo mais escuro; matéria orgânica
5	680378; 6747151	margem direita do rio; presença de cadáceas; capim-palmelra; solo mais arenoso com boa cobertura vegetal; dique marginal
6	680385; 6747140	margem direita do rio; presença de leguminosas arbóreas; solo com coloração mais escura; matéria orgânica; 146 metros de altitude no GPS de navegação
7	680394; 6747135	margem direita do rio; solo menos arenoso; matéria orgânica; presença significativa de manacá-de-cheiro
8	673680; 6746688	solo bastante arenoso; significativa presença de calandria vermelha; margem direita do rio
9	680609; 6746672	presença de calandria vermelha; solo com coloração mais escura; matéria orgânica; ponto com escoamento superficial concentrado (talvegue ?)
10	680613; 6746681	boa quantidade de regenerantes arbóreos; presença de sementes de calandria; solo com coloração mais escura; boa quantidade de matéria orgânica; ponto com escoamento superficial concentrado

ANEXOS

ANEXO A – PONTOS E DADOS OBTIDOS POR MEIO DE GPS DE PRECISÃO

COLETAS DE PONTOS				
SÃO FRANCISCO DE ASSIS				
CAMPO NOVEMBRO 2014				
PONTO 00001 - Sanga da Areia	PONTO 00002 - Sanga da Areia	PONTO 00003- Sanga da Areia	PONTO 00004 - Sanga da Areia	PONTO 00005 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.3982587°S	lat WGS 84 - 029.3983109°S	lat WGS 84 - 029.3983039°S	lat WGS 84 - 029.3983070°S	lat WGS 84 - 029.3983766°S
long WGS 84 - 055.2301910°W	long WGS 84 - 055.2297452°W	long WGS 84 - 055.2297653°W	long WGS 84 - 055.2297634°W	long WGS 84 - 055.2294621°W
alt WGS 84 145.357 m	alt WGS 84 144.550 m	alt WGS 144.925 m	alt WGS 84 145.167 m	alt WGS 84 147.112 m
qualidade 6.386 m	qualidade 999.990 m	qualidade 6.574 m	qualidade 4.825 m	qualidade 4.766 m
PONTO 00006 - Sanga da Areia	PONTO 00007 - Sanga da Areia	PONTO 00008 - Sanga da Areia	PONTO 00009 - Sanga da Areia	PONTO 00010 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.3984401°S	lat WGS 84 - 029.3985028°S	lat WGS 84 - 029.3984380°S	lat WGS 84 - 029.3985917°S	lat WGS 84 - 029.3987138°S
long WGS 84 - 055.2292362°W	long WGS 84 - 055.2286432°W	long WGS 84 - 055.2284291°W	long WGS 84 - 055.2280992°W	long WGS 84 - 055.2279046°W
alt WGS 84 149.053 m	alt WGS 84 153.170 m	alt WGS 84 153.601 m	alt WGS 84 156.137 m	alt WGS 84 158.583 m
qualidade 6.312 m	qualidade 7.003 m	qualidade 6.789 m	qualidade 5.968 m	qualidade 6.103 m
PONTO 00011 - Sanga da Areia	PONTO 00012- Sanga da Areia	PONTO 00013 - Sanga da Areia	PONTO 00014 - Sanga da Areia	PONTO 00015 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.3988227°S	lat WGS 84 - 029.3988333°S	lat WGS 84 - 029.3991111°S	lat WGS 84 - 029.3994920°S	lat WGS 84 - 029.3999063°S
long WGS 84 - 055.2276251°W	long WGS 84 - 055.2272617°W	long WGS 84 - 055.2268229°W	long WGS 84 - 055.2261659°W	long WGS 84 - 055.2255699°W
alt WGS 84 162.288 m	alt WGS 84 166.103 m	alt WGS 84 170.699 m	alt WGS 84 175.637 m	alt WGS 84 180.978 m
qualidade 5.900 m	qualidade 6.069 m	qualidade 5.696 m	qualidade 7.218 m	qualidade 5.395 m
PONTO 00016 - Sanga da Areia	PONTO 00017 - Sanga da Areia	PONTO 00018 - Sanga da Areia	PONTO 00019 - Sanga da Areia	PONTO 00020 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.4001981°S	lat WGS 84 - 029.44005703°S	lat WGS 84 - 029.4010454°S	lat WGS 84 - 029.4015246°S	lat WGS 84 - 029.4018762°S
long WGS 84 - 055.2250782°W	long WGS 84 - 055.2245360°W	long WGS 84 - 055.2239047°W	long WGS 84 - 055.2233217°W	long WGS 84 - 055.2227370°W
alt WGS 84 184.223 m	alt WGS 84 183.535 m	alt WGS 84 182.794 m	alt WGS 84 186.894 m	alt WGS 84 191.271 m
qualidade 5.814 m	qualidade 5.721 m	qualidade 6.674 m	qualidade 6.938 m	qualidade 9.446 m
PONTO 00021 - Sanga da Areia	PONTO 00022 - Sanga da Areia	PONTO 00023 - Sanga da Areia	PONTO 00024 - Sanga da Areia	PONTO 00025 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.4023942°S	lat WGS 84 - 029.4030324°S	lat WGS 84 - 029.4033719°S	lat WGS 84 - 029.4037319°S	lat WGS 84 - 029.4040253°S
long WGS 84 - 055.2219021°W	long WGS 84 - 055.2211406°W	long WGS 84 - 055.2206713°W	long WGS 84 - 055.2200898°W	long WGS 84 - 055.2197503°W
alt WGS 84 196.723 m	alt WGS 84 199.665 m	alt WGS 84 200.657 m	alt WGS 84 196.926 m	alt WGS 84 192.577 m
qualidade 11.055 m	qualidade 15.753 m	qualidade 18.657 m	qualidade 18.335 m	qualidade 15.604 m
PONTO 00026 - Sanga da Areia	PONTO 00027 - Sanga da Areia	PONTO 00028 - Sanga da Areia	PONTO 00029 - Sanga da Areia	PONTO 00030 - Sanga da Areia
lat WGS 84 - 029.4045020°S	lat WGS 84 - 029.4045720°S	lat WGS 84 - 029.4049009°S	lat WGS 84 - 029.4054721°S	lat WGS 84 - 029.4055226°S
long WGS 84 - 055.2190907°W	long WGS 84 - 055.2188761°W	long WGS 84 - 055.2185602°W	long WGS 84 - 055.2183957°W	long WGS 84 - 055.2183473°W
alt WGS 84 196.523 m	alt WGS 84 198.490 m	alt WGS 84 200.427 m	alt WGS 84 203.176 m	alt WGS 84 204.980 m
qualidade 13.092 m	qualidade 7.497 m	qualidade 7.190 m	qualidade 7.347 m	qualidade 7.570 m

