

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**ESPÉCIES VEGETAIS PARA O MANEJO BIOTÉCNICO  
DE TALUDES E ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS**

**TESE DE DOUTORADO**

**Fernando Prates Bisso**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2013**

# **ESPÉCIES VEGETAIS PARA O MANEJO BIOTÉCNICO DE TALUDES E ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS**

**por**

**Fernando Prates Bisso**

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

Orientador: Prof. Dr. Miguel Antônio Durlo

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

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

**ESPÉCIES VEGETAIS PARA O MANEJO BIOTÉCNICO  
DE TALUDES E ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS**

elaborada por  
**Fernando Prates Bisso**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**Comissão Examinadora:**

**Miguel Antão Durlo, Dr.**  
(Orientador)

**Fabício Jaques Sutili, Dr. (UFSM)**  
(Presidente)

**Cibele Rosa Gracioli, Dra. (UNIPAMPA)**

**Gil Vieira, Dr. (INPA)**

**Nestor Valtir Panzenhagen, Dr. (IFC)**

Santa Maria, 04 de março de 2013.

**Dedico aos meus pais**  
***JÚLIO CÉZAR* (in memoriam) e *MARIA TEREZA* (in memoriam),**  
**à minha esposa *RENATA* e aos meus filhos, *PEDRO* e *ANTÔNIO*.**

## AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela grande obra do universo, da vida e da consciência.

À minha esposa Renata e aos meus filhos, Pedro e Antônio, pelo apoio e compreensão nos momentos de privação decorrentes deste trabalho. Vocês são os grandes amores da minha vida e razão maior da minha existência.

Ao meu pai Júlio César (*in memoriam*) e minha mãe, Maria Tereza (*in memoriam*), pela minha existência e por tudo de bom que propiciaram e representam na minha vida. Em especial ao meu irmão, “Julinho”, pelo apoio, parceria e pelo difícil papel que assumiste na família, antes mesmo da partida de nosso pai. Às minhas irmãs, Tereza Cristina e Juliana, pelo apoio e momentos compartilhados em família.

Aos meus sogros, Luiz Carlos e Vera Regina, pela acolhida familiar e apoio. Às minhas cunhadas Aline e, em especial, à Fabiane, pelo auxílio nas traduções.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, por oportunizar mais este curso na minha formação profissional. À todos os professores e funcionários que, pela dedicação, profissionalismo e amizade colaboraram no transcorrer do curso. Aos colegas de curso, pela amizade e bons momentos de convivência.

Um especial agradecimento ao Professor Dr. Miguel Antão Durlo (orientador), pela amizade e pelos ensinamentos transmitidos, fundamentais na construção do meu conhecimento. Prezado “Miguel”, considero que foi um privilégio estar sob tua orientação. Muito Obrigado!

Aos Professores Dra. Ana Paula Roveder, Dr. Luciano Denardi, Dr. Josemar Valandro, Dr. Fabrício J. Sutili, Dr. Gil Vieira, Dra. Cibele R. Gracioli e Dr. Nestor V. Panzenhagen pelo aceite em comporem as bancas de exame de qualificação e de defesa de tese, bem como pelas suas sugestões e contribuições para o trabalho.

À Bisso & Cia e seus funcionários, pela disponibilidade da área e apoio no preparo do talude e condução do experimento a campo, em especial ao chefe de armazém Sr. Roberto (Cabelinho).

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense/Campus Araquari, nas pessoas dos professores Dr. Robert Lenocho, Dra. Joice Seleme Motta, MSc. Luciano Alves, MSc. Anelise Destefani e MSc. Sandra Maria Cunhasque, pelo apoio. Ao professor MSc. Juahil Oliveira Jr., pelo auxílio nas análises estatísticas. Aos colegas da sala da Produção Vegetal, professores: MSc. Rodrigo M. Monzani, MSc. Teomar Duarte da Silva, MSc. Giane Lavarda Melo, MSc. Luciano Alves, MSc. Daniel Peruzzo dos Santos e Dr. Josemar Valandro, pelo apoio e amizade.

Aos amigos: Biólogo Fabrício Verfssimo e Eng<sup>a</sup>. Agr<sup>a</sup>. Dra. Nara Ristow, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Aos “chefes” de Unicruz, Professores Maria de Lurdes Silveira Neto, com quem tudo começou há 18 anos atrás, e Roberto Luiz Salet, pela oportunidade, incentivo, competência e amizade. Muito obrigado!

Ao CNPq, pela bolsa de estudo e apoio financeiro ao projeto.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ESPÉCIES VEGETAIS PARA O MANEJO BIOTÉCNICO DE TALUDES E ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS**

AUTOR: FERNANDO PRATES BISSO

ORIENTADOR: MIGUEL ANTÃO DURLO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 04 de março de 2013.

Este trabalho teve como objetivo geral investigar a aptidão de espécies de plantas para o manejo biotécnico de taludes em latossolo. Os estudos iniciaram em março de 2009, na região de Cruz Alta-RS, Sul do Brasil (28°23'28,14" S e 53°22'25,61" O), incluindo o levantamento dos problemas ocorrentes nos taludes, a fixação de critérios para a escolha de espécies vegetais, a busca e seleção de espécies vegetais com características desejáveis, o teste a campo de quatro espécies selecionadas e a observação de aspectos ambientais relevantes. Os principais tipos de problemas encontrados foram: erosão laminar e por sulcos e falta de estabilidade do talude, causados principalmente pela falta de cobertura vegetal, inclinação excessiva da rampa, escoamento de águas de montante, dessecação, uso e manutenção de técnicas deficientes. Os critérios de seleção de espécies envolveram aspectos biotécnicos, biológicos, ecológicos e socioeconômicos, priorizados de acordo com as necessidades de cada caso. As espécies *Ipomea cairica*, *Pyrostegia venusta*, *Hedera canariensis*, *Mikania glomerata*, *Baccharis trimera*, *Petunia integrifolia*, *Rhynchosia corylifolia*, *Acanthospermum australe*, *Sambucus australis*, *Ateleia glazioviana*, *Hibiscus rosasinensis* e *Lagerstroemia indica*, pelas suas ocorrências, freqüências, formas e crescimentos, apresentaram potencial de uso no manejo biotécnico de taludes. Os taludes podem apresentar variações de fertilidade, temperatura e umidade em níveis capazes de comprometer o desenvolvimento da revegetação natural ou cultivada. A orientação geográfica do talude e a ocorrência de arborização podem influenciar significativamente estes fatores. *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus*, apresentaram características que as tornam aptas para o emprego no manejo biotécnico de taludes em latossolo. De acordo com as condições em que os estudos foram realizados, pode-se concluir que os resultados obtidos permitem confirmar a hipótese de que há espécies vegetais no sul do Brasil aptas para o manejo biotécnico e recuperação de áreas degradadas em taludes e que ainda não são convencionalmente utilizadas; para o cultivo de plantas em talude, recomenda-se o emprego de mudas, a fertilização do solo e o plantio nos períodos menos rigorosos, como práticas importantes para garantir boa sobrevivência, acelerar o crescimento vegetativo e otimizar os efeitos protetores, durante o período inicial de desenvolvimento. Sugerem-se maiores estudos sobre o manejo biotécnico destas espécies em taludes, principalmente quanto à eficiência dos diferentes métodos de propagação e das melhores formas de implantação e utilização.

Palavras-chave: engenharia natural; recuperação de taludes; estabilização de encostas; latossolos; Rio Grande do Sul; Sul do Brasil; *Ateleia glazioveana*; *Baccharis trimera*; *Pyrostegya venusta*; *Cynodom plectostachyus*.

## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Federal University of Santa Maria

### ESPÉCIES VEGETAIS PARA O MANEJO BIOTÉCNICO DE TALUDES E ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

### (PLANT SPECIES FOR BIOTECHNICAL MANAGEMENT OF SLOPES AND ENVIRONMENTAL ASPECTS ASSOCIATED)

AUTHOR: FERNANDO PRATES BISSO  
ADVISOR: MIGUEL ANTÃO DURLO

Date and Place of Defense: Santa Maria, Brazil, February 20, 2013.

This study aimed to investigate the suitability of plant species for biotechnical management of slopes in oxisol soils. The studies began in March 2009, in the region of Cruz Alta-RS, South Brazil (28°23'28,14" S e 53°22'25,61" W), and it included a survey of the problems occurring in the embankments, establishing criteria for the selection of plant species, the search and selection of plant species with desirable traits, field testing the four selected species and observation of key environmental aspects. The main problems found were: laminar and furrow erosion and lack of slope stability, caused mainly by the lack of vegetation cover, excessive slope of the ramp, excessive runoff, desiccation, use and maintenance of inadequate techniques. The criteria for species selection involved biotechnical, biological, ecological and socioeconomic aspects, prioritized according to the needs of each case. The species *Ipomea cairica*, *Pyrostegia venusta*, *Hedera canariensis*, *Mikania glomerata*, *Baccharis trimera*, *Petunia integrifolia*, *Rhynchosia corylifolia*, *Acanthospermum australe*, *Sambucus australis*, *Ateleia glazioviana*, *Hibiscus rosa-sinensis* and *Lagerstroemia indica*, for their occurrences, frequencies, forms and growths, showed potential for use in the biotechnical management of slopes. The slopes can vary in fertility, temperature and humidity at levels that can impair the development of natural or cultivated revegetation. The geographic orientation of the slope and the occurrence of trees can significantly influence these factors. *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus*, exhibited characteristics that make them suitable for uses in the biotechnical management of slopes in oxisol soils. According to the conditions under which the trials were conducted, it can be concluded that: the results confirmed the hypothesis that there are species in southern Brazil suitable for biotechnical management and restoration of degraded areas and slopes that are not conventionally used. For growing plants on the slope, it is recommended the use of seedlings, soil fertilization and planting in periods less stringent, as important practices to ensure good survival, accelerate vegetative growth and optimize the protective effects during early development. Further studies on the biotechnical management of these species in slopes, especially on the efficiency of different methods of propagation, and the best ways of deployment and use are suggested.

Keywords: soil bioengineering; slope recovery; slope stabilization; oxisol soils; South Brazil; *Ateleia glazioveana*; *Baccharis trimera*; *Pyrostegya venusta*; *Cynodom plectostachyus*.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classificação dos principais problemas em taludes (Fonte: Carvalho, 1991, adaptado).....	43
QUADRO 2 – Rodovias e estradas da região de Cruz Alta-RS onde foi realizado o levantamento diagnóstico de problemas ocorrentes em taludes, Cruz Alta, RS, Brasil (2009) .....	68
QUADRO 3 – Resultados e interpretação das análises de amostras de solo de diferentes níveis no perfil de talude em latossolo, com e sem vegetação arbórea à montante, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	121
QUADRO 4 – Influência da orientação geográfica do talude na temperatura do ar a 1,30 metros da base do talude e da rampa do talude a diferentes níveis de profundidade do solo, Cruz Alta, RS, Brasil, janeiro/2011.....	126



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com seus principais cursos de água, em destaque a cidade de Cruz Alta, local do experimento. (Fonte: Sutili 2007, adaptado) .....	25
FIGURA 2 - Fisionomia da paisagem da região de Cruz Alta, RS, Brasil (2007) ...	28
FIGURA 3 - Localização dos latossolos no Brasil. Fonte: IBGE (2007), adaptado de Atlas Nacional do Brasil (2000) .....	37
FIGURA 4 – Degradação em latossolo: movimento de massa em talude de Estrada (A); erosão por voçoroca em campo nativo (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	39
FIGURA 5 – Representação em perfil da superfície do terreno, antes e após (em negrito) terraplenagem com a construção de taludes de corte e aterro. No detalhe, a localização e denominação das regiões superior (topo ou crista) e inferior (base ou sopé) do talude (Adaptado de Caputo, 2003b).....	40
FIGURA 6 – <i>Ateleia glazioveana</i> Baill.: árvore em jardim (A); folhas (B); frutos (C); e sementes (D). Fonte: HDCF (2011).....	63
FIGURA 7 – <i>Baccharis trimera</i> (Less) DC.: planta jovem (A); floração (B); e dispersão de sementes (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	64
FIGURA 8 – <i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers: floração (A); fruto (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011) (A): Foto de Marcio Verdi (FloraRS/UFRGS, 2010) .....	65
FIGURA 9 – <i>Cynodom plectostachyus</i> (K. Schum.) Pilg.: em cobertura sobre talude rodoviário (A); extremidade do ramo em floração (B); e dispersão de estolões em talude (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	66
FIGURA 10 – Área de talude em latossolo antes da implantação do experimento, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	71
FIGURA 11 – Croqui com a distribuição dos tratamentos do experimento nas parcelas em talude, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	72
FIGURA 12 – Croqui da parcela amostral do experimento em talude com as suas regiões e a distribuição das subparcelas e seus respectivos níveis no perfil, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	73
FIGURA 13 – Demarcação das parcelas amostrais e abertura de covas durante a instalação do experimento em talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	74

FIGURA 14 – Broca de lâmina cruzada desenvolvida para a abertura das covas de plantio no talude experimental, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	75
FIGURA 15 – Instalação do sistema coletor de água e solo nas parcelas do experimento após o plantio e replantio: abertura do sulco (A); sulco aberto e instalação de mangueiras laterais (B); instalação de calhas e baldes (C); e sistema coletor pronto (D), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	76
FIGURA 16 – Local de retirada de ramos de <i>Ateleia glazioveana</i> em capoeira de pequeno talude em latossolo, Ijuí, RS, Brasil (2010).....	79
FIGURA 17 – Estacas de <i>Ateleia glazioveana</i> em três classes de diâmetro (A), parcela amostral durante o plantio (B), e parcela pronta (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	80
FIGURA 18 – Plantas de <i>Pyrostegia venusta</i> no local de coleta (A) e estacas prontas para o plantio (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	81
FIGURA 19 – Local de retirada das plantas matrizes de <i>Baccharis trimera</i> (A) e mudas recém plantadas na parcela experimental (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2010) .....	82
FIGURA 20 – Mudas de <i>Cynodom plectostachyus</i> após plantio no talude. Observa-se à esquerda, parcela plantada com estacas de <i>Pyrostegia venusta</i> Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	83
FIGURA 21 – Problemas em talude: erosão laminar e por sulcos (A) solapamento com ruptura vertical de maciços por tração no topo (B) e na base (C), e movimentos de massa de solo em talude por escorregamento com ruptura rotacional (D e E). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	97
FIGURA 22 – Cobertura vegetal em taludes de estrada (A) e rodovias (B e C). Talude revegetado com <i>Brachiaria</i> spp. há mais de 20 anos (B e C). Pode-se observar a ocorrência da invasora <i>Eragrostis plana</i> (capim-anoni) junto à base dos taludes rodoviários. Cruz Alta, RS, Brasil (2009).....	98
FIGURA 23 – Ocorrência de geada (A), vegetação seca pela geada (B) e efeito de geada em revegetação natural após queimada em talude rodoviário (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2009).....	99

FIGURA 24 – Queimada em talude rodoviário (A e B) e regeneração da vegetação (C). Pode-se observar três focos equidistantes (A), o que caracteriza queimada intencional criminosa. Pode-se perceber, na foto (C), mudança da geometria do talude devido à erosão superficial com deposição de solo na base do talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2009).....	100
FIGURA 25 – Cultivo agrícola em áreas de domínio de rodovias com dessecação de taludes (A, B e C). Observa-se, no canto esquerdo da imagem inferior, exemplares de <i>Ateleia glazioveana</i> (Timbó). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	101
FIGURA 26 – Grãos de cereais dispersos à margem de rodovias e escavações da macrofauna em taludes (A, B e C). Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	102
FIGURA 27 – Retirada irregular de solo em áreas de domínio de rodovias, sem reparação do dano ambiental (A) e depósito irregular de lixo e escombros junto a estrada (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	102
FIGURA 28 – <i>Ipomoea cairica</i> : desenvolvimento sobre dunas de praia em Rio Grande, RS (A); parte aérea em floração (B) e trama de cipós rente ao solo e suas raízes (C); desenvolvimento sobre área degradada pelo corte de solo (D), sob geada (E) e após ocorrência de geada (F). Cruz Alta, RS, Brasil (2009).....	109
FIGURA 29 – <i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.): em voçoroca (A); e em talude à beira de rodovia (B) e (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	110
FIGURA 30 – <i>Hedera canariensis</i> em talude rochoso junto à rodovia. Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	111
FIGURA 31 – <i>Mikania glomerata</i> vegetando espontaneamente na região superior da rampa de talude rodoviário (A), com ramificações que se estendem até o acostamento da rodovia (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2009).....	112
FIGURA 32 – <i>Baccharis trimera</i> : população nativa em talude rodoviário (A); e em margem de estrada (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	113
FIGURA 33 – <i>Acanthospermum australe</i> : mudas recém transplantadas em teste de cultivo em talude em latossolo em 01/02/2011 (A) e 60 dias após o transplante, já em fase de dispersão de sementes (B); sementes no detalhe em círculo branco (C); e em revegetação espontânea em talude de estrada (D) Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	114

FIGURA 34 – <i>Petúnia integrifolia</i> : revegetação em talude em latossolo (A e B); sob geada (C); e detalhes de ramo no estágio reprodutivo (D), da flor (E) e sementes (F). Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	115
FIGURA 35 – <i>Rhynchosia corylifolia</i> em revegetação natural em ambiente degradado em latossolo. Cruz Alta, RS, Brasil (2010).....	116
FIGURA 36 – <i>Sambucus australis</i> Cham & Schlt.: aspectos da inflorescência, folhas (A), frutos (B) e das fissuras do tronco (C). Fonte: FLORA-RS, 2011. Fotografias: Rodrigo Orihuela (A); Juliano Pörsch, (B), 2008, daptado .....	117
FIGURA 37 – <i>Ateleia glazioveana</i> Baill.: hábito de árvores no topo de talude (A), e junto à margem de rodovia (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	117
FIGURA 38 – <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> : utilizada na arborização urbana (A); e detalhe da brotação junto ao tronco e em rebentos de raízes (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	118
FIGURA 39 – <i>Lagerstroemia indica</i> : utilizada na arborização urbana (A e B); brotação junto ao tronco e em rebentos de raízes (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	119
FIGURA 40 – Árvore de <i>Solanum erianthun</i> : utilizada como poleiro (A) e excremento da avifauna sob a projeção da copa na superfície da rampa (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2001).....	123
FIGURA 41 – Temperatura em diferentes profundidades do solo, no topo e na rampa de taludes para os blocos sem (blocos 1 e 2) e com vegetação arbórea à montante (blocos 3 e 4). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	130
FIGURA 42 – Influência da vegetação arbórea sobre a interceptação de precipitação em talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011) .....	132
FIGURA 43 – Potencial gravimétrico de água do solo ao longo do perfil de talude sob diferentes condições de vegetação à montante. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	134
FIGURA 44 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) no número de plantas de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	136