ANEXO B – ANÁLISES DE SOLO REALIZADAS NO LABORATÓRIO DE SOLOS DA FACULDADE DE AGRONOMIA/UFRGS



FACULDADE DE AGRONOMIA – DEPTO. SOLOS
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos
Serviço à Agricultura

Laudo de Análise de Solo

NOME: Carmem Vieira
MUNICÍPIO: SÃO FRANCISCO DE ASSIS
ESTADO: RS

DATA DO RECEBIMENTO: 16/10/2014
DATA DA EXPEDIÇÃO:
LOCALIDADE:

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al _{troc.} cmol _c /dm ³	Ca _{troc.} cmol _c /dm ³	Mg _{troc.} cmol _c /dm ³
1	14528/7	13	3.7	6.1	4.3	38	0.5	1.0	0.1	0.1
2	14528/8	13	4.2	5.9	1.7	40	1.1	1.0	0.2	0.2
3	14528/9	16	4.8	6.5	7.1	144	1.2	0.1	0.6	0.5
4	14528/10	13	4.5	6.5	1.5	23	0.7	0.5	0.3	0.2
5	14528/11	13	4.7	6.7	2.4	20	0.9	0.2	0.5	0.6

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹ de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1	3.9	4.19	7	77.1	1	1	1
2	4.9	5.40	9	66.6	1	2	2
3	2.5	3.96	37	6.4	1.2	2	1.4
4	2.5	3.05	18	47.2	1.5	5	3.4
5	2	3.15	37	14.8	0.8	10	12

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos e sob sistema de cultivo convencional. No sistema plantio direto, consultar um agrônomo.

NUM	S mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Cu mg/dm ³	B mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe g/dm ³	Na mg/dm ³	OUTRAS DETERMINAÇÕES
1	0.0	0.0	0.0	0.0		.	.	.
2	0.0	0.0	0.0	0.0		.	.	.
3	0.0	0.0	0.0	0.0		.	.	.
4	0.0	0.0	0.0	0.0		.	.	.
5	0.0	0.0	0.0	0.0		.	.	.