FIGURA 45 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) na produção de biomassa de matéria seca de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	138
FIGURA 46 – Revegetação espontânea em talude: <i>Lolium multiflorum</i> no topo e junto a base da rampa (A); no topo em parcela testemunha (B); na região da rampa de parcela com plantio em linha de <i>Cynodom plectostachyus</i> (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	139
FIGURA 47 – Média do percentual de sobrevivência de diferentes espécies plantadas em talude em latossolo. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	140
FIGURA 48 – Média do percentual de sobrevivência de <i>Ateleia glazioveana</i> Baill., <i>Baccharis trimera</i> , <i>Pyrostegia venusta</i> e <i>Cynodom plectostachyus</i> em diferentes níveis no perfil do talude, aos 540 dias após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	141
FIGURA 49 – Altura média de plantas de <i>Ateleia glazioveana</i> em diferentes dias após plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	146
FIGURA 50 – Desenvolvimento de <i>Ateleia glazioveana</i> em talude: aos 360 dias após o plantio (A), e no detalhe (B) com plantas do nível inferior, com sinais de clorose devido à deficiência nutricional; aos 540 dias após o plantio (C), com redução do amarelecimento das plantas do nível inferior. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	147
FIGURA 51 – Número médio de brotos por planta de <i>Ateleia glazioveana</i> aos 540 dias após o plantio, em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	148
FIGURA 52 – Brotação em estacas de <i>Ateleia glazioveana</i> : aos 60 dias após o plantio (A); seca, em estaca morta (B); e sem vigor, aos 360 dias após o plantio (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	149
FIGURA 53 – Somatório do comprimento de brotos por planta de <i>Ateleia glazioveana</i> aos 540 dias após plantio, em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	150
FIGURA 54 – Brotação inicial de estacas de <i>Pyrostegia venusta</i> Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	151

FIGURA 55 – Número médio de brotos por planta de <i>Pyrostegia venusta</i> em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude em latossolo, no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	152
FIGURA 56 – Somatório do comprimento médio de brotos por planta de <i>Pyrostegia venusta</i> em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	153
FIGURA 57 – Comprimento médio de plantas de <i>Baccharis trimera</i> em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	155
FIGURA 58 – Número médio de ramos por planta de <i>Baccharis trimera</i> em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	156
FIGURA 59 – Altura média do relvado de plantas de <i>Cynodom plectostachyus</i> em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	158
FIGURA 60 – Número de brotações de <i>Cynodom plectostachyus</i> aos 540 dias após o plantio, em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	160
FIGURA 61 – Número de estolões de <i>Cynodom plectostachyus</i> em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	161
FIGURA 62 – Cobertura vegetal de <i>Ateleia glazioveana</i> (A.g.), <i>Baccharia trimera</i> (B.t.), <i>Pyrostegia venusta</i> (P.V.), <i>Cynodom plectostachyus</i> (C.p.) e tratamento testemunha (Test.) aos 180, 360 e 540 dias após o plantio em talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	163
FIGURA 63 – Cobertura vertical do talude em latossolo aos 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio de <i>Cynodom plectostachyus</i> (linha tracejada) e <i>Pyrostegia venusta</i> (linha contínua) em porcentagem da área das parcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	165
FIGURA 64 – Cobertura vertical do talude nos diferentes dias após plantio e níveis no perfil do talude aos 0*, 180, 360 e 540 dias após o plantio de <i>Cynodom plectostachyus</i> , em porcentagem da área das subparcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012). * = avaliação após o replantio.....	166

FIGURA 65 – Cobertura vertical do talude nos diferentes níveis no perfil de talude aos 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio de <i>Pyrostegia venusta</i> , em porcentagem da área das subparcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	167
FIGURA 66 – Cobertura frontal do talude para <i>Ateleia glazioveana</i> Baill., <i>Baccharis trimera</i> , <i>Pyrostegia venusta</i> , <i>Cynodom plectostachyus</i> e testemunha em talude, aos 540 dias após o plantio, na área da rampa. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	169
FIGURA 67 – Cobertura vertical do talude para <i>Ateleia glazioveana</i> , <i>Baccharis trimera</i> , <i>Pyrostegia venusta</i> , <i>Cynodom plectostachyus</i> e testemunha na região do topo de talude, aos 540 dias após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	170
FIGURA 68 – Efeito de diferentes espécies na perda média mensal de água em talude de corte em latossolo, durante o período de 3 a 12 meses após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	172
FIGURA 69 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média acumulada estimada de água por escoamento superficial em talude, no período do 3º ao 10º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	173
FIGURA 70 – Evolução do rebaixamento médio do perfil do solo em diferentes níveis do talude, independente dos tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	175
FIGURA 71 – Efeito de diferentes espécies no rebaixamento médio no perfil do solo em taludes de corte, em função do tempo, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	176
FIGURA 72 – Rebaixamento médio do perfil do solo em diferentes dias após o plantio e níveis do talude (50, 100, 150 e 200cm a partir do topo) , submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	177
FIGURA 73 – Turbidêz causada por perda de solo em água de escoamento superficial em talude submetido a diferentes tratamentos. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	180
FIGURA 74 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média acumulada de solo em talude, no período do 3º ao 12º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	181

FIGURA 75 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média mensal de solo em talude, no período do 3º ao 12º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011)..... 182



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) no número de plantas de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	136
TABELA 2 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) na produção de biomassa de matéria seca de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	137
TABELA 3 – Média do percentual de sobrevivência de diferentes espécies plantadas em talude em latossolo, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	139
TABELA 4 – Altura média de plantas de <i>Ateleia glazioveana</i> em diferentes dias após plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo, no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	146
TABELA 5 – Comprimento médio de plantas de <i>Baccharis trimera</i> , em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	155
TABELA 6 – Altura média do relvado de plantas de <i>Cynodom plectostachyus</i> , em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	158
TABELA 7 – Cobertura frontal do talude para <i>Ateleia glazioveana</i> , <i>Baccharis trimera</i> , <i>Pyrostegia venusta</i> , <i>Cynodom plectostachyus</i> e testemunha em talude, aos 540 dias após o plantio, na área da rampa. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	168
TABELA 8 – Cobertura vertical do talude para <i>Ateleia glazioveana</i> , <i>Baccharis trimera</i> , <i>Pyrostegia venusta</i> , <i>Cynodom plectostachyus</i> e testemunha na região do topo de talude, aos 540 dias após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	170
Tabela 9 – Efeito de diferentes espécies na perda média estimada de água por escoamento superficial em talude de corte em latossolo, durante o 11º mês após o plantio (fevereiro/2011). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	174
TABELA 10 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 180 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	178

TABELA 11 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 360 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	178
TABELA 12 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 540 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).....	179
TABELA 13 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média estimada de solo em talude, durante o 11º mês após o plantio (fevereiro/2011). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).....	183

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>23</b>
1.1.1 Objetivos específicos.....	24
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Caracterização da região de Cruz Alta-RS, Brasil.....</b>	<b>25</b>
2.1.1 Localização geográfica.....	25
2.1.2 Clima.....	26
2.1.3 Relevo e solo.....	26
2.1.4 Vegetação.....	27
2.1.5 Economia e uso do solo.....	27
<b>2.2 Degradação do solo.....</b>	<b>28</b>
2.2.1 Intemperismo.....	30
2.2.2 Erosão superficial .....	31
2.2.3 Erosão subterrânea .....	33
2.2.4 Movimentos de massa.....	33
2.2.5 Perda de solo.....	34
<b>2.3 Latossolo.....</b>	<b>35</b>
2.3.1 Geologia e ocorrência .....	35
2.3.2 Caracterização .....	37
2.3.3 Aptidão de uso.....	38
<b>2.4 Talude.....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Estabilidade .....	40
2.4.2 Problemas em taludes.....	41
2.4.3 Taludes de estradas e rodovias.....	43
2.4.4 Técnicas de melhoria de estabilização.....	44
<b>2.5 Recuperação de áreas degradadas.....</b>	<b>45</b>
2.5.1 Aspectos legais relacionados ao manejo de áreas degradadas.....	47
2.5.2 Revegetação de áreas degradadas.....	48
2.5.2.1 Revegetação em taludes de estradas e rodovias.....	50

2.5.2.2 Seleção de espécies de plantas.....	51
<b>2.6 Engenharia natural .....</b>	<b>56</b>
2.6.1 Métodos de manejo biotécnico .....	57
<b>2.7 Propagação de plantas.....</b>	<b>59</b>
2.7.1 Estruturas e métodos de propagação vegetativa.....	60
2.7.2 Estaquia .....	60
<b>2.8 Caracterização das espécies utilizadas no experimento.....</b>	<b>62</b>
2.8.1 <i>Ateleia glazioveana</i> Baillon.....	62
2.8.2 <i>Baccharis trimera</i> (Less.) D.C. ....	64
2.8.3 <i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.) Miers .....	65
2.8.4 <i>Cynodom plectostachyus</i> (K. Schum.) Pilg. ....	66
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
<b>3.1 Estudos preliminares .....</b>	<b>68</b>
3.1.1 Levantamento diagnóstico de taludes em Latossolo .....	68
3.1.2 Critérios para seleção de espécies .....	69
<b>3.2 Determinação de características biotécnicas.....</b>	<b>70</b>
3.2.1 Caracterização do local do experimento.....	70
3.2.2 Implantação do experimento em talude .....	72
3.2.2.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	72
3.2.2.2 Preparação da área e instalação das parcelas experimentais .....	73
3.2.2.3 Coleta, preparo e plantio do material propagativo.....	77
3.2.2.3.1 <i>Ateleia glazioveana</i> .....	78
3.2.2.3.2 <i>Pyrostegia venusta</i> .....	80
3.2.2.3.3 <i>Baccharis trimera</i> .....	81
3.2.2.3.4 <i>Cynodom plectostachyus</i> .....	82
<b>3.3 Estudo de aspectos ambientais relacionados .....</b>	<b>83</b>
3.3.1 Fertilidade do solo no perfil do talude.....	83
3.3.2 Influência da orientação geográfica em taludes .....	84
3.3.3 Temperatura do solo no perfil do talude experimental.....	85
3.3.4 Incidência de precipitação pluviométrica em talude.....	85
3.3.5 Teor de umidade no perfil do talude.....	86
3.3.6 Ocorrência de revegetação espontânea em taludes.....	87
<b>3.4 Avaliação do desempenho de espécies em talude .....</b>	<b>88</b>

3.4.1 Estabelecimento inicial das espécies .....	88
3.4.2 Desenvolvimento da parte aérea .....	88
3.4.3 Cobertura vegetal do talude.....	90
3.4.4 Rebaixamento do perfil do solo.....	91
3.4.5 Escoamento superficial e gravimetria do material erodido.....	91
<b>3.5 Análise estatística.....</b>	<b>93</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1 Estudos preliminares.....</b>	<b>94</b>
4.1.1 Levantamento diagnóstico de taludes em latossolo.....	94
4.1.2 Critérios e seleção de espécies.....	103
4.1.2.1 Critérios biotécnicos.....	104
4.1.2.2 Critérios biológicos.....	105
4.1.2.3 Critérios ecológicos.....	106
4.1.2.4 Critérios socioeconômicos.....	107
4.1.3 Espécies selecionadas.....	108
4.1.3.1 Grupo de espécies trepadeiras.....	109
4.1.3.2 Grupo de espécies herbáceas .....	113
4.1.3.3 Grupo de espécies arbustivas/arbóreas.....	116
4.1.3.4 Considerações sobre as espécies descritas.....	119
<b>4.2 Estudo sobre aspectos ambientais relacionados .....</b>	<b>120</b>
4.2.1 Fertilidade do solo no perfil do talude.....	120
4.2.2 Influência da orientação geográfica em taludes .....	125
4.2.3 Temperatura do solo no perfil do talude.....	129
4.2.4 Precipitação pluviométrica no talude.....	131
4.2.5 Teor de umidade no perfil do talude .....	133
4.2.6 Ocorrência de revegetação espontânea em taludes .....	135
<b>4.3 Avaliação do desempenho de espécies no talude experimental.....</b>	<b>139</b>
4.3.1 Estabelecimento inicial das espécies .....	139
4.3.1.1 <i>Ateleia glazioveana</i> .....	141
4.3.1.2 <i>Pyrostegia venusta</i> .....	143
4.3.1.3 <i>Baccharis trimera</i> .....	144
4.3.1.4 <i>Cynodom plectostachyus</i> .....	145
4.3.2 Desenvolvimento da parte aérea .....	145
4.3.2.1 <i>Ateleia glazioveana</i> .....	145

4.3.2.1.1	Altura média de plantas.....	145
4.3.2.1.2	Número médio de brotos por planta.....	148
4.3.2.1.3	Somatório do comprimento de brotos por planta.....	150
4.3.2.2	<i>Pyrostegia venusta</i> .....	151
4.3.2.2.1	Número de brotos por planta.....	151
4.3.2.2.2	Somatório do comprimento dos brotos por planta.....	153
4.3.2.3	<i>Baccharis trimera</i> .....	154
4.3.2.3.1	Comprimento médio de plantas .....	154
4.3.2.3.2	Número médio de ramos por planta.....	156
4.3.2.4	<i>Cynodom plectostachyus</i> .....	157
4.3.2.4.1	Altura média do relvado de plantas.....	157
4.3.2.4.2	Número de brotos por área.....	159
4.3.2.4.3	Número de estolões por área.....	160
4.3.3	Cobertura vegetal do talude .....	162
4.3.3.1	Cobertura vertical do talude.....	164
4.3.3.2	Cobertura frontal do talude.....	167
4.3.3.3	Cobertura da região do topo.....	169
4.3.4	Escoamento superficial.....	171
4.3.5	Perda de solo .....	174
4.3.5.1	Rebaixamento do perfil do solo.....	174
4.3.5.2	Gravimetria do material erodido.....	179
<b>4.4</b>	<b>Considerações sobre a aptidão biotécnica das espécies.....</b>	<b>184</b>
4.4.1	<i>Ateleia glazioveana</i> .....	184
4.4.2	<i>Baccharis trimera</i> .....	186
4.4.3	<i>Pyrostegia venusta</i> .....	188
4.4.4	<i>Cynodom plectostachyus</i> .....	190
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>193</b>
<b>5.1</b>	<b>Recomendações.....</b>	<b>196</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>197</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Os taludes podem ser naturais ou decorrentes de obras de engenharia e podem resultar em grandes impactos negativos aos ecossistemas onde estão inseridos, sendo bastante reconhecidos pela sua vulnerabilidade ambiental. Estas áreas podem ser geralmente caracterizadas por apresentarem alta declividade, solos compactados e de baixa fertilidade, acentuada drenagem hídrica superficial e baixa retenção de umidade, o que dificulta o restabelecimento da vegetação e, por conseguinte, expõem a área a danos por erosão. A alta declividade também reduz a estabilidade do maciço, o que acarreta riscos de desmoronamentos e de deslocamentos de massas de solo.

Os latossolos são solos bastante aptos para o uso agrícola e figuram entre os principais solos na região sul do Brasil, onde ocupam extensas áreas. Nos taludes em latossolos localizados nesta região, podem ser observadas, com bastante frequência, condições de degradação por processos erosivos, baixa revegetação espontânea, uso de espécies gramíneas sensíveis a geadas, revegetação espontânea de espécies exóticas invasoras e dificuldade no estabelecimento de reflorestamentos com espécies nativas.

Entre os taludes que apresentam maior degradação destacam-se aqueles localizados às margens de rodovias. Isto se deve a grande extensão e distribuição destas áreas, associadas a sua privilegiada condição de visibilidade. Observa-se ainda que, nestas situações de degradação, as condições naturais de revegetação espontânea mostram-se insuficientes ou de crescimento muito lento frente ao avanço do processo erosivo, o que justifica uma intervenção através do manejo biotécnico destes ambientes, visto que a segurança ambiental nestas áreas de risco está diretamente relacionada ao tipo de vegetação, às características físicas e químicas do solo e a fatores climáticos importantes como precipitação e temperatura.

A engenharia natural, também denominada como bioengenharia, engenharia biológica ou engenharia biotécnica ainda é pouco conhecida e empregada no Brasil. Em comparação com outros métodos, a engenharia natural pode apresentar soluções com ganhos ecológicos, econômicos e paisagísticos, dependendo dos

objetivos propostos (DURLO; SUTILI, 2005). A estabilização de taludes artificiais, como os resultantes do corte de estradas, são áreas importantes e tradicionais de aplicação da engenharia natural (SUTILI, 2007).

Apesar do desenvolvimento de tecnologias na área da engenharia natural voltadas à recuperação de áreas degradadas, pode-se observar constantemente o emprego de técnicas que, na prática, se apresentam ineficientes, principalmente ao longo do tempo, tanto em nível de estabilidade física, quanto de revegetação do perfil e proteção contra o processo erosivo. Verifica-se, portanto, a necessidade de estudos na área da engenharia natural no Brasil, em razão da carência de conhecimentos científicos e de existirem demandas em técnicas para a recuperação de áreas degradadas de taludes.

Com a hipótese de que há espécies vegetais no sul do Brasil ainda não convencionalmente utilizadas na recuperação de áreas degradadas de taludes, este trabalho visa conhecer as características biotécnicas de algumas espécies para o manejo destas áreas e contribuir para a ciência e preservação de espécies de plantas cujo valor de importância ambiental não é completamente conhecido. Para isto, foram realizados estudos na região de Cruz Alta, RS, que envolveram o levantamento dos problemas ocorrentes nos taludes, os critérios utilizados para a escolha de espécies vegetais para o seu manejo biotécnico e a busca e seleção de espécies vegetais com características desejáveis. Também foram apresentados e discutidos neste trabalho, o teste a campo de quatro espécies selecionadas e a observação de aspectos ambientais relevantes.

## **1.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve como objetivo geral investigar a aptidão de espécies de plantas para o manejo biotécnico de taludes em latossolo no Sul do Brasil, com observações conduzidas nas proximidades de Cruz Alta, RS.



## **1.2 Objetivos específicos**

Em termos específicos, os objetivos foram:

- Realizar levantamento diagnóstico de taludes em terrenos latossólicos na região de Cruz Alta, RS;
- Selecionar espécies de plantas com potencial de uso;
- Avaliar o desempenho de espécies de plantas em talude;
- Estudar aspectos ambientais relacionados ao manejo biotécnico dos taludes;
- Contribuir para o desenvolvimento e difusão da engenharia natural no Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Caracterização da região de Cruz Alta-RS, Brasil

#### 2.1.1 Localização geográfica

O município de Cruz Alta está localizado na região fisiográfica do Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, próximo às coordenadas de 28° de latitude sul e 53° de longitude oeste (Figura 1). A cidade situa-se precisamente sobre o divisor de águas entre as bacias do Rio Jacuí, à leste, e do Rio Uruguai, à oeste, sendo uma região rica em nascentes d'água e afluentes destes rios.



Figura 1 – Estado do Rio Grande do Sul com seus principais cursos de água, em destaque a cidade de Cruz Alta, RS, Brasil, local do experimento (Fonte: Sutili, 2007, adaptado).

### 2.1.2 Clima

Cruz Alta-RS está situada em uma zona de transição entre as regiões de clima tropical e de clima temperado. Possui condições gerais mais amenas dos climas subtropicais e apresenta um clima mesotérmico, sem estação seca, e com temperatura média anual de 18°C. Entretanto, esta temperatura média não expressa as reais condições térmicas da região, com diferenças marcantes entre verão e inverno decorrentes da inclinação dos raios solares (HOFFMANN et al., 1994).

Segundo a classificação climática de Köppen, a região de Cruz Alta-RS, possui clima do tipo Cfa, sub-tropical com verões quentes e chuvas bem distribuídas durante o ano (HOFFMANN et al., 1994). Em um estudo mais específico, Maluf (2000), classifica o clima desta região como Subtropical Perúmido (STPU), com temperatura média anual de 18,4°C, e temperatura média do mês mais frio de 13,3°C. A precipitação média anual é de 1.729mm, com superávit de 513mm no equilíbrio hídrico anual. A região também apresenta ocorrência de geadas no inverno e estiagens, estas últimas principalmente durante os meses de janeiro e fevereiro (MANUAL..., 2004).

### 2.1.3 Relevo e solo

A região de Cruz Alta pertence à formação geológica Serra Geral (MARTINS; WILDNER; HARTMANN, 2011) originária de derrame basáltico (HOFFMANN et al., 1994), e apresenta uma altitude ao redor de 470m, com relevo ondulado na forma de coxilhas (MANUAL..., 2004), bastante homogêneo, onde dominam os solos latossólicos (STRECK et al., 2008).

Nesta região de intensa ocupação agrícola, segundo Streck et al. (2008), os principais solos são originários de arenito e/ou basalto. Os solos de arenito são os mais ocorrentes, com relevo suave ondulado onde predominam, de acordo com a Classificação Brasileira de Solos, Latossolos Vermelhos Distróficos de textura média (Unidade de Formação Cruz Alta), com Gleissolos nas áreas de baixadas mal drenadas. Também ocorrem Latossolos Vermelhos (LV), pertencentes às seguintes classes: LV Distroférico (Unidade Santo Ângelo), de origem basáltica e relevo suave ondulado; e LV Distróficos húmicos (U. Passo Fundo) formados da mistura de sedimentos arenosos e basálticos.

#### 2.1.4 Vegetação

A vegetação de uma região reflete, em um processo dinâmico, a influência do conjunto de fatores ambientais (MARCHIORI, 2002) e está intimamente ligada às suas condições edáficas (REITZ; KLEIN; REIS, 1988) e climáticas, sendo que um dos principais fatores que a afetam é a disponibilidade hídrica (HOFFMANN et al., 1994). Neste sentido, pode-se destacar, também, a ação antrópica nas transformações da paisagem (MARCHIORI, 2002).

A região de Cruz Alta está situada na região de campos do planalto com ocorrência de capões, bem como amplas florestas de galeria com presença de araucárias (REITZ; KLEIN; REIS, 1988).

Os campos desta região constituem-se nos denominados: “campos de barba-de-bode”, devido a predominância de *Aristida longiseta* Steud., gramínea rústica adaptada aos solos ácidos e pobres em fósforo da região (RUEDELL, 1995); ou “campos sujos”<sup>1</sup>, neste caso caracterizados fitofisionomicamente por apresentarem gramíneas cespitosas altas dos gêneros *Andropogom*, *Panicum* e *Paspalum*, e por diversas ervas ou arbustos como as do gênero *Baccharis* spp e *Pteridium aquilinum*, entre outras.

#### 2.1.5 Economia e uso do solo

Até a metade do século XX, a principal atividade econômica da região foi a pecuária extensiva, de pouca produtividade se comparada à dos campos do pampa gaúcho devido ao solo pobre, com características naturais de acidez e baixo teor de fósforo, sobre o qual se desenvolviam os campos nativos. A partir da década de 1950 a atividade pecuária em campo nativo passou a ceder espaço para o uso agrícola das terras, inicialmente para o cultivo do trigo, e de forma bastante intensa, principalmente após a década de 1970, pela introdução da cultura da soja (RUEDELL, 1995).

Atualmente a atividade econômica da região está baseada na agricultura, tendo a soja como principal cultura no Sistema de Produção Plantio Direto (IBGE,

---

<sup>1</sup> Esta última descrição foi baseada em Reitz, Klein e Reis (1988) sendo que existem vários outros sistemas de classificação, de acordo com critérios florísticos, vegetacionais, ecológicos ou de sua combinação (MARCHIORI, 2002) e que podem ser observados em literatura específica.

2012). A região é referência tecnológica nesta modalidade de agricultura. Destaca-se ainda na região, a produção e a agroindústria leiteira, bem como a logística rodoviária e ferroviária de exportação de grãos, atrelada ao porto de Rio Grande, RS.

O contexto histórico sócio-econômico resultou na intensa transformação da paisagem desta região. O intenso uso agrícola do solo resultou no desmatamento em áreas de capões e de grandes extensões de campos nativos, que passaram a ser ocupadas pela vegetação de lavouras de monoculturas anuais de grãos e forrageiras, que mais recentemente avançaram inclusive sobre áreas de restingas e banhados, através de sua drenagem por envaletamento.

Atualmente são bastantes escassas as áreas que mantêm sua cobertura vegetal original, principalmente as de campo nativo, onde restam escassos fragmentos. Sua fisionomia predominante é composta por lavouras anuais, principalmente a de soja no verão e de forrageiras no inverno, cultivadas em sistema plantio direto, matas ciliares e caponetes de eucalipto. Na Figura 2 pode-se observar a fisionomia atual da região de Cruz Alta, RS, com lavouras e um remanescente de campo nativo com caponete de eucalipto.



Figura 2 – Fisionomia da paisagem da região de Cruz Alta, RS, Brasil (2007).

## 2.2 Degradação do solo

O termo “degradação”, no âmbito ambiental, pode ser definido como “a redução dos potenciais recursos renováveis por uma combinação de processos agindo sobre a terra” (ARAÚJO et al., 2005). Para os autores, estes processos

podem ser naturais, decorrentes do intemperismo, erosão natural, mudanças no clima ou decorrentes da evolução dos seres vivos, sendo que neste último grupo destacam-se as de natureza antrópica direta ou indiretamente causadas pelo homem. Glufke (1999) reporta-se às áreas degradadas como àquelas exploradas inadequadamente pelo homem.

De acordo com Gerrard (2000), os principais fatores e alguns de seus exemplos, envolvidos na degradação dos solos são classificados como: climáticos (precipitação, evapotranspiração, temperatura e umidade); de uso da terra (sustentabilidade dos sistemas de cultivo); da terra (vegetação, geologia, solo, hidrologia); e socioeconômicos (densidade populacional, políticas públicas).

Segundo Araújo et al. (2005), os diferentes componentes da unidade terra (atmosfera, solos, vegetação, etc), estão sujeitos às mais diferentes formas de degradação, de acordo com a sua natureza, sendo que muitas das degradações de natureza antrópica, como o desmatamento, ou por eventos naturais pontuais, como estiagens, podem ser reversíveis. Entretanto, existem degradações de natureza irreversíveis. Neste sentido, as agressões ao solo figuram entre as principais, visto o longo tempo necessário aos processos de formação e regeneração do mesmo.

Os diferentes tipos de degradação podem ser agrupados como: externos ao solo, no caso de erosões hídrica e eólica, entre outras; e de deterioração interna do solo. Neste último caso podendo ser de natureza química, como a perda de nutrientes, poluição, acidificação, salinização, entre outros; e de natureza física, como a compactação, a deterioração da estrutura do solo, entre outros (GERRARD, 2000). Segundo o autor, a degradação do solo pode ser classificada pela sua severidade, de acordo com os seguintes aspectos: o nível de degradação por erosão, química e física; o comprometimento das funções bióticas; e a capacidade de restauração do local.

A ocorrência de erosão e a alteração da estrutura original do solo são evidências de sua degradação, sendo que a identificação do solo e a sua aptidão de uso são as informações mais necessárias para o planejamento e bom uso do ambiente para fins agrícolas (STRECK et al., 2008), e também importantes para as mais diversas finalidades de uso.

### 2.2.1 Intemperismo

O intemperismo pode ser definido como o conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que operam na superfície terrestre. Sua ação resulta na desintegração das rochas e minerais em materiais soltos, que acrescido de materiais orgânicos, constitui o solo (HOFFMANN et al., 1994).

A água é o principal agente de intemperismo, atuando em conjunto com diversos outros agentes envolvidos, como o vento, a temperatura e a vegetação (CAPUTO, 2003a). O intemperismo químico é caracterizado pela reação entre minerais e soluções aquosas (HOFFMANN et al., 1994).

A temperatura do solo afeta diversos fatores e processos relacionados ao intemperismo, como a velocidade das reações químicas, a atividade dos microorganismos e da matriz orgânica, o desenvolvimento vegetal, a evaporação de água, entre outros (GERRARD, 2000). Segundo Pinto (2000), variações na temperatura provocam trincas, nas quais penetra a água, atacando quimicamente os minerais. O congelamento da água também exerce elevadas tensões de compressão, o que favorece a fragmentação do solo.

No intemperismo biológico a ação mecânica causada pela pressão exercida pelas raízes junto às fissuras favorece a desagregação das rochas (HOFFMANN et al., 1994). Segundo Pinto (2000), a presença da fauna e flora também promovem o ataque químico através da hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, entre outros processos, atuando na formação dos solos.

O intemperismo não deve ser confundido com erosão, pois é um processo muito lento, enquanto a erosão, bem mais rápida, consiste na retirada do material intemperizado ou não, de áreas mais altas para áreas mais baixas, pelos agentes transportadores, sendo que os principais agentes ocorrentes no Sul do Brasil são água e vento (HOFFMANN et al., 1994).

A resistência das rochas à ação dos agentes erosivos, bem como de intemperismo, está relacionada com a natureza de seu material de origem. Nas áreas planálticas o intemperismo é mais intenso. A nível geomorfológico, diversos fatores como o tipo de rocha, sua evolução e a natureza dos agentes erosivos determinaram o relevo atual do Rio Grande do Sul. Neste caso, as características climáticas, incluindo pluviométricas e eólicas, entre outras, figuram entre os principais agentes erosivos, sendo que o poder erosivo da água sobre o relevo é

superior ao do vento (HOFFMANN, et al., 1994). O autor destaca, ainda, o importante papel da vegetação por meio de suas raízes que ajudam a reter as partículas do solo, dificultando o processo erosivo.

### 2.2.2 Erosão superficial

Os fatores que influenciam na erosão do solo estão vinculados à chuva, infiltração d'água, topografia do terreno, cobertura vegetal e natureza do próprio solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Segundo Araújo et al. (2005), o ciclo hidrológico assume fundamental importância para o processo erosivo, pois envolve todas as etapas, desde a precipitação até o retorno da água para a atmosfera. De acordo com o autor, a água que participa no processo erosivo é aquela que chega ao solo de duas maneiras: pelo seu impacto direto em precipitação sobre o solo descoberto; ou de forma indireta, quando é interceptada pela cobertura vegetal, chegando através do gotejamento das folhas ou pelo fluxo de escoamento da mesma.

Na seqüência do processo erosivo, a água primeiramente atinge o solo, quando pode desagregá-lo, infiltra-se no mesmo e, após saturá-lo, pode ficar armazenada em suas irregularidades e dar início ao escoamento superficial. Assim, áreas ficam sujeitas à degradação que pode ocorrer por erosão superficial ou fluxo de massa (ARAÚJO et al., 2005). A maior inclinação do terreno favorece o processo erosivo pelo efeito da gravidade, assim como a inexistência de raízes favorece a ocorrência de desmoronamentos (HOFFMANN et al., 1994).

A erosão superficial consiste na remoção das camadas superficiais do solo pelas ações do vento e da água. Os tipos mais comuns são as erosões pluvial e eólica. Em ambas, o processo envolve forças de impacto, que desagregam as partículas do solo; e de arrasto ou tração, que transportam estas partículas que, por fim, são depositadas em outras áreas (ARAÚJO et al., 2005).

A erosão pluvial inicia com a colisão direta das gotas da chuva, que desagregam estas partículas, reduzindo assim as forças necessárias para o seu transporte. Além de desagregar, também movem estas partículas a distâncias consideráveis pelos respingos d'água. Com a saturação da superfície do solo inicia o escoamento superficial d'água, inicialmente de forma laminar. Com o acúmulo d'água, esta lâmina fica mais espessa, aumentando seu poder de transporte das



partículas desagregadas e, ao escoar, concentra-se nas pequenas depressões do terreno, formando uma rede de pequenos sulcos, que evoluem para pequenos canais (ravinas) até canais de grandes dimensões (voçorocas); e à medida que coalescem em canais, turbilhonam e aumentam ainda mais seu poder erosivo e de transporte de partículas (DURLO; SUTILI, 2005; GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

Quanto à degradação e erosão em sistemas de cultivo, o local mais crítico ocorre em relevos côncavos, onde converge o escoamento superficial das águas, com maiores perdas de sedimentos (STRECK et al., 2008). O mesmo autor também aponta esta situação para os problemas de erosão em margens de estradas. Nestes casos, o traçado de estradas ao longo do sentido da declividade aumenta o processo de erosão das sarjetas. Os autores consideram que o processo erosivo das margens de estradas é intensificado pelo escoamento de águas das áreas adjacentes à montante, devendo-se buscar formas de reter estas águas.

Reitz, Klein e Reis (1988) consideram a erosão como uma das principais causas de degradação do solo em locais de topografia acidentada no Rio Grande do Sul. Segundo estes autores, são necessários estudos para poder utilizar de forma mais adequada estes espaços, pois em algumas áreas o uso agrícola chega a ser abandonado por este motivo.

Entre os fatores mais importantes para a ocorrência de erosão está a conformação da superfície do solo e a sua declividade (STRECK et al., 2008), ocorrendo principalmente em encostas ou vertentes (MACIEL FILHO, 2008).

A capacidade de produzir erosão é propriedade da energia potencial convertida em energia de velocidade, que ocorre segundo uma dinâmica determinada pelas características de comprimento e inclinação da rampa (D'AGOSTINI, 1999). Segundo o autor a inclinação e o comprimento não são, em si, fatores de produção de erosão, mas são condições que determinam a dinâmica do aparecimento da propriedade energética para produzi-la, sendo a gravidade a única força presente. Assim, a energia erosiva do escoamento de determinada massa de água sobre a rampa está em função da altura do talude.

Araújo et al. (2005), e Guerra, Silva e Botelho (1999), fazem referência à erosão que pode ocorrer ao longo das margens de cursos d'água e a outros tipos de erosão, como formação de dutos ou o solapamento de nascentes (insurgência de

olho-d'água), causados pela infiltração e emergência de água em uma encosta não protegida.

Nas cabeceiras de taludes, o escoamento de água ao longo de suas paredes, na forma de filetes subverticais de escoamento superficial ou a exfiltração do lençol freático, arrastam partículas de solo e formam degraus onde desenvolvem-se as chamadas “alcovas de regressão”, que resultam no desmoronamento devido a erosão por cascata e ao solapamento do talude (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

### 2.2.3 Erosão subterrânea

O processo de erosão subterrânea também pode ser denominado como erosão interna, subterrânea retrogressiva ou “*piping*”, e resulta da força de percolação da água. O seu início se dá em uma surgência de água ou fonte, sendo que forma uma cavidade no solo através de erosão retrogressiva e carreamento de suas partículas (MACIEL FILHO, 2008). Apesar de sua relevância, será abordada de forma reduzida, devido sua menor importância no caso dos taludes delimitados neste estudo, quando comparada à erosão superficial.

Este tipo de erosão pode ocorrer tanto em obras como em áreas naturais, sendo um processo comum em barragens, quando são utilizados filtros de proteção para evitá-lo (MACIEL FILHO, 2008). Segundo o autor, solos pré-adensados são muito resistentes a esse fenômeno. Os maciços de terra bem compactados associados a filtros com devida graduação, normalmente evitam a erosão interna do maciço.

### 2.2.4 Movimentos de massa

Movimento de massa ou deslizamento de terra, termo popularmente usado, consiste no movimento descendente de materiais de uma encosta e envolve o deslizamento, tombamento, queda ou dilatação destas massas ou volumes de solo, rocha e outros materiais artificialmente adicionados ou não, que se deslocam em conjunto. A sua diferença da erosão é que, nela, há o deslocamento individual de cada partícula (MACIEL FILHO, 2008; ARAÚJO et al., 2005; DURLO; SUTILI, 2005).