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	MI - 01
2	MI - 02
3	MI - 03
4	MI - 04
5	MI - 05

Clesio Gianello
Eng^o Agr^o CREA 8^o Reg 25.642
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



FACULDADE DE AGRONOMIA – DEPTO. SOLOS
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos
Serviço à Agricultura

Laudo de Análise de Solo

NOME: Carmem Vieira
MUNICÍPIO: SÃO FRANCISCO DE ASSIS
ESTADO: RS

DATA DO RECEBIMENTO: 16/10/2014
DATA DA EXPEDIÇÃO:
LOCALIDADE:

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al troc. cmol _c /dm ³	Ca troc. cmol _c /dm ³	Mg troc. cmol _c /dm ³
6	14528/12	13	4.6	6.7	1.8	19	0.7	0.3	0.5	0.4
7	14528/13	18	4.2	6.6	2.4	7	0.3	0.6	0.1	0.1
8	14528/14	13	4.3	6.6	1.6	13	0.6	0.5	0.1	0.1
9	14528/15	13	4.4	6.5	1.6	15	0.6	0.7	0.1	0.1
10	14528/16	13	4.2	6.5	4.3	16	0.5	1.1	0.1	0.1

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹ de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
6	2	2.94	32	24	1.3	10	8
7	2.2	2.41	9	73.4	1	6	6
8	2.2	2.43	10	68.2	1	3	3
9	2.5	2.73	9	74.6	1	3	2.6
10	2.5	2.74	9	82	1	2	2.4

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos e sob sistema de cultivo convencional. No sistema plantio direto, consultar um agrônomo.

NUM	S mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Cu mg/dm ³	B mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe g/dm ³	Na mg/dm ³	OUTRAS DETERMINAÇÕES
6	0.0	0.0	0.0	0.0		-	-	-
7	0.0	0.0	0.0	0.0		-	-	-
8	0.0	0.0	0.0	0.0		-	-	-
9	0.0	0.0	0.0	0.0		-	-	-
10	0.0	0.0	0.0	0.0		-	-	-

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
6	MI - 06
7	MI - 07
8	MI - 08
9	MI - 09
10	MI - 10

Clesio Gianello
 Eng^o Agr^o CREA 8^o Reg 25.642
 Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000
 Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPTO. SOLOS
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos
 Serviço à Agricultura

Laudo de Análise de Solo

NOME: Carmem Vieira
MUNICÍPIO: SÃO FRANCISCO DE ASSIS
ESTADO: RS

DATA DO RECEBIMENTO: 16/10/2014
DATA DA EXPEDIÇÃO:
LOCALIDADE:

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al troc. cmol _c /dm ³	Ca troc. cmol _c /dm ³	Mg troc. cmol _c /dm ³
11	14528/17	14	4.3	6.7	4.1	10	0.1	1.5	0.1	0.1
12	14528/18	13	4.0	6.9	5.0	5	0.1	0.6	0.1	0.1

13	14528/19	9	4.3	6.4	0.7	6	0.1	1.1	0.1	0.1
.
.

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K determinados pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn e Na trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹ de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹; B extraído com água quente.

NUM	Al+H cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
11	2	2.22	10	86.9	1	4	3.9
12	1.6	1.81	12	73.8	1	8	8
13	2.8	3.01	7	83.6	1	7	7
.
.

CTC a pH 7,0. Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos e sob sistema de cultivo convencional. No sistema plantio direto, consultar um agrônomo.

NUM	S mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Cu mg/dm ³	B mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe g/dm ³	Na mg/dm ³	OUTRAS DETERMINAÇÕES
11	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	.
12	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	.
13	0.0	0.0	0.0	0.0	.	.	.	.
.
.

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
11	MI - 11
12	MI - 12
13	MI - 13
.	.
.	.

Clesio Gianello

Eng^o Agr^o CREA 8^o Reg 25.642
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000
Fones/Fax: (0xx51)3308-6023 - 3308-7457 - 3308-7459 - Email: labsolos@bol.com.br

ANEXO C – ANÁLISES DE SUBSTRATO REALIZADAS NO DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA E SILVICULTURA DA FACULDADE DE AGRONOMIA/UFRGS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA E SILVICULTURA
Laboratório de Biotecnologia - Análise de substratos Horticolas

Interessado: Carmem Lucas Vieira
Telefone: (51) 96271726 ; 94114829
Fax:
Rua: Rua Bogotá Nº 780 COMP. Casa
CEP: 91060-000 **Cidade:** Porto Alegre
Descrição das Amostras:
2081 MI - A
2082 MI - B
2083 MI - C

Data entrada: 17/10/2014
Data Saída: 21/11/2014
Bairro: Jardim Lindóia
Estado: RS

Amostra		2081	2082	2083
pH	H ₂ O	5,12	5,16	4,98
CE	mS cm ⁻¹	0,03	0,02	0,01
DU	kg m ⁻³	1504,37	1540,69	1580,96
DS	kg m ⁻³	1497,11	1529,96	1572,40
UA	%	0,48	0,70	0,54
PT	%	51,80	48,63	47,02
EA	%	7,04	5,44	5,76
AFD	%	19,44	23,50	19,12
AT	%	10,32	9,57	12,01
AR	%	15,01	10,13	10,13
CRA (10)	%	44,76	43,20	41,27
CRA (50)	%	25,33	19,70	22,14
CRA (100)	%	15,01	10,13	10,13

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; UA = Umidade Atual.

pH = determinado em água, diluição 1:5 (v/v); CE = condutividade elétrica obtida em solução 1:5 (v/v)

PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AR = água remanescente

CRA10, 50 e 100 = capacidade de retenção de água sob sucção de 10, 50 e 100 cm de coluna de água determinado em base volumétrica - v/v

AD = água disponível que pode ser obtida pela soma de AFD + AT

Observações: Média de três repetições por amostra.