Quedas de torrões caracterizam movimentos de massa associados, seja ao solapamento da base de taludes ou desprendimento de materiais ao longo de fendas de tração (GERRA; SILVA; BOTELHO, 1999). Segundo os autores, em geral, torrões desprendidos por fendas de tração apresentam menor concentração por metro quadrado do que os originados por solapamento.

Muitas variáveis podem estar envolvidas nos complexos processos de movimento de massas. Há diversas classificações para os movimentos de massas, com diferentes critérios, baseados principalmente no movimento (comportamento e velocidade) e material envolvido (MACIEL FILHO, 2008; ARAÚJO et al., 2005; DURLO; SUTILI, 2005).

#### 2.2.5 Perda de solo

A equação para prever a perda anual de solo desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978 apud MACIEL FILHO, 2008) conhecida internacionalmente como USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é referência em diversas outras obras sobre o assunto como, por exemplo, Araújo et al. (2005), e Bertoni e Lombardi Neto (1999), que apresentam particularidades de sua aplicação.

Esta equação considera todos os fatores conhecidos que afetam a perda de solo ocorrente durante o processo erosivo pluvial, sendo expressa pela seguinte relação:

$$E = R . K . L . S . C . P \quad (1)$$

Onde: E = perda de solo por unidade de área;

R = erosividade da chuva e escoamento;

K = erodibilidade do solo;

L = comprimento da rampa de escoamento;

S = declividade da rampa de escoamento;

C = cobertura do solo e manejo;

P = práticas conservacionistas.

Na aplicação da equação de perda de solo e no planejamento conservacionista é importante o conhecimento dos limites de tolerância de perda de solo, definida por Bertoni e Lombardi Neto (1999), como a quantidade de terra que

pode ser perdida por erosão, de modo em que o solo mantenha elevado nível de produtividade ao longo do tempo, sendo expressa em toneladas por hectare.

Segundo estes autores, para estabelecer os limites de tolerância para a perda de solo, por erosão, para solos no Estado de São Paulo, os valores de tolerância média de perdas de solo variaram de 4,5 a 13,4 t/ha/ano para solos com horizonte B textural e de 9,6 a 15,0 t/ha/ano para latossolos, sendo este último com médias superiores devido serem solos profundos, sem diferença textural abrupta e bem drenados.

Em estudo sobre a perda de solo em taludes de corte de estrada, em solo profundo na região da zona da mata mineira, os resultados obtidos por Fernandes (2004) permitem estimar uma perda de aproximadamente 23,4 t/ha/ano em solo descoberto. Em seus estudos, o uso de biomantas em consórcio de gramíneas pode, em certos casos, aumentar o escoamento superficial de água, e reduz a perda de solo. Neste caso, a redução da perda de solo obtida devido ao uso das biomantas variou entre 10 e 95%, dependendo do tipo de biomanta; já a adição de consórcio de gramíneas à biomanta reduziu estes valores de 46 a 90%.

## **2.3 Latossolo**

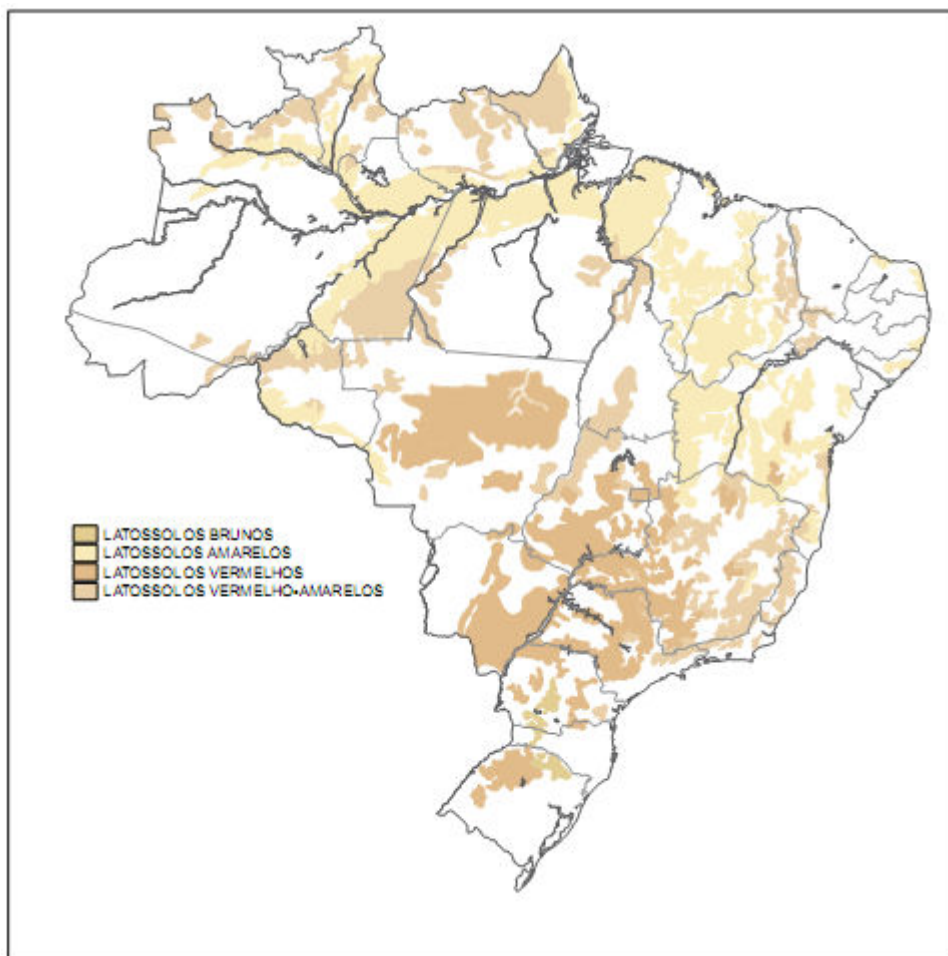
Os latossolos, por conceito e definição das classes de solo, "*compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto H hístico*", sendo solos bastantes intemperizados, muito evoluídos, originados de diversas espécies de rochas, típicos de regiões equatoriais, tropicais e também subtropicais, distribuídos por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em relevo mais acidentado (SISTEMA..., 2006).

### **2.3.1 Geologia e ocorrência**

A geologia dos latossolos do sul do Brasil aponta para rochas ígneas, resultantes do resfriamento e consolidação de massas magmáticas que se derramaram na superfície da crosta terrestre. Neste caso, seu resfriamento originou a formação dos basaltos. Os derrames basálticos, que figuram entre as formações

geológicas fundamentais do Rio Grande do Sul, ocupam uma área superior a 150.000 km<sup>2</sup> que se estende sobre a metade norte e o extremo oeste do Estado (HOFFMANN et al., 1994).

Os latossolos estendem-se por extensas áreas, distribuídas ao longo de quase todo o território brasileiro (IBGE, 2007), como pode ser observado na Figura 3, e ocorrem sob diversos climas e formas de vegetação. No Rio Grande do Sul, ocorrem latossolos brunos e vermelhos, conforme a cor predominante do horizonte B. Estes solos figuram entre os dominantes da província geomorfológica do Planalto que ocupa a metade norte do Estado e uma porção do sudoeste (STRECK et al., 2008). Considerando as semelhanças das características físicas, climáticas, topográficas e fitogeográficas, esta formação geológica é constituída de diversas zonas fisiográficas, entre elas: Missões, parte oeste da Campanha, Alto Uruguai, Planalto Médio e Campos de Cima da Serra (HOFFMANN et al., 1994).



**Figura 3 - Localização dos latossolos no Brasil. Fonte: IBGE (2007), adaptado de Atlas Nacional do Brasil (2000).**

Segundo Streck et al. (2008), tanto o basalto, como o arenito são os materiais de origem dos latossolos, que constituem-se como os principais solos da região de Cruz Alta, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, bem como em diversas outras zonas do planalto do Estado.

### 2.3.2 Caracterização

A maioria dos latossolos apresenta acentuada acidez, baixa reserva de nutrientes e toxidez por alumínio para as plantas, apesar de ocorrerem latossolos com alta saturação de bases (STRECK et al., 2008). Seu grau de hidromorfismo varia de fortemente a bem drenado, podendo haver variedades de transição para maior grau de gleização com drenagem moderada a imperfeita. Em geral, são solos com baixa saturação por bases, distróficos ou álicos, apesar de haver alguns de alta saturação, geralmente em condições de clima semi-árido ou de estações secas, bem como originados a partir de rochas básicas (EMBRAPA, 1999).

O horizonte diagnóstico dos latossolos é o B latossólico (Bw) (STRECK et al., 2008). Este horizonte mineral subsuperficial apresenta-se em avançado estágio de intemperização, sendo constituído, de forma geral, por quantidades variáveis de óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo, com a predominância de quaisquer destes (EMBRAPA, 1999).

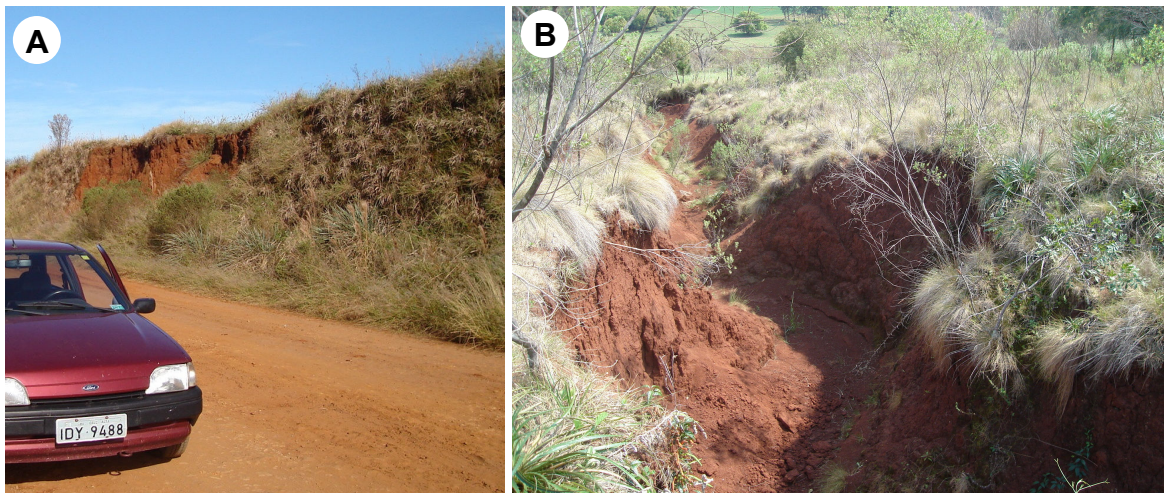
O horizonte B não possui um gradiente textural em relação ao horizonte A. Entre suas características, apresenta: grande estabilidade dos seus agregados; textura franco-arenosa ou mais argilosa, sendo um horizonte bem drenado; com estrutura em blocos fraca a moderada ou microgranular forte; baixa capacidade de troca de cátions, com argila de baixa atividade ( $<17\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  de argila); predomínio de caulinita e óxidos de ferro; e baixo teor de minerais intemperizáveis ( $<4\%$ ) e de fragmentos de rochas ( $<5\%$ ), (STRECK et al., 2008)

O horizonte B latossólico também apresenta espessura mínima de 50cm até profundidades de 200cm a 300cm, de acordo com a espessura do horizonte A. O limite entre estes dois horizontes pode ser difícil de ser identificado a campo, o que se dá em geral, por diferenças de cor e estrutura. Apesar de poder apresentar maior teor de argila que o horizonte subjacente, o aumento deste em profundidade é muito pequeno, o que o diferencia dos horizontes B texturais (EMBRAPA, 1999).

### 2.3.3 Aptidão de uso

Os latossolos do Planalto são bastante aptos para o uso agrícola por serem profundos, bem drenados, e de relevo suavemente ondulado. Entretanto, possuem uma limitação de natureza química (HOFFMANN et al., 1994).

Apesar de sua aptidão para os mais diversos usos, observa-se com frequência problemas de degradação em latossolos (Figura 4). Estes danos podem ser decorrentes tanto pelo uso contínuo de práticas agropecuárias inadequadas, em áreas de lavoura ou pastagem, como também em áreas degradadas por processos erosivos, principalmente em áreas declivosas e de taludes. Neste último caso, observa-se que no nível de degradação em que estas áreas se encontram, as condições naturais de revegetação espontânea mostram-se insuficientes ou muito lentas frente ao avanço do processo erosivo, o que justifica uma intervenção antrópica e o manejo biotécnico destes ambientes.



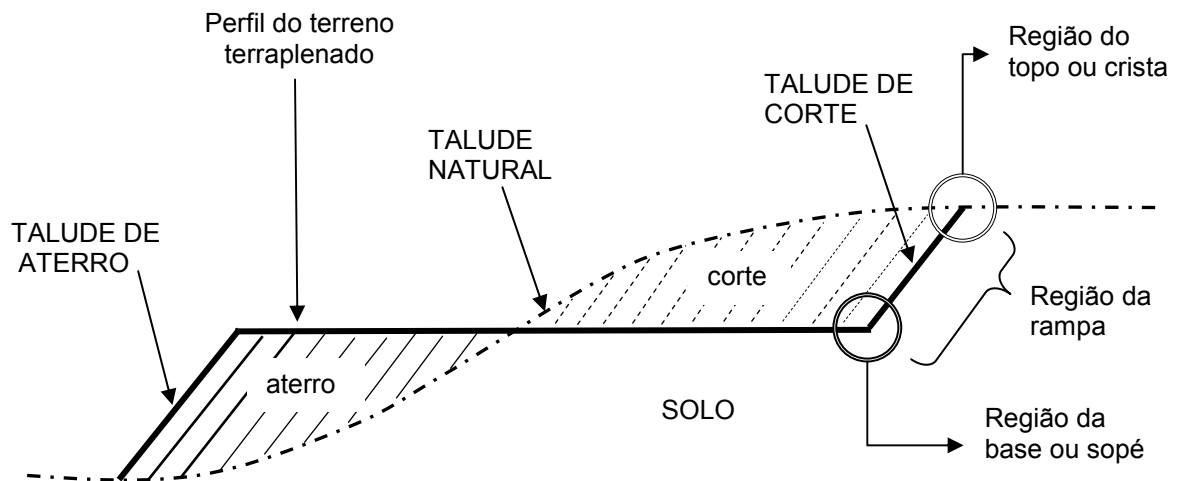
**Figura 4 – Degradação em latossolo: movimento de massa em talude de estrada (A); erosão por voçoroca em campo nativo (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Na avaliação da aptidão dos solos para a destinação final de resíduos e rejeitos, proposta por STRECK et al. (2008), em que se observam as características de profundidade, textura, mineralogia, gradiente textural, lençol freático, pedregosidade, rochiosidade, risco de inundação, erodibilidade, relevo, declividade e aptidão agrícola do solo ou do terreno, os latossolos foram considerados como de

aptidão adequada, excetuando-se os de textura média, que foram classificados na classe de aptidão regular, por apresentarem restrições moderadas ao descarte de resíduos em aterros sanitários.

## 2.4 Talude

Os taludes podem ser considerados como qualquer superfície plana inclinada, que limitam maciços de terra e/ou rocha de diferentes cotas de nível, podendo ser naturais, como no caso das encostas, ou artificiais, resultante de obras de corte e aterro (CAPUTO, 2003b), conforme pode ser observado na Figura 5.



**Figura 5 – Representação em perfil da superfície do terreno, antes e após (em negrito) terraplenagem com a construção de taludes de corte e aterro. No detalhe, a localização e denominação das regiões superior (topo ou crista) e inferior (base ou sopé) do talude (Adaptado de Caputo, 2003b).**

Os taludes também podem ser comumente denominados como rampas, barrancos, ribanceiras, entre outros. Entretanto, esta terminologia está mais atrelada a áreas íngremes, declivosas, de conformação natural sem uma conformação tecnicamente definida. No caso deste estudo, os taludes, referem-se mais às obras de engenharia, onde a declividade, entre outros aspectos de sua construção, é controlada.

Os taludes artificiais podem ser classificados como de “corte” ou de “aterro”, dependendo de sua superfície ser originada, respectivamente, da escavação ou da



deposição de terra durante a operação de terraplenagem. No âmbito geomorfológico, os taludes comparam-se às encostas, que podem ser consideradas “taludes naturais” (ARAÚJO et al., 2005).

De acordo com a classificação de uso da terra (IBGE, 1999), as áreas de talude de estrada podem ser enquadradas na categoria de “Áreas Especiais”, por serem de destinação especial e possuírem legislação própria.

#### 2.4.1 Estabilidade

Os taludes naturais constituem-se nas formas de relevo mais vulneráveis aos processos de degradação do solo, sendo caracterizadas por serem declivosas e limitadas à montante por um interflúvio, e à jusante, na parte mais baixa, por um talvegue. O estudo das formas de relevo e dos processos associados às mesmas são de grande importância não apenas para a recuperação de áreas degradadas, mas também na prevenção da ocorrência de danos de erosão, movimento de massa, entre outros (ARAÚJO et al., 2005). Neste sentido, Caputo (2003a) considera o conhecimento da formação geológica local dos solos, bem como a influência superficial e subterrânea da água, muito importantes para as obras de engenharia.

A estabilidade de taludes envolve diversos fatores de ordem geológica, geotécnica e hidrológica (CARVALHO, 1991). A compreensão dos agentes envolvidos na estabilidade dos taludes é muito importante para a previsão, prevenção e controle da ação negativa decorrente dos processos de intemperismo, erosão e movimento de massa sobre a estrutura e estabilidade de taludes (DURLO; SUTILI, 2005). Neste sentido, segundo os autores, na avaliação dos riscos de desmoronamento deve-se levar em conta não apenas o ângulo natural das encostas, mas também distinguir o tipo de solo e características como a coesão de suas partículas.

De acordo com Carvalho (1991) as principais tensões envolvidas na estabilidade de taludes são devidas ao próprio peso do solo, à pressão na água em função da profundidade do solo, e à vegetação, que também exerce cargas interferindo na estabilidade entre as forças no solo. Craig (2005) leva em consideração, ainda, as causas de instabilidade provocadas pelas estruturas adjacentes aos taludes, como estradas.

A estabilidade de taludes depende muito da característica de resistência ao cisalhamento do solo (CAPUTO, 2003a), que consiste na capacidade do solo de suportar cargas e conservar sua estabilidade, frente a tensões de cisalhamento sobre um plano de ruptura, que pode ocorrer tanto na rampa como na base do talude. Segundo o autor, a determinação da resistência ao cisalhamento é um dos problemas mais complexos da mecânica dos solos.

O nível de estabilidade de taludes pode ser quantificado através do parâmetro determinado “coeficiente” ou “fator de segurança”, que é estabelecido como a relação entre os esforços resistentes e atuantes na massa de solo. Sua análise é complexa, haja vista estarem envolvidos vários fatores, como: superfície de ruptura e características do terreno; geometria da massa; variações nas tensões atuantes e resistentes ao longo do plano de deslizamento e do talude; e estratificações no maciço de solo e diferenças de percolação d’água e de sobrecargas no talude (CARVALHO, 1991).

#### 2.4.2 Problemas em talude

Os principais tipos de movimentos em talude podem ser classificados em três grupos: desprendimento de terra e rocha, escorregamento e rastejo. As principais causas dos movimentos em taludes consistem no aumento do seu peso e na redução da resistência ao cisalhamento do material, decorrentes principalmente de intensas chuvas (CAPUTO, 2003b). Segundo o autor também há predisposição do movimento, devido a formação de fendas decorrentes da ruptura de maciços de solo por tração, comuns no topo dos taludes e que geralmente antecedem a ocorrência de deslizamentos de terras.

Caputo (2003a) distingue dois tipos fundamentais de problemas em obras de terra: os deformadores de massas de solo, que envolvem a compressão, o adensamento e o cisalhamento; e os de ruptura, relativos a capacidade de carga do solo, estabilidade de maciços terrosos e empuxos de terra.

Os processos do meio físico como permeabilidade, elasticidade e plasticidade, força de cisalhamento e liquefação do solo estão relacionados aos problemas de instabilidade ocorrentes em taludes (CRAIG, 2005). Segundo Carvalho (1991), a falta de projeto específico, projetos inadequados, por falta de

conhecimento do meio físico, deficiências construtivas e a má conservação dos taludes também são a causa comum de problemas.

A erosão superficial figura entre os principais problemas ocorrentes em talude (CAPUTO, 2003b), assim como a ruptura segundo superfícies de escorregamento, o rastejo nas encostas circundantes, e a queda de blocos de rocha ou de detritos (MACIEL FILHO, 2008). Segundo Carvalho (1991), os principais tipos de ruptura ocorrentes são a plana, a rotacional e em cunha tridimensional. Os principais tipos de problemas ocorrentes em taludes podem ser observados no Quadro 1.

Tipo de problema	Forma de ocorrência	Principais causas
Erosão	Em sulcos ou laminar.	Deficiência de proteção superficial e/ou drenagem.
	Longitudinal ao longo de talwegues ou banquetas.	Concentração de água superficial.
	Ravinas e voçorocas (em taludes, talwegues ou associada a obras de drenagem).	Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático .
	Interna ( <i>piping</i> ).	Deficiência ou inexistência de drenagem interna.
Desagregação superficial	Empastilhamento superficial em taludes de corte.	Secagem e umedecimento do material; Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material.
Escorregamento em corte	Superficial ou profundo.	Inclinação acentuada do talude; relevo enérgico; saturação do solo.
	Forma e dimensões variadas.	Descontinuidade do solo e rocha.
	Movimentação de grandes dimensões ou generalizada em corpo de tálus.	Evolução por erosão; corte em corpo de tálus; alteração de drenagens.
Queda de blocos	Geralmente em queda livre.	Ação da água e de raízes nas descontinuidades do maciço rochoso.
Rolamento de blocos	Movimento de bloco por rolamento no talude.	Descalçamento da base por erosão.

**Quadro 1 - Classificação dos principais problemas em taludes (Fonte: Carvalho, 1991, adaptado).**

A falta ou deficiência de um sistema superficial de proteção e drenagem de taludes implica em intenso processo erosivo. Este processo erosivo superficial pode modificar a geometria do próprio talude e assorear a sua plataforma com material desagregado que se desprende e acumula-se ao pé do talude continuamente, de maneira a comprometer inclusive o escoamento normal das águas pluviais (MACIEL

FILHO, 2008). Segundo o autor, este processo, denominado queda de detritos ocorre na parte mais superficial do talude e tem como principal agente, as variações de umidade proporcionadas pela exposição atmosférica da camada superficial.

Maciel Filho (2008) indica três alternativas para solucionar o problema da erosão superficial e queda de detritos em taludes: o retaludamento do corte para um ângulo um pouco menor que o de repouso natural; o retaludamento em um ângulo entre 45 e 50 graus com a implantação de proteção vegetal; e, em casos especiais de topografia, a proteção do talude com materiais não naturais, como tela e gunitagem (argamassa projetada) com sistema de drenagem.

As condições ambientais dos taludes muitas vezes podem impedir a revegetação natural da sua face. A ocorrência do processo erosivo também pode comprometer o desenvolvimento e a permanência desta vegetação. Nesse sentido, a forma do topo do talude também é muito importante, devendo ser arredondada, de modo a produzir um gradiente entre a superfície da bancada superior e superfície da face inclinada do talude. Esta forma, segundo Animoto (1978 apud DURLO; SUTILI, 2005) favorece o desenvolvimento da vegetação.

#### 2.4.3 Taludes de estradas e rodovias

Os taludes resultantes da abertura de estradas e rodovias constituem-se em áreas de grande potencial para a aplicação da engenharia natural (SUTILI, 2007). Segundo Jesus e Rolim (2005), *“a maioria das faixas de domínio dos diversos sistemas viários brasileiros encontra-se em degradação”*. Estes autores também consideram que as margens de rodovias são áreas de uso especial e que as intervenções para recuperação requerem critérios técnicos específicos de acordo com o que se destina e as características do local.

Autores como Pereira (2006) e Durigan (2005), relacionam o fogo como importante fator de degradação ambiental. A ocorrência de incêndios na vegetação existente nas faixas de domínio de estradas e rodovias pode ser considerada bastante comum na região, apesar de ser uma prática proibida por leis, como o Código Florestal do Rio Grande do Sul, instituído pela Lei Estadual nº 9.519/92 (RIO GRANDE DO SUL, 1992), o Novo Código Florestal, Leis Federais 12.651/12 (BRASIL, 2012), e 12.727/12 (BRASIL, 2013), sendo considerada crime ambiental pela Lei nº 9.605/98 IBAMA (2012).

O nível de impacto das estradas está atrelado principalmente às condições topográficas e edafoclimáticas sendo que, segundo Maciel Filho (2008), as estradas de meia-encosta, ou vertente, são as que apresentam maiores problemas de ordem técnica e ambiental, pois exigem muitos bueiros, cortes e aterros, desvios e condução de águas, além da necessidade de estabilização dos taludes, devido a erosão intensa. Em rodovias, segundo o autor, são freqüentes os deslizamentos devido à erosão superficial em taludes de até 20 metros, enquanto nos taludes de maior altura pode-se observar deslizamentos profundos decorrentes da estrutura rochosa no horizonte C e da rocha alterada.

Maciel Filho (2008) destaca ainda o fato de existirem duas realidades distintas no âmbito do sistema viário: a das rodovias consideradas de primeira classe, construídas com recursos suficientes e com emprego de tecnologias adequadas; e a das estradas vicinais, ou rodovias de menor importância, construídas com escassez de recursos e tecnologias. Estas últimas, geralmente são as que apresentam os maiores problemas de âmbito ambiental e de estabilização de taludes.

#### 2.4.4 Técnicas de melhoria de estabilização

A estabilização de taludes de corte pode envolver diferentes técnicas. A partir de situações de instabilidade inicia-se o processo pelo retaludamento, seguido de obras que podem envolver a contenção, a drenagem e a proteção superficial do talude, em conjunto ou isoladas. A escolha da técnica e a adoção da solução mais adequada devem considerar as características do meio físico e os processos de instabilização envolvidos sendo, portanto, específica para cada caso (CARVALHO, 1991).

A estabilidade de encostas e taludes pode ser melhorada através da construção de banquetas e escavação da crista, que resultam na redução das forças de pressão da água e do solo (CRAIG, 2005). De acordo com Guidicini e Nieble (1983 apud MACIEL FILHO, 2008), a melhoria na estabilização de taludes pode ser obtida através de quatro grupos de técnicas, sendo elas: mudança de geometria; drenagem de água subterrânea; reforço do maciço; e controle de desmonte.

Os métodos mais usuais de estabilização de taludes são: a diminuição de sua inclinação; a drenagem superficial e profunda; o revestimento; o emprego de

materiais estabilizantes; muros de arrimo e ancoragens; construção de bermas; e a prévia consolidação das fundações (CAPUTO, 2003b).

As obras de proteção superficial impedem a formação dos processos erosivos e diminuem a infiltração de água no maciço através da superfície do talude, desempenhando um papel extremamente importante na estabilização (CARVALHO, 1991). Segundo Caputo (2003b), o revestimento do talude com espécies vegetais adequadas ao clima local é uma proteção, sobretudo contra a erosão superficial. A vegetação também pode aumentar a infiltração de água no solo, o que diminui a agregação de suas partículas, aumenta as cargas sobre o maciço e os riscos de desmoronamentos e/ou deslizamentos. Este aspecto potencialmente negativo da vegetação deve ser considerado em obras de engenharia natural, havendo casos em que, para preservar a estabilidade do talude, utilizam-se obras de impermeabilização superficial.

Apesar de Maciel Filho (2008) não fazer referência ao emprego da vegetação nas técnicas de estabilidade dos taludes, Couto et al. (2010), Pereira (2006), Durlo e Sutili (2005), Araújo et al. (2005), entre outros, referem-se ao seu emprego. Para estes autores, além da proteção e cobertura do solo favorecerem a estabilidade, as plantas também podem atuar na ancoragem, reforço e suporte de massas de solo.

Segundo Carvalho (1991), os métodos de estabilização tradicionais como a alteração geométrica, a drenagem e a proteção superficial dos taludes não recebem atualmente a devida importância. Métodos modernos de contenção, como o atirantamento, entre outros, são os que mais evoluíram em função da pesquisa tecnológica e tem recebido maior ênfase. Entretanto, destacam os autores, deve-se priorizar a relação custo-benefício na escolha do tipo de obra a ser utilizada, sendo que em muitos casos, a solução técnica mais imediata e de fácil execução, bem como de menor custo é a alteração geométrica.

## **2.5 Recuperação de áreas degradadas**

A recuperação de áreas degradadas está atrelada a diversos fatores, entre eles: paisagísticos; à conservação de recursos hídricos, da fauna e da flora; à contenção de processos erosivos, de desmoronamento de encostas e de assoreamento; e ao cumprimento da legislação ambiental (GLUFKE, 1999). O conhecimento de aspectos ecológicos das plantas e de suas características

biológicas que lhe conferem estratégias para o seu desenvolvimento em habitats degradados (GROVER, 1997; GRIME, 1977) também são muito importantes.

A escolha da técnica mais adequada para restauração destas áreas é decorrente do nível de degradação, de características peculiares do local e do objetivo da restauração, entre outros. Em alguns casos, a remoção de fatores de degradação, como retaludamento, controle de formigas e erosão, manejo de plantas competidoras e incêndios, pode ser suficiente para estimular a sucessão natural e a recuperação das áreas degradadas (JESUS; ROLIM, 2005).

Para a estabilização ou recuperação de áreas, segundo Durlo e Sutili (2005), as medidas adotadas devem ser baseadas no conhecimento prévio dos problemas que poderão advir. Estes autores apresentam uma compreensão bastante abrangente dos benefícios decorrentes do manejo de áreas degradadas, que não devem ser resumidos ao âmbito da recuperação e proteção do solo, mas também dos benefícios múltiplos, como os de natureza econômica (produção de madeira, frutos, subprodutos), ornamentais, de promoção da fauna silvestre, entre outros.

Segundo Carvalho (1991), o emprego de técnicas que utilizem materiais naturais disponíveis na própria região deve ser privilegiado, visto serem, em geral, mais econômicas. Estas técnicas envolvem obras que podem utilizar materiais naturais como diversos tipos de cobertura vegetal e proteção com pedras.

A estabilidade de taludes e a proteção contra a erosão podem ser melhoradas com a utilização de plantas em consórcio, sendo esta uma prática importante para a recuperação do solo. A determinação das espécies a serem empregadas no consórcio deve considerar a tolerância cultural, a profundidade da raiz, a longevidade, a proteção requerida, a rapidez de crescimento, entre outras. Um maior número de espécies também contribui para aumentar a biodiversidade, a sustentabilidade da vegetação e a atração de animais silvestres (PEREIRA, 2006). Em taludes rodoviários, espécies de grande porte como capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) e cervos (*Mazama spp.*), podem causar riscos de acidentes de veículos. Assim, obras que promovam a estabilidade do talude e a segurança do tráfego devem ser priorizadas. O potencial destas áreas em benefícios múltiplos como o aumento da biodiversidade, ornamentação, sinalização viva, e produção devem integrar um segundo nível de prioridade.

Para Jesus e Rolim (2005), pesquisas em seleção de espécies, desenvolvimento de modelos de plantio em consórcio e redução de custos são as principais tendências atuais em recuperação de áreas degradadas.

### 2.5.1 Aspectos legais relacionados ao manejo de áreas degradadas

No Brasil, tanto a degradação ambiental, nas suas mais diversas formas, bem como a recuperação de áreas degradadas estão subordinadas a uma legislação, que impõem responsabilidades nas esferas civil e criminal. Em seu instrumento máximo, a Constituição Federal de 1988, o tema ambiental dispõe do capítulo VI, e seu Artigo 225 estabelece que *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”* (BRASIL, 1988).

A legislação ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (RS), em seu Código de Meio Ambiente, define degradação como *“um processo que consiste na alteração das características originais de um ambiente, comprometendo a biodiversidade”* (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

Guerra, Silva e Botelho (1999) fazem menção à necessidade de adequar a legislação de proteção ambiental existente à proteção de áreas de risco de erosão por voçorocas. Neste sentido, o código ambiental do RS (RIO GRANDE DO SUL, 2000), em seu artigo 155 considera as encostas ou suas partes cuja inclinação seja superior a 45 graus, como de preservação permanente, bem como pode assim declarar, em caso de interesse, a vegetação e as áreas destinadas a proteger o solo contra a erosão, e proteção do sistema viário e de dutos.

Portanto, pode-se verificar que áreas de talude, dependendo de suas características podem estar enquadradas na legislação ambiental. Neste sentido, cabe aqui apenas ilustrar a relevância que a legislação brasileira dá à questão ambiental, bem como lembrar que toda a prática ambiental, principalmente aquelas que envolvem áreas de risco, como as de taludes (objeto deste estudo) e também ações de recuperação de áreas degradadas, devem ser executadas em observância aos limites legais estabelecidos.



### 2.5.2 Revegetação de áreas degradadas

Assim como nos casos de agroecossistemas em que se verifica conflito no uso do solo, quando sua cobertura vegetal e/ou uso não são adequados à aptidão do mesmo, resultando em baixa cobertura do solo por resíduos e erosão decorrente do adensamento do mesmo, da redução da infiltração e do aumento de perda de água por escoamento superficial (STRECK et al., 2008) muitas práticas de manejo utilizadas na restauração de taludes tem se mostrado ineficientes aos seus propósitos, sendo observados com frequência problemas como de dificuldade no estabelecimento da cobertura vegetal, erosão e instabilidade de maciços.

Streck et al. (2008), indicam a cobertura do solo com plantas e com resíduos culturais para o controle da erosão, por evitar o impacto direto da gota da chuva. Os autores também indicam para a redução de gastos e prevenção da ocorrência de erosão e formação de voçorocas em áreas degradadas junto às estradas, o estabelecimento de ações integradas para o controle das enxurradas nas estradas e áreas contíguas. Neste caso, os autores sugerem ações que interrompam o escoamento superficial e, em áreas muito declivosas, que não permitem a construção de terraços, indicam a implantação de cordões vegetados em nível.

A exposição da superfície do solo aos agentes erosivos facilita a ocorrência de qualquer tipo de erosão superficial. Desta forma, manter o solo coberto consiste em importante instrumento para interromper o processo erosivo antes do seu estágio inicial, que é a desagregação das partículas do solo. Assim, a vegetação assume importante influência tanto na proteção do solo contra a erosão superficial como na prevenção dos movimentos de massa (CARVALHO, 1991), assumindo diferentes funções na conservação dos solos, de acordo com os processos de degradação envolvidos (ARAÚJO, 2005; DURLO; SUTILI, 2005).

Segundo Carvalho (1991), a vegetação aumenta a resistência das camadas superficiais do solo pela presença de raízes, protege estas camadas contra a erosão superficial e reduz a infiltração de água no solo através dos troncos, galhos, folhas e restos vegetais (serrapilheira). De acordo com (DURLO; SUTILI, 2005), o sistema radicial melhora substancialmente a resistência das massas terrosas ao cisalhamento. Entretanto, os efeitos hidrológicos e mecânicos da copa, da serrapilheira e das raízes sobre encostas e taludes, podem ser benéficos ou adversos.

Apesar da unanimidade entre os diferentes autores quanto à contribuição da vegetação na proteção do solo, inclusive no aumento da sua resistência ao cisalhamento, de acordo com Lemes (2001), há inúmeras controvérsias entre estes, principalmente nos aspectos benéficos e adversos da vegetação relativos aos efeitos de infiltração, escoamento superficial e desestabilização devido a sobrecargas.