Porto Alegre, 21 novembro, 2014

Prof. Gilmar Schäfer
CREA: RS097431

Responsável Laboratório de Análises de Substratos para Plantas

Laboratório de Biotecnologia do DHS - Análise de Substrato para Plantas
Av. Bento Gonçalves, 7712. C.P. 15100 - 91501-970 - Porto Alegre - RS
schafer@ufrgs.br

ANEXO D – ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE COMPOSTO ORGÂNICO DOADO PELA EMPRESA
AGROS (ERECHIM/RS)



FACULDADE DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SOLOS
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

LAUDO DE ANÁLISES

NOME: AGROS

MUN.: ERECHIM

Data de entrada: 17/04/13

EST.: RS

Data de expedição: 17/05/13

Nº DE REG.: R-122/2013

MATERIAL: COMPOSTO ORGÂNICO

Determinações	Amostra 01	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	34	gravimetria / -
pH	9,2	relação amostra/água 1:5/potenciometria
Densidade úmida - kg/m ³	450	-
Carbono orgânico - % (m/m)	32	combustão úmida/Walkley Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	2,4	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	1,5	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	3,3	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	3,7	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	1,3	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,53	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	196	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,5 mg/kg
Zinco total - mg/kg	630	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	0,72	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - mg/kg	760	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	0,78	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 10 mg/kg
Boro total - mg/kg	65	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg

Obs.: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.: Média de 2 determinações


Eng. Agr. Glesio Gianello, Ph.D.
CREA/Rs Reg. 25.642

Responsável pelo Laboratório de Análises

ANEXO E – ANÁLISE DE SOLO COMPARATIVA REALIZADA NAS PARCELAS MIX, TESTEMUNHA, MATA CILIAR, MATA DE ENCOSTA (AE-II).



FACULDADE DE AGRONOMIA – DEPTO. SOLOS
LABORATÓRIO DE ANÁLISES

40 anos
Serviço à Agricultura

Laudo de Análise de Solo

NOME: Camem Lucas Vieira

DATA DO RECEBIMENTO: 06/04/2016

MUNICÍPIO: SÃO FRANCISCO DE ASSIS

DATA DA EXPEDIÇÃO:

ESTADO: RS

LOCALIDADE: SP DIST. DE TAQUARI

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al ³⁺ troc. cmol _c /dm ³	Ca ²⁺ troc. cmol _c /dm ³	Mg ²⁺ troc. cmol _c /dm ³
1	16430/35	13	5,7	7,1	14	127	0,3	0,0	0,7	0,5
2	16430/35	14	4,8	6,7	3,0	12	0,2	0,9	0,1	0,1
3	16430/37	13	4,8	6,8	2,6	11	0,3	0,9	0,2	0,1
4	16430/38	17	4,7	6,7	3,3	10	0,2	0,6	0,3	0,1

Análise em massa de elementos químicos: pH em água 1:1. P e S determinados pelo método Mehlich; M.O. - oxidação seca; Ca, Mg, Al, Mn e Na extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; K, Zn extraídos com CaCl₂ 100 mg L⁻¹ em P; Cu e Co extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹. Extratos com água quente.

NUM	Al+H cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	%SAT da CTC		RELAÇÕES		
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1	1,2	2,73	56	0	1,4	2	1,5
2	2	2,25	10	78,1	1	3	3,3
3	1,7	2,04	16	72,1	2	7	3,5
4	2	2,44	17	57,6	3	12	3,9

CTC a pH 7,0. Na extração em solução para a análise pH 6,5. Calculado pela fórmula CTC = Al + Mg. Os dados relativos ao pH 7,0 não se aplicam a solos com CTC > 1 cmol_c/dm³ devido ao risco de saturação com Al. Na interpretação dos dados, consulte o agrônomo.

NUM	S mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Cu mg/dm ³	B mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe mg/dm ³	Na mg/dm ³	OUTRAS DETERMINAÇÕES
1	14	0,6	0,5	0,2	8			
2	32	0,2	0,9	0,1	12			
3	29	0,2	0,3	0,1	11			
4	21	0,2	0,2	0,1	9			

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação.

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	PARCELA MIX
2	TESTEMUNHA
3	MATA CILIAR
4	MATA DE ENCOSTA

Claudia Gianello
Eng^a Agr^a CREA-RS Reg. 26.842
Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7112 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000
Fone/Fax: (51) 3308-8000 - 3308-7457 - 3308-7450 - Email: labsoil@ufrgs.com.br