Segundo Lima (1996), em análise a diversos trabalhos sobre o efeito das florestas na precipitação, o processo de interceptação das chuvas, pelo qual a precipitação incidente é redistribuída pela copa da árvore, sendo parte perdida por evaporação e parte temporariamente retida na copa das árvores é o efeito hidrológico mais significativo. O autor estima uma redução na produção de água da bacia superior a 20%, sendo variável de acordo com a capacidade de armazenamento do dossel da floresta e do regime das chuvas.

Apesar dos inúmeros benefícios da vegetação, o emprego da mesma deve ser fundamentado em conhecimento técnico, pois que a implantação inadequada das mesmas também pode causar efeitos negativos como a instabilidade de taludes e até o surgimento de erosões (PEREIRA, 2006). Este mesmo autor evidencia sérios problemas no estabelecimento da vegetação, geralmente associados à escolha das espécies que, muitas vezes, ainda é realizada de forma empírica, sem considerar as variáveis necessárias.

Neste sentido, pode-se verificar ainda, como exemplo, a baixa diversidade de espécies florestais nativas disponíveis no mercado (FARIAS, 2005), e a prática da queima da vegetação seca, que figuram entre os principais problemas enfrentados na recuperação de áreas de talude, sendo que das espécies nativas existentes, são poucas as disponíveis de reconhecida aptidão para áreas degradadas.

O sucesso na revegetação de áreas degradadas depende da observação de algumas variáveis importantes para o bom desenvolvimento das plantas, como clima, vegetação nativa, solo, topografia e possíveis condições tóxicas (ARAÚJO et al., 2005). Segundo o autor, deve-se escolher o tipo de vegetação (quanto ao porte e hábito de crescimento), de espécies, e de método de plantio que melhor se adaptem às diferentes condições de cada local, levando-se em conta diferentes critérios de seleção e ponderando-se as vantagens e desvantagens do seu emprego, bem como aspectos inerentes à sucessão vegetal e também aspectos restritivos como a legislação, disponibilidade e custo.

Segundo Lemes (2001) e Carvalho (1991), fatores como o tipo de solo, condições climáticas e de natureza topográfica, como a inclinação do talude, devem ser levados em consideração na escolha da espécie mais adequada para a recomposição ou estabelecimento de nova vegetação em taludes. Lemes (2001) observa ainda, que o estudo prévio destes fatores deve considerar o balanço dos efeitos benéficos e adversos, bem como o processo evolutivo das encostas nas condições particulares de cada ambiente.

As plantas respondem aos fatores limitantes do meio através de três tipos de estratégias, podendo ser classificadas em: competidoras, tolerantes ao estresse e ruderais (GRIME, 1977). Segundo o autor, a tolerância ao estresse é uma estratégia que permite às plantas o seu desenvolvimento em habitats de baixa fertilidade e as plantas ruderais possuem estratégias interessantes para habitats sujeitos a frequentes distúrbios. Assim, as plantas com características biológicas de tolerância ao estresse e ruderais constituem-se em grupos de interesse para a recuperação de áreas degradadas como a de taludes.

#### 2.5.2.1 Revegetação em taludes de estradas e rodovias

A importância ambiental do sistema viário envolve desde aspectos relacionados aos impactos negativos, como do potencial ambiental da revegetação de suas áreas de faixa de domínio, como pode ser observado no Código Florestal do Rio Grande do Sul, que estabelece:

Lei Estadual 9.519, de 21/01/1992. Art. 40 - O Estado deverá, através do órgão florestal competente, em conjunto com outras instituições públicas e privadas promover, com espécies nativas da mesma região fitofisionômica, a arborização das rodovias estaduais (RIO GRANDE DO SUL, 1992).

As áreas degradadas resultantes da construção de rodovias constituem-se em casos típicos para aplicação da engenharia natural. A restauração destas áreas requer que seja levado em conta o seu uso, devendo-se priorizar o uso de vegetação herbácea e arbustiva (JESUS; ROLIM, 2005).

O uso indiscriminado de vegetação junto às rodovias também pode causar problemas e riscos ao trânsito, tanto por bloquear o campo de visão no lado interno

de curvas, como pelo caso de queda de árvores de grande porte e sua presença em áreas de escape, quando oferecem risco de colisão. Neste sentido, as instruções para sinalização viva das rodovias estaduais do RS, aprovadas pela decisão nº 9.719/76 do Conselho Executivo, estabelece distâncias mínimas e locais adequados para o plantio de árvores de grande porte (DAER, 1976).

O plantio de árvores e arbustos ao longo das rodovias, além dos efeitos ambientais benéficos para a recuperação destas áreas, também pode servir para a proteção e orientação do trânsito. A “sinalização viva”, como é denominada, exerce efeitos de proteção pela quebra de monotonia, defesas naturais e cortinas contra o ofuscamento. A orientação de curvas, obras de arte, acessos, bem como aspectos paisagísticos e de beleza cênica, figuram entre os seus benefícios (DAER, 1976).

Apesar de também serem produzidas algumas espécies pioneiras com características rústicas, muitos reflorestamentos são frustrados ou onerados, pelo uso de espécies inadequadas e que não conseguem se estabelecer nas condições das áreas degradadas de taludes, principalmente às margens das rodovias.

#### 2.5.2.2 Seleção de espécies de plantas

A seleção de espécies, segundo Durlo e Sutili (2005), deve considerar critérios de natureza sociológica da vegetação, ecológica, reprodutiva e de aptidão biotécnica. De acordo com os autores, deve-se dispor da vegetação de modo a acelerar o processo de sucessão natural e antecipar a obtenção dos seus efeitos benéficos.

Segundo Glufke (1999), na recuperação de áreas degradadas, um fator fundamental é a criteriosa escolha de espécies. A escolha deve estar baseada na utilização de espécies vegetais adaptadas ao local, bem como adequadas às necessidades de cada caso. De acordo com a autora, se deve levar em conta aspectos da sucessão ecológica e das relações ecológicas da espécie. O uso da vegetação para o controle de processos erosivos deve ser criterioso, sendo que há muitas espécies desconhecidas (COUTO et al., 2010). Entre os critérios para seleção de espécies aptas para áreas degradadas, destacam-se os seguintes aspectos: exigência de luminosidade e umidade; adaptação a solos empobrecidos; capacidade de fixação de nitrogênio; tamanho do sistema radicular; produção de frutos comestíveis; e capacidade melífera (GLUFKE, 1999). Para Durlo e Sutili

(2005), as plantas escolhidas devem ter capacidade de rebrota; possuir crescimento rápido; ter sistema radicial com boa fixação, distribuição e resistência, entre outras características.

Lemes (2001) considera que a vegetação nativa do local é a mais indicada para a proteção do ambiente e contra a erosão do solo, pois conserva as condições ecológicas de origem. Pereira (2006) preconiza a seleção de plantas nativas para o uso em recuperação de áreas degradadas, quando estas apresentarem: disponibilidade de semente e mudas; adaptação às condições do local; germinação de sementes e desenvolvimento conhecido; grande capacidade de ampliar em áreas naturais; e compatibilidade ecológica com o local, entre outras. Atualmente ainda há muitas espécies de grande valor para a fauna que não podem ser empregadas devido a falta de segurança técnica, decorrente da falta de estudos, como é o caso das figueiras nativas (CARPANEZZI, 2005).

O emprego de espécies nativas na revegetação de áreas degradadas é preconizado por diversos outros autores, como Durlo e Sutili (2005), Araújo et al., (2005), Glufcke (1999), Reitz, Klein e Reis (1988), e deve-se principalmente ao fato destas espécies estarem melhor adaptadas às condições edafoclimáticas do local. Há de se considerar ainda, o fato de que a utilização destas espécies também colabora contra a ameaça de extinção, na preservação da biodiversidade e favorecimento dos ecossistemas naturais, estendendo estes benefícios aos elementos da fauna.

As características morfológicas da vegetação também estão diretamente relacionadas com a sua aptidão biotécnica. Neste sentido, Gray e Sotir (1996 apud ARAÚJO et al., 2005) relacionam as funções às seguintes características das plantas:

- Ancoragem e retenção do solo – Caules múltiplos, fortes e flexíveis; rápido crescimento; capacidade de rebrotar após dano; propagação rápida por estacas de galhos e raízes.

- Cobertura e proteção – Dossel baixo, denso e extenso; crescimento superficial denso e expansivo; manta fibrosa de raízes.

- Reforço e suporte – Raízes múltiplas, vigorosas e profundas; desenvolvimento rápido do sistema radicular; alta taxa de biomassa raízes/parte aérea; bom potencial de transpiração das folhas.

- Melhoramento do habitat – sombra e cobertura proporcionando temperaturas amenas e melhoramento da retenção de umidade; desenvolvimento de húmus do solo pela decomposição da serapilheira; alto potencial de fixação da serrapilheira.

Desta forma, segundo os autores, as plantas podem ser agrupadas e subagrupadas de diversas formas e níveis, de acordo com o seu hábito de crescimento, morfologia e demais características, como por exemplo: gramíneas (estoloníferas e de touceira); herbáceas (prostadas e eretas); arbustivas e arbóreas (perenefolia e caducifólia); e lianas (heliófilas e umbrófilas). Neste sentido, outros atributos importantes também podem ser utilizados na classificação, como: a morfologia do sistema radicular; relativos à rusticidade (resistência e adaptação aos fatores edafoclimáticos); ao potencial de uso (ornamental, econômico e ambiental), entre outros.

De acordo com Carvalho (1991), a cobertura vegetal deve apresentar as seguintes características:

- Crescimento rápido e boa cobertura do terreno durante todas as estações do ano;
- Sistema radicular bem desenvolvido e resistente, em forma de trama e de longo alcance;
- Bem adaptada às condições locais de clima;
- Fácil obtenção no comércio ou através de reprodução local;
- Composição de mais de uma espécie para evitar o comportamento sazonal homogêneo e o desenvolvimento de pragas e doenças;
- Não possuir atrativos que induzam ao acesso e utilização da área, como frutos, lenha, materiais para construção, etc.

Um dos grupos vegetais mais utilizados é o das gramíneas, devido apresentarem atributos que as tornam apropriadas para utilização em recomposição de áreas degradadas. Entre estes, pode-se destacar o eficiente desempenho fotossintético, a abundante produção e dispersão de diásporos, o sistema radicular fasciculado, e a produção de estolões e rizomas. Entretanto, seu uso deve ser controlado e específico para determinados locais com objetivos definidos, pois inúmeros autores descrevem problemas na recuperação de áreas degradadas, decorrentes da competição com disseminação de gramíneas invasoras, e intensificação do risco e dano por queimadas (PEREIRA, 2006).

Apesar das espécies gramíneas protegerem o solo com excelente forrageamento, a competição inicial resultante prejudica o desenvolvimento de espécies arbóreas e arbustivas. Segundo Carpanezzi (2005), a maior causa de fracassos em plantios é a competição exercida por gramíneas e, subsequente a este fator, o uso de espécies inadequadas amplia os efeitos danosos decorrentes desta competição. Este autor destaca dois assuntos técnicos mais urgentes para melhorar o desempenho da recomposição de ecossistemas degradados no Brasil, sendo as principais demandas em pesquisa: o desenvolvimento de práticas inovadoras de controle da competição; e espécies adaptadas às condições reais de campo, principalmente à convivência com gramíneas.

Segundo Durigan (2005), as gramíneas exóticas formam grande biomassa, exercem forte competição por recursos como água, luz e nutrientes, e aumentam consideravelmente os riscos e a dimensão de danos por incêndios, sendo a *Brachiaria decumbens*, a principal espécie invasora. Neste sentido, os projetos devem demandar esforços permanentes para prevenir incêndios. Este autor também recomenda prioritariamente maiores pesquisas para o controle de gramíneas invasoras que tornam muito difícil a restauração com plantios.

Um grupo bastante importante para a recuperação de áreas degradadas é o das plantas consideradas daninhas<sup>2</sup> (BRIGHENTI, 2001). Segundo o autor, a proteção do solo contra a erosão é um dos aspectos mais significativos das plantas daninhas, que apresentam a capacidade de crescerem em ambientes adversos graças às suas características de rusticidade, resistência a pragas e doenças, grande produção de sementes viáveis e presença de adaptações que auxiliam na sua dispersão e formas variadas de multiplicação.

Apesar do vasto potencial de uso das plantas daninhas, Brighenti (2001) apresenta vários aspectos negativos resultantes da sua disseminação, que podem causar problemas à saúde humana e ao meio ambiente natural. Entretanto, os mais sérios problemas consistem dos prejuízos que estas plantas causam na atividade agropecuária. Seu emprego em rodovias, segundo o autor, também pode acarretar problemas de ordem paisagística e risco de queimadas.

---

<sup>2</sup> Estas plantas também são denominadas “invasoras”, “ruderais”, “silvestres”, “oportunistas”, “mato” ou “inço”. Entretanto, segundo Brighenti (2001), todos estes conceitos baseiam-se na sua indesejabilidade em relação a uma atitude humana. Considerando o potencial benéfico de uso deste grupo de plantas na engenharia natural e na recuperação de áreas degradadas optou-se, neste trabalho, em utilizar a denominação de “revegetação espontânea”.

A utilização de plantas em consórcio é uma prática importante para a recuperação do solo, pois melhora a estabilidade de taludes e a proteção contra a erosão. A determinação das espécies a serem empregadas no consórcio deve considerar a tolerância cultural, a profundidade da raiz, a longevidade, a proteção requerida, a rapidez de crescimento, entre outras. Um maior número de espécies também contribui para aumentar a biodiversidade, a sustentabilidade da vegetação e a atração de animais silvestres (PEREIRA, 2006).

Um problema enfrentado na escolha de espécies aptas para a recuperação de áreas degradadas está relacionado à baixa disponibilidade de espécies, e remonta da origem da colonização do Estado. Embora o Rio Grande do Sul apresentasse em sua composição original mais de 40% da área de seu território com cobertura de ecossistemas florestais, a exploração de madeira e o uso intensivo do solo para atividades agropecuárias acarretaram, principalmente no último século, grande redução, não apenas na área de florestas, mas na sua composição e biodiversidade de espécies (REITZ; KLEIN; REIS, 1988).

De acordo com estudo de Farias (2005), a disponibilidade de mudas para comercialização é bastante reduzida, se comparada com a diversidade original de espécies nativas no Estado. A baixa disponibilidade de plantas matrizes e sementes figuram como entrave à produção de mudas de certas espécies. Aliado a este fator, deve-se levar em conta que há uma demanda preferencial por espécies tradicionalmente conhecidas pela exploração de sua madeira nobre, produção de frutos comestíveis, poder de uso medicinal, condimentar e potencial paisagístico, que também influenciam neste mercado.

Glufke (1999), recomenda para as formações do RS, uma lista de 72 espécies arbóreas para a recuperação de áreas degradadas nos estágios inicial a médio. Muitas destas espécies dificilmente estão disponíveis em viveiros comerciais. Considerando as diferentes formações florestais nativas existentes no RS, com 519 espécies nativas (SOBRAL, et al., 2006), pertencentes a 75 famílias (REITZ; KLEIN; REIS, 1988), observa-se que ainda existem inúmeras outras, cujo potencial ainda não foi estudado.

Verifica-se, portanto, a necessidade de estudos na área da Bioengenharia, que constituem-se em uma técnica com enorme uso potencial para a recuperação de áreas degradadas, mas que ainda carece de estudos científicos no Brasil.



## 2.6 Engenharia natural

As técnicas de engenharia natural têm sido utilizadas desde o Império Romano para controlar os problemas de erosão em taludes e margens de rios, em diferentes partes do mundo. Entretanto, essas técnicas caíram em desuso após o advento da Revolução Industrial, que popularizou o uso da tecnologia do concreto e do aço. O desenvolvimento e a utilização de diversas técnicas de engenharia natural foram retomados por engenheiros norte-americanos e europeus, principalmente após 1930 (COUTO et al., 2010).

A engenharia natural, também conhecida como bioengenharia, engenharia biológica ou engenharia biotécnica pode ser definida pelo emprego combinado de obras de grande simplicidade e vegetação para solucionar problemas técnicos de estabilização do solo e erosão (DURLO; SUTILI, 2005). Segundo Couto et al. (2010), o princípio básico que norteia a engenharia natural de solos compreende a utilização de elementos inertes, como concreto, pedras, madeira, aço e fibras sintéticas em sinergismo com elementos biológicos, como a vegetação, no controle da erosão.

Neste sentido, as espécies vegetais contribuem com seu sistema radicular e sua parte aérea, sendo utilizadas em diferentes arranjos geométricos como elementos estruturais e mecânicos para contenção e proteção do solo, melhorando as condições de drenagem e retenção das movimentações de terra (COUTO et al., 2010). Desta forma, o emprego da engenharia natural, requer conhecimento das exigências e características biológicas das espécies vegetais e da sua aptidão biotécnica, devendo estas serem capazes não só de sobreviver no local, mas de solucionar os eventuais problemas técnicos existentes (DURLO; SUTILI, 2005).

Araújo et al. (2005) consideram as áreas de encostas naturais, taludes de corte e de aterro ao longo de rodovias, aterros sanitários, orlas destruídas e margens de rios como casos típicos para a utilização de técnicas e métodos de engenharia natural para controlar a erosão e os movimentos de massa superficiais.

Na engenharia natural, a estabilização das áreas ocorre em um primeiro momento através de partes das plantas, como estacas, que agem como reforço para o solo, barreiras contra o movimento de terra, concentradores de umidade e também como drenos hidráulicos. Em um segundo momento, as raízes e os ramos desenvolvidos passam a oferecer reforço à estabilidade. Neste princípio, verifica-se que o estágio inicial é o mais vulnerável nos sistemas de engenharia natural, sendo

que a partir do desenvolvimento da vegetação, adquirem maior resistência (ARAÚJO et al., 2005). Segundo os autores, os sistemas de engenharia natural também podem ser considerados como sistemas pioneiros ou precursores, de modo a estabilizar o local e favorecer os processos naturais de revegetação e sucessão ecológica, de modo a permitir um gradual aumento da estabilização ao longo do tempo.

Segundo Durlo e Sutili (2005), a engenharia natural ainda é pouca conhecida e empregada no Brasil, exigindo a construção de conhecimento sistemático para o seu emprego seguro. Segundo os autores, até o momento, a implantação segura destas obras no Brasil ainda carece de conhecimento sobre as características das plantas potencialmente utilizáveis.

### 2.6.1 Métodos de manejo biotécnico

A bioengenharia preconiza inúmeras formas de revegetação e modelos de construção, aplicáveis à solução de diferentes problemas, de acordo com as diversas funções, limitações, características e materiais empregados nas obras (DURLO; SUTILI, 2005). Araújo et al. (2005) descreve a aplicação e o uso dos métodos de estacas vivas, caniçadas vivas, caniçadas como drenos, camadas de ramos ou vassouras, empacotamento de ramos, geogrelhas vegetadas, e aterro vivo, entre outros. Segundo Gray e Sotir (1996 apud ARAÚJO et al., 2005), destes, os quatro primeiros métodos são adequados para as condições de taludes de corte.

Entre as principais técnicas utilizadas na revegetação de taludes rodoviários, destacam-se a hidrossemeadura, o plantio de mudas e o revestimento com grama em placas. Em qualquer técnica, a execução deve ser realizada imediatamente após a terraplenagem, devendo ser seguida de acompanhamento e manutenção (CARVALHO, 1991). Segundo os autores, a técnica de hidrossemeadura de gramíneas e/ou leguminosas, apesar de ser uma operação rápida, apresenta grande dependência das condições edafoclimáticas do local para garantir a germinação e desenvolvimento da vegetação, pois não utiliza implantação de camada de solo fértil.

Estudos de Fernandes (2004) demonstraram que o consórcio de gramíneas em biomantas sobre taludes em corte de estrada em solo profundo reduziu em mais de 54% a perda de solo por escoamento superficial, podendo esta redução chegar a

90%. Com relação a perda de água, este consórcio adicionado às biomantas chegaram a reduzi-la 8 a 65%, dependendo do tipo de biomanta empregado.

De acordo com FISRWG (1998) apud Durlo e Sutili (2005), taludes com inclinação entre 1:1 (horizontal:vertical) e 2:1 podem exigir métodos de revegetação fortemente apoiados por estruturas inertes de estabilização. Os métodos de plantio vegetativo combinados com pedra e madeira podem ser indicados para inclinações entre 1:1 e 3:1, sendo que a faixa de inclinação ótima para bioengenharia figura entre 2:1 e 10:1. No caso do plantio de mudas de gramíneas, esta técnica, além de ser mais lenta, é restrita a inclinações na relação de até 2:1.

Neste sentido, Lemes (2001) relata sobre a ocorrência de erosão hídrica em taludes rodoviários com inclinação entre 1,7:1 e 1:1. Segundo revisão do autor sobre o assunto, taludes com inclinação superior a 5:1, apresentam taxas de erosão decrescentes, sendo a máxima erosão hídrica ocorrente em declividades entre 15% e 5:1, e que acima de 1:1,7 de inclinação a quantidade de água recebida pela superfície do solo é muito pequena.

Segundo Carvalho et al. (1991) o revestimento de taludes com grama em placas é a técnica que possibilita mais rápida cobertura com máxima eficiência. Esta técnica permite a colocação de camada de solo fértil sua utilização em inclinações superiores à do plantio de mudas com o uso de grampos fixadores, telas, estacas entre outros.

Um método vegetativo considerado ideal para taludes de corte rodoviários, e para onde há necessidade de reter os sedimentos é o de “banquetas”. Este método consiste na construção de degraus transversais à inclinação do talude, onde são colocadas estacas, presas ou não, sendo ao final, parcialmente cobertas com solo (DURLO; SUTILI, 2005). Couto et al. (2010) abordam métodos como o de hidrossemeadura, onde o simples microcoveamento prévio da superfície do terreno ajuda na fixação de sementes e restabelecimento da vegetação.

Em comparação com outros métodos, as biotécnicas podem apresentar soluções com ganhos ecológicos, econômicos e de alto valor paisagístico, dependendo dos objetivos propostos. Neste sentido, o emprego de materiais disponíveis na região e o manejo de espécies nativas locais, embora pouco estudados, são fundamentais para a viabilidade econômica e obtenção de benefícios ambientais (ARAÚJO et al., 2005; DURLO; SUTILI, 2005).

## 2.7 Propagação de plantas

Apesar da propagação de plantas ocorrer de maneira natural, o homem vem desenvolvendo e aprimorando os métodos e técnicas de propagação existentes, de forma a obter benefícios não apenas na eficácia da multiplicação para o cultivo, mas também relacionados ao controle de sua genética, de modo a introduzir características desejáveis nas populações cultivadas.

Em uma abordagem agrônômica, Fachinello et al. (2005) consideram propagação como “um conjunto de práticas destinadas a perpetuar as espécies de forma controlada”. Segundo os autores, o objetivo da propagação é aumentar o número de plantas de forma a garantir que as características agrônômicas das cultivares sejam mantidas. A importância do conhecimento das formas de reprodução das plantas e o desenvolvimento de técnicas que permitam sua multiplicação e propagação apresentam importância econômica para espécies ornamentais, olerícolas, frutíferas e florestais (KÄMPF, 2000). Para a autora, isto se dá principalmente em sistemas verticalizados de produção de plantas em larga escala como ocorrem em viveiros de mudas que abastecem os mercados.

A propagação das plantas pode ser agrupada em dois tipos: sexuada e assexuada (RAVEN et al., 1985). Na produção comercial de mudas, em muitos casos, a propagação assexuada assume maior importância que a sexuada (KÄMPF, 2000). Apesar de requerer maiores cuidados fitossanitários (FACHINELLO et al., 2005), a escolha deste método deve-se principalmente à maior rapidez na propagação, à redução do período improdutivo das plantas, e à manutenção das características vegetais desejadas (KÄMPF, 2000).

No âmbito da conservação ambiental, onde são priorizados aspectos relacionados à biodiversidade e variabilidade genética das populações, os métodos reprodutivos de propagação de plantas podem assumir maior importância.

A preferência pelo método de propagação também está vinculada a características como a produção e viabilidade de sementes e ou propágulos vegetativos, bem como seu reflexo no desenvolvimento das plantas a campo (FACHINELLO et al., 2005).

### 2.7.1 Estruturas e métodos de propagação vegetativa

Existem diversas e variadas formas de reprodução vegetativa nas plantas, através de estruturas como: estolões, caules subterrâneos (rizomas, bulbos, entre outros), folhas, caules e brotos (RAVEN et al., 1985). Entre as mais conhecidas formas que ocorrem naturalmente, os mesmos autores citam a propagação por estolhos e rizomas.

Segundo Fachinello et al. (2005), os principais métodos de propagação assexuada são: estaquia, enxertia, divisão de estruturas especializadas (estolões, rebentos e rizomas), mergulhia e micropropagação *in vitro*.

Devido à importância da estaquia para a engenharia natural, este método será abordado em maior detalhamento, principalmente quanto aos fatores que afetam o enraizamento de estacas.

### 2.7.2 Estaquia

A estaquia é uma técnica de propagação vegetativa amplamente empregada em espécies de valor comercial (TREVISAN et al., 2004), que deve-se, em grande parte, à facilidade de muitas espécies em produzir raízes adventícias (KÄMPF, 2000).

Trevisan et al. (2004) considera que os principais fatores determinantes do sucesso do emprego da estaquia na produção de mudas estão relacionados à planta-matriz, ao tipo de estaca e à época de coleta dos ramos para obtenção das estacas. Kämpf (2000) acrescenta que o sucesso desta propagação requer o emprego da técnica de propagação mais adequada à espécie, bem como o substrato, ao uso de fitoreguladores, e às condições climáticas. Neste último, ressalta a autora, certas condições de temperatura, luminosidade e umidade relativa do ar podem agravar a situação de estresse da planta.

A temperatura não exerce influência apenas na germinação de sementes. Kämpf (2000) apresenta dados sobre o efeito da temperatura do ar e a do solo na absorção de nutrientes pelas plantas, mais atuantes, especificamente, sobre os pêlos absorventes das raízes. Segundo a autora, o enraizamento de estacas é comprovadamente influenciado pela temperatura do substrato, assim como luz e

umidade. Apesar dos limites máximos, mínimos e ótimos variarem entre as diferentes espécies de plantas, para grande parte de plantas ornamentais, temperaturas do substrato entre 18 e 24°C exercem efeito estimulante na fase inicial do enraizamento. Para Fachinello et al. (2005), temperaturas do leito de enraizamento entre 18 e 21°C favorecem a divisão celular e estimulam a formação de raízes, sendo importante para multiplicação por estacas de espécies de difícil enraizamento.

O enraizamento das estacas pode ser influenciado por diversos fatores, entre eles os internos e sua interação; as condições fisiológicas da planta-matriz; a idade da planta matriz; o tipo de estaca; a época do ano; o potencial genético de enraizamento; o balanço hormonal; e a oxidação de compostos fenólicos. Uma descrição mais detalhada destes fatores pode ser encontrada em diversas bibliografias, como Fachinello et al. (2005), Taiz e Zeiger (2004) e Trevisan et al., (2004).

O conhecimento das características inerentes à propagação das plantas é muito importante para o manejo biotécnico de áreas degradadas, sendo um importante atributo utilizado na seleção de espécies aptas (DURLO; SUTILI, 2005). Neste sentido, espécies de plantas com importantes características para o emprego no manejo biotécnico de áreas degradadas, mas que apresentam atributos deficientes de propagação, podem ter seu emprego viabilizado através do estudo e aprimoramento destas técnicas, sejam pelo método sexuado ou assexuado.

Em engenharia natural, os materiais vegetativos utilizados podem ser utilizados na forma de sementes e mudas, obtidos por métodos reprodutivos germinativos ou via propagação vegetativa (ARAÚJO et al., 2005).

As sementes podem ser utilizadas através da semeadura direta no talude previamente modelado, na forma de mudas produzidas em viveiro e plantadas diretamente no talude, ou através de outros métodos, como a hidrossemeadura e malhas geotêxteis (DURLO; SUTILI, 2005). Segundo os autores, o uso direto de sementes é restrito a locais com pequena declividade e o de mudas é indicado para os casos onde as espécies não reproduzem-se bem vegetativamente.

Segundo Morgan e Rickson (1995 apud DURLO; SUTILI, 2005), os métodos de reprodução germinativa são importantes em situações específicas, sendo normalmente utilizados de forma associada ou complementar aos métodos de reprodução vegetativa, estes sim, priorizados pela engenharia natural.

Segundo Araújo et al. (2005), o principal material vivo utilizado nas construções de engenharia natural são as estacas. Para o bom estabelecimento das mesmas, os autores recomendam que as mesmas sejam oriundas de ramos afastados de 20 a 25 cm do solo e que o tempo entre coleta e plantio seja o menor possível. No caso da necessidade de armazenamento, o mesmo deve ser realizado em água ou solo úmido, ao abrigo do sol e vento, podendo ser mantidas sob refrigeração, para o caso do período exceder alguns dias.

Diversos trabalhos como os de Disarz (2011), Monteiro (2009), Sutili (2009) e Altreiter e Plunger (2004) abordam sobre a propagação vegetativa de espécies em engenharia natural.

Segundo Durlo e Sutili (2005), os métodos vegetativos podem utilizar desde estacas simples, com cerca de 40 cm, cravadas no talude, ou presas e cobertas com solo em banquetas; como também ramos longos, na forma de feixes, esteiras e tranças; ou leivas, geralmente de gramíneas que são transplantadas para a área.

A revegetação de áreas através de transplantes geralmente são utilizados isoladamente ou em conjunto com outros sistemas de estabilização (ARAÚJO et al., 2005), sendo que quando bem manipuladas e instaladas, estas mudas normalmente são bem sucedidas.

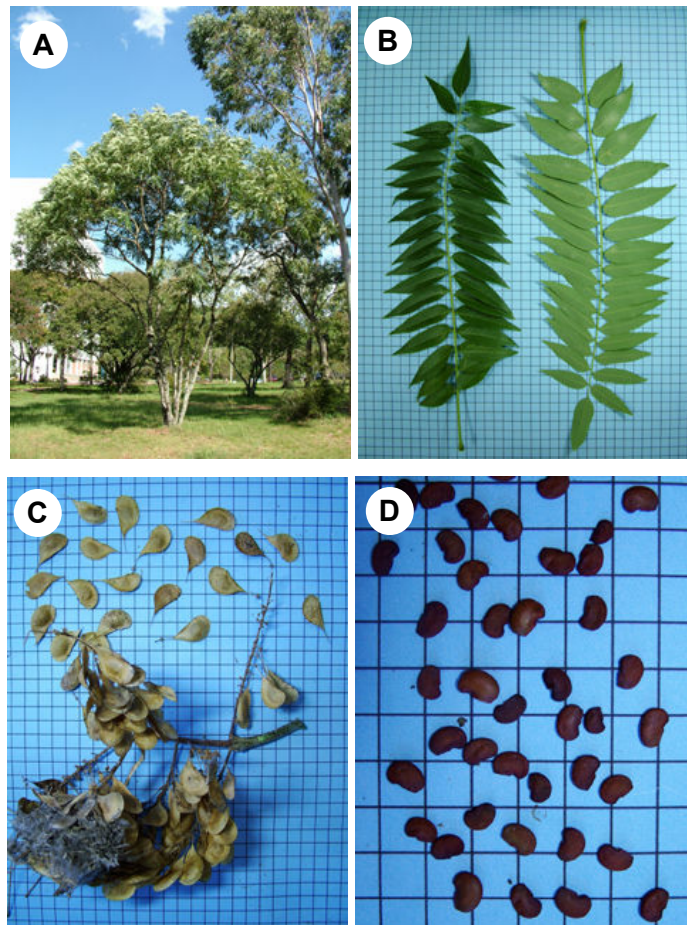
## **2.8 Caracterização das espécies utilizadas no experimento**

### **2.8.1 *Ateleia glazioveana* Baill.**

As características botânicas de *A. glazioveana* (Figura 6), espécie de árvore popularmente conhecida na região sul do Brasil como “Timbó”, pertencente à família Fabaceae, assim como sua distribuição geográfica e aspectos de sua ecologia podem ser encontrados nas citações de Marchiori (2007), Sobral et al. (2006), EMBRAPA-CNPQ (1988) e Reitz, Klein e Reis (1988).

O potencial silvicultural, principalmente para fins de recuperação ambiental desta espécie é reconhecido em bibliografia de diversos autores como Baggio (2002), Glufke (1999), EMBRAPA-CNPQ (1988), Reitz, Klein e Reis (1988) e Manual... (1985). A espécie *A. glazioveana*, também pode ser utilizada para fins energéticos (REITZ; KLEIN; e REIS, 1988), inseticida (CANTARELLI et al., 2005; BURG; MAYER, 2001), como adubo verde (BAGGIO, 2002), entre outros. Apesar

disto, observa-se que seu cultivo é polêmico entre alguns autores, devido à sua capacidade invasora (EMBRAPA-CNPQ, 1988) e pelo efeito tóxico do consumo de suas folhas, principalmente em rebanhos bovinos (BAGGIO, 2002; GAVA et al., 2001; RIO GRANDE DO SUL, 1998).



**Figura 6 – *Ateleia glazioveana* Baill.: árvore em jardim (A); folhas (B); frutos (C); e sementes (D). Fonte: HDCF (2011).**

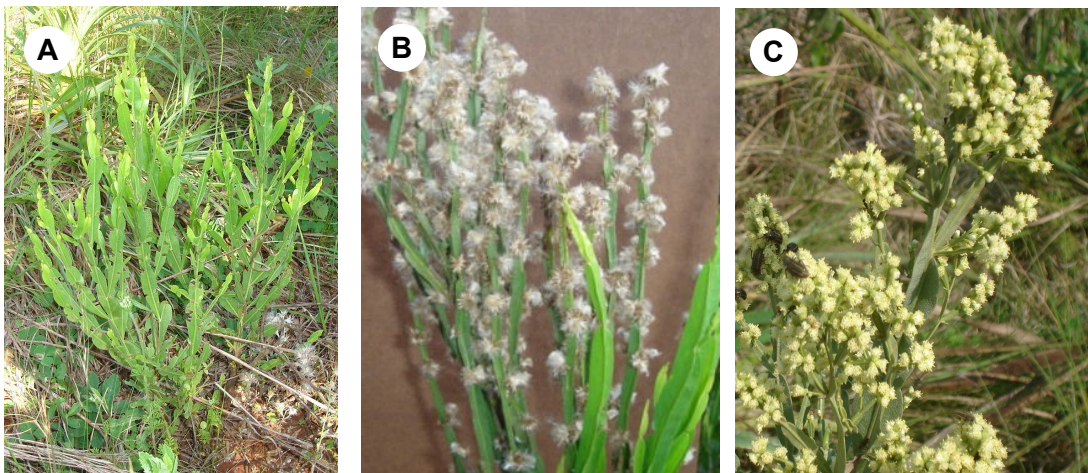
Pode-se observar na região de Cruz Alta-RS o avanço natural desta espécie na forma de pequenos núcleos isolados em áreas de domínio de rodovias. O seu potencial de uso e as características de rusticidade, rápido desenvolvimento e capacidade de rebrota, entre outras, associadas ao fato desta espécie ainda não ser muito difundida para uso em áreas degradadas e controle da erosão (PEREIRA, 2006), levaram à sua escolha como representante arbórea no experimento em talude, com propagação vegetativa, através de estacas.



### 2.8.2 *Baccharis trimera* (Less.) DC.

*B. trimera*, popularmente denominada “Carqueja” e pertencente à família Asteraceae é uma espécie subarbusciva (LORENZI, 2008) que faz parte da fisionomia dos campos nativos do planalto do Rio Grande do Sul (REITZ; KLEIN; REIS, 1988), e também da cultura da tradição do povo gaúcho. Suas características botânicas, assim como sua distribuição geográfica e aspectos de sua ecologia, podem ser encontradas nas citações de Lorenzi (2008), Simões et al. (1995) e Corrêa Júnior, Ming e Schaffer (1994).

Esta espécie figura entre as principais plantas medicinais no Brasil, e está descrita na Farmacopéia Brasileira (BRASIL, 2010), sendo esta sua principal utilização em nível econômico, havendo diversos trabalhos científicos sobre a mesma (CORRÊA JÚNIOR; GRAÇA; SCHAFFER, 2004). Imagens da morfologia e hábito de *Baccharis trimera* podem ser observados na Figura 7.



**Figura 7 – *Baccharis trimera* (Less.) DC.: planta jovem (A); floração (B); e dispersão de sementes (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

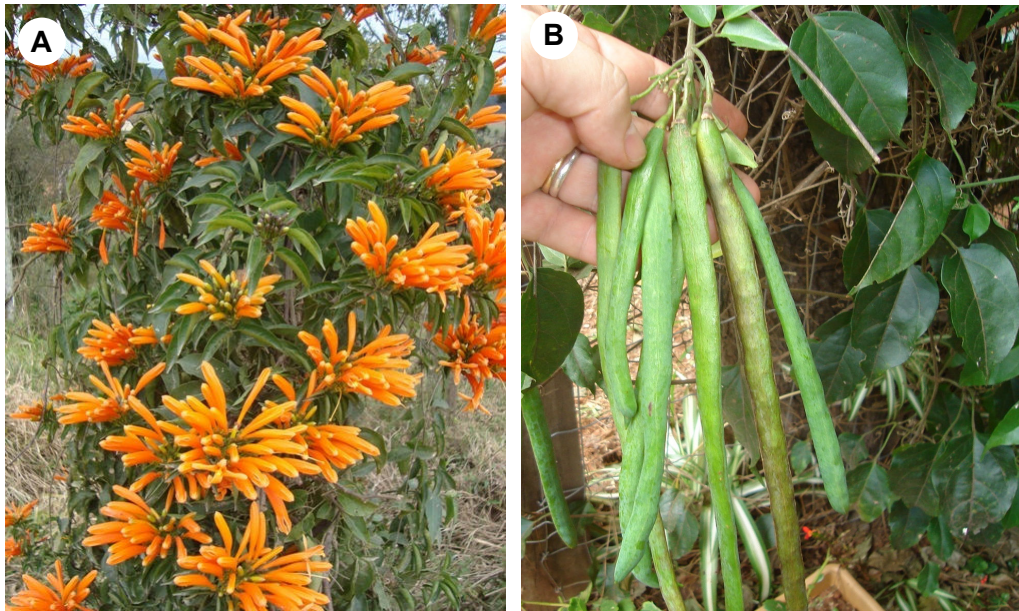
Segundo Lorenzi (2008), *B. trimera* tolera solos muito ácidos e pobres, luz difusa e geadas. Apesar de apresentar características bastante interessantes no sentido de seu emprego na recuperação de áreas degradadas, bem como de ser encontrada espontaneamente nestes ambientes, não foi encontrado na bibliografia recente nenhuma referência que indicasse seu uso para este fim, apesar de constar

referência genérica em Manual... (1985), onde *Baccharis spp.* compõe a lista de espécies indicadas para a estabilização de voçorocas e fixação de taludes.

O desenvolvimento de plantas de *B. trimera* observado em taludes de rodovias e áreas degradadas na região de Cruz Alta-RS e seu potencial de uso, levaram à escolha desta espécie para o experimento em talude, utilizando-se mudas obtidas vegetativamente por divisão de touceiras.

### 2.8.3 *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers

As características botânicas de *P. venusta*, espécie de planta trepadeira, pertencente à família Bignoniaceae, nativa de quase todo o Brasil e popularmente conhecida na região sul do Brasil como “Cipó-de-são-joão”, assim como sua distribuição geográfica e aspectos de sua ecologia podem ser encontrados em Lorenzi e Souza (2008). Imagens da morfologia e hábito de *P. venusta* podem ser observados na Figura 8.



**Figura 8 – *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.): floração (A); fruto (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2011). (a): Foto de Marcio Verdi (FloraRS/UFRGS, 2010)**

Esta espécie é utilizada principalmente como planta ornamental, embora apresente propriedades medicinais (LORENZI, 2008; MACANHÃO et al., 2003) e potencial para produção de produtos artesanais (CORADIN, SIMINSK; REIS, 2011).

Apesar de adaptar-se bem a terrenos de baixa fertilidade ou perturbados fisicamente (MACANHÃO et al., 2003) e de seu comportamento infestante, principalmente em solos arenosos e pobres (LORENZI, 2008), características que lhe conferem grande potencial na recuperação ambiental, esta espécie não é utilizada para esta finalidade.

O desenvolvimento de plantas de *P. venusta* observado em taludes de rodovias na região de Cruz Alta-RS e seu potencial de uso, levaram à escolha desta espécie como representante do grupo de plantas trepadeiras no experimento em talude, utilizando-se propagação vegetativa, através de estacas.

#### 2.8.4 *Cynodom plectostachyus* (K. Schum.) Pilg.

As características botânicas de *C. plectostachyus* (Figura 9), assim como sua distribuição geográfica e aspectos de sua ecologia podem ser encontrados em Lorenzi (2008). Esta espécie, popularmente conhecida como “capim-estrela-africana”, pertence à família Poaceae, sendo introduzida da África Oriental como planta forrageira.

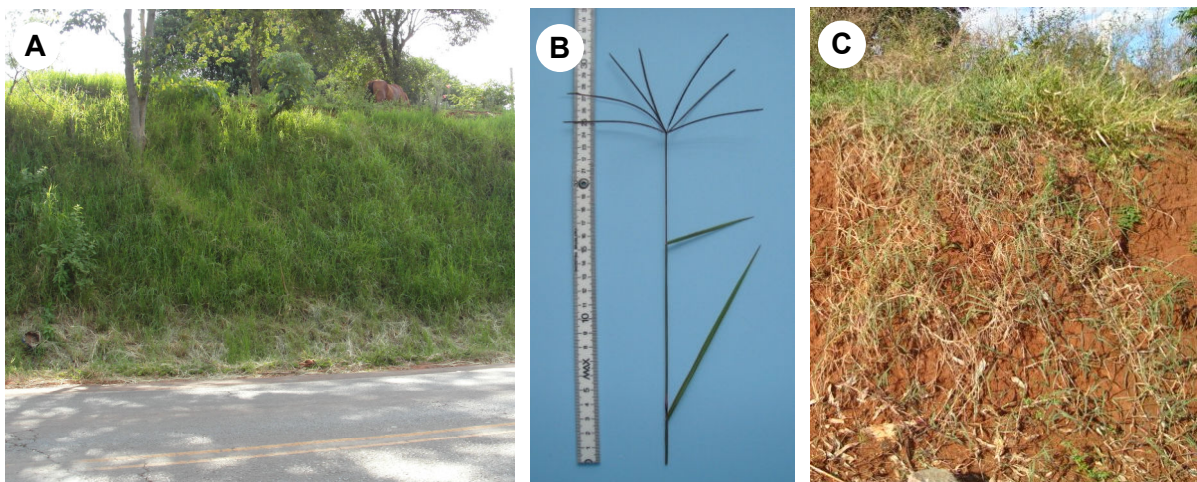


Figura 9 – *Cynodom plectostachyus* (K. Schum.) Pilg.: em cobertura sobre talude rodoviário (A); extremidade do ramo em floração (B); e dispersão de estolões em talude (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).

Também é muito cultivada para a proteção de solos contra erosão (LORENZI, 2008), indicada para uso em áreas degradadas, mas de fertilidade alta (PEREIRA, 2006) e para fixação de taludes (MANUAL..., 1985). De acordo com Sutili (2007), trata-se de planta de difícil erradicação e que deve ser utilizada com cautela, principalmente em grandes áreas.

A aptidão de uso e o desenvolvimento apresentado por populações desta espécie em áreas degradadas de talude levaram à sua escolha para o experimento em talude, representando o grupo das gramíneas, utilizando-se mudas obtidas por propagação vegetativa.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Estudos preliminares

##### 3.1.1 Levantamento diagnóstico de taludes em Latossolos de Cruz Alta, RS.

Este estudo foi realizado durante o período de março de 2009 a fevereiro de 2010 e consistiu na observação qualitativa de problemas encontrados em taludes no município de Cruz Alta, RS, Brasil. Os locais de observação dos dados a campo (Quadro 2) foram previamente escolhidos envolvendo taludes de corte existentes junto às margens das principais rodovias e estradas do município de Cruz Alta e região.

Nº	Rodovia/estrada	Trecho
1	Rodovia BR 158	Tupanciretã – Cruz Alta – Panambi
2	Rodovia BR 377	Cruz Alta – Ibirubá
3	Rodovia RS 342	Cruz Alta – Ijuí
4	Rodovia RST 481	Cruz Alta – Salto do Jacuí
5	Rodovia Municipal Jacob Della Mea	Cruz Alta – Campus Universitário
6	Estrada Municipal Ricardo Daltrozo	Cruz Alta – Boa Vista do Cadeado
7	Estrada Municipal Luciano Furian	Cruz Alta – Benjamin Nott
8	Estrada Municipal “Estrada velha p/ Salto do Jacuí”	BR 158 – Lajeado da Cruz – RST 481

**Quadro 2 – Rodovias e estradas da região de Cruz Alta-RS onde foi realizado o levantamento diagnóstico de problemas ocorrentes em taludes, Cruz Alta, RS, Brasil (2009).**

Inicialmente foi realizado um estudo prévio em bibliografias como Maciel Filho (2008), Pereira (2006), Araújo et al. (2005), Durlo e Sutili (2005), Carvalho et al. (1991), entre outras, quando foram definidos os vários aspectos de interesse a serem observados no levantamento de campo, sendo eles: tipos de degradação ocorrentes no solo e na cobertura vegetal; ocupação das áreas de talude e entorno; e uso de técnicas e conservação.

As partir de saídas de campo, foram observados os diferentes aspectos de interesse nos taludes encontrados nos trechos das estradas e rodovias, sendo verificados e identificados os diferentes tipos de problemas mais ocorrentes e suas possíveis causas, de modo a permitir a elaboração de um diagnóstico com a lista dos principais problemas encontrados nos taludes do sistema viário da região.

### 3.1.2 Critérios para seleção de espécies

O estudo foi realizado no município de Cruz Alta, RS, Sul do Brasil (28°23'28,14" S e 53°22'25,61" O), durante o período compreendido entre os meses de março a julho de 2009. Em um primeiro momento foi realizada uma revisão em literatura de modo a caracterizar os principais aspectos referentes às condições ambientais de clima, relevo e solo ocorrentes na região, relacionados aos principais problemas, limitações e potencialidades de uso das áreas de taludes.

As características consideradas adequadas para a seleção de plantas visando o manejo biotécnico de taludes foram determinadas com base nas bibliografias de Couto et al. (2010), Pereira (2006), Araújo et al. (2005), Durlo e Sutili (2005), Lemes (2001) e Glufke (1999), e através de observações a campo em áreas de taludes, em loteamentos urbanos e em estradas e rodovias (Quadro 2), ocorrentes na região de Cruz Alta, RS.

A partir da definição destas características foram escolhidos os critérios de seleção, que foram classificados em quatro grupos:

- biotécnico, relacionado com os benefícios que se deseja pelo emprego da planta e suas características referentes à propagação e/ou cultivo;
- biológico, relacionado com as características morfológicas e fenológicas da espécie;
- ecológico, referente ao comportamento da espécie frente a fatores do meio ambiente (edafoclimáticos, fauna, flora), exceto os de natureza antrópica;
- socioeconômicos, aqueles voltados ao interesse humano, de natureza cultural, de efeito estético e de geração de renda.

Para a seleção de espécies foram realizadas novas excursões a campo, desta vez objetivando encontrar plantas, nativas ou exóticas, com potencial de uso para o manejo biotécnico de taludes, de acordo com os critérios pré-estabelecidos e características apresentadas pelas plantas em seus locais de origem, sem haver nenhuma intervenção no ambiente, nem trato cultural. Foram observadas plantas dos seguintes hábitos de crescimento: estoloníferas, trepadeiras, herbáceas, arbustivas e arbóreas.

As espécies que apresentaram características desejáveis foram identificadas e seu desenvolvimento frente às condições edafoclimáticas e de natureza antrópica foi acompanhado durante o período, sendo escolhidas as quatro espécies de cada

hábito, consideradas mais promissoras, priorizando-se espécies pouco conhecidas e/ou não empregadas no manejo biotécnico de taludes até agora. Foram elas:

- Trepadeiras, *Hedera canariensis*, *Ipomea cairica*, *Mikania glomerata* e *Pyrostegia venusta*;
- Herbáceas/subarbustivas\*, *Acanthospermum australe*, *Baccharis trimera*<sup>(\*)</sup>, *Petunia integrifolia* e *Rhynchosia corylifolia*;
- Arbustivas\*\*/arbóreas, *Ateleia glazioviana*, *Hibiscus rosa-sinensis*<sup>(\*\*)</sup>, *Lagerstroemia indica* e *Sambucus australis*.

### 3.2 Determinação de características biotécnicas

A partir dos estudos preliminares e da seleção de espécies, descrita na seção 3.1.2, foram escolhidas quatro espécies de plantas para compor um experimento a campo, em talude, sendo elas: *Ateleia glazioveana* Baill. (arbórea), *Baccharis trimera* (Less.) DC. (subarbustiva), *Pyrostegia venusta* (Kers Gawl.) Miers (trepadeira) e *Cynodom plectostachyus* (K. Schum.) Pilg. (gramínea estolonífera)

A escolha destas quatro espécies levou em consideração principalmente as seguintes características: espécies nativas; rusticidade; ocorrência na região; disponibilidade de material propagativo; potencial de uso múltiplo; e não serem encontrados estudos de sua aplicação no manejo biotécnico de taludes. A primeira e última características não se aplicam a *Cynodom plectostachyus*, que também foi selecionada, mas por ser uma gramínea, grupo de plantas muito importante na prevenção do processo erosivo (LORENZI; SOUZA, 2008) e de uso bastante difundido no manejo biotécnico de taludes (PEREIRA, 2006).

Desta forma, além de avaliar a aptidão biotécnica de cada espécie estudada, pôde-se também observar aspectos relativos à aptidão de diferentes hábitos de crescimento e comparar seus desempenhos com o de uma espécie gramínea já reconhecida e convencionalmente utilizada.

#### 3.2.1 Caracterização do local do experimento

O experimento a campo foi realizado em zona perimetral da cidade de Cruz Alta, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Sua localização situa-se junto a Rodovia RS 342, km 04, esquina com a rua Sebastião Veríssimo, nº 540. O

experimento foi instalado em talude (Figura 10) existente na área interna de uma empresa de beneficiamento e depósito de grãos, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: latitude -28,39115; e longitude -53,37378 (em graus decimais e no sistema geodésico SAD-69).



**Figura 10 – Área de talude em latossolo antes da implantação do experimento, Cruz Alta, RS, 2010.**

A altitude do local é de aproximadamente 470 m, em um talude situado no quarto superior da rampa de declive de uma coxilha, em solo Latossolo vermelho distrófico típico, pertencente à Unidade de Formação Cruz Alta (MANUAL..., 2004).

O talude apresenta exposição solar oeste, declividade superior a 45°, comprimento de 100 m, diferença de nível entre suas cotas superior e inferior de aproximadamente 2,5m, com escassa vegetação espontânea. A área, à jusante do talude é plana (nivelada pela retirada de solo), livre de vegetação ou edificações em uma faixa de 50m, e vinha sendo utilizada como pátio de manobra de caminhões, secagem de forrageiras e depósito de materiais para descarte.

À montante do talude após aproximadamente dois metros de sua crista havia o limite da área da empresa, delimitado com cerca de arame, a partir da qual o relevo apresentava sua forma e nível original em lotes urbanos com leve inclinação, sendo parte com vegetação herbácea, sem edificações, e parte com vegetação arbórea e edificações residenciais de pequeno porte. A vegetação arbórea era constituída principalmente por uma fileira de *Hovenia dulcis* Thunb. (uva-do-japão), localizada a cerca de 3 m do talude e *Solanum mauritianum* Scop. (fumo-bravo), em revegetação natural, junto à cerca.



### 3.2.2 Implantação do experimento no talude

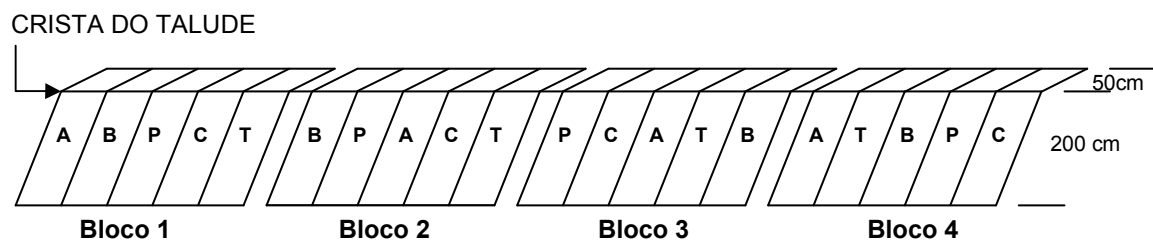
#### 3.2.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com parcela subdividida (RANAL; SANTANA, 2004). O bloqueamento foi necessário devido à ocorrência de variações na área de entorno do talude. Os blocos 1 e 2 foram localizados no segmento de talude que apresentava vegetação herbácea à sua montante e os blocos 3 e 4, onde a vegetação era arbórea. O afastamento lateral entre os blocos foi de 100 cm e entre as parcelas, de 50 cm.

Cada parcela amostral de talude teve as dimensões de 100 cm de largura (eixo horizontal do talude) por 250 cm de comprimento. As parcelas foram posicionadas da seguinte forma, em relação ao seu comprimento, a partir da crista do talude: 50 cm acima da crista; e 200 cm abaixo da crista, ao longo da rampa do talude (Figura 11).

Os tratamentos nas parcelas no talude foram cinco, com quatro repetições cada, sendo eles: “T1”, testemunha com talude não cultivado; “T2”, plantio de estacas de *Ateleia glazioveana*; “T3”, plantio de mudas de *Baccharis trimera*; “T4”, plantio de estacas de *Pyrostegia venusta*; “T5”, plantio de mudas de *Cynodom plectostachyus*. Desta forma, o experimento totalizou 20 parcelas amostrais.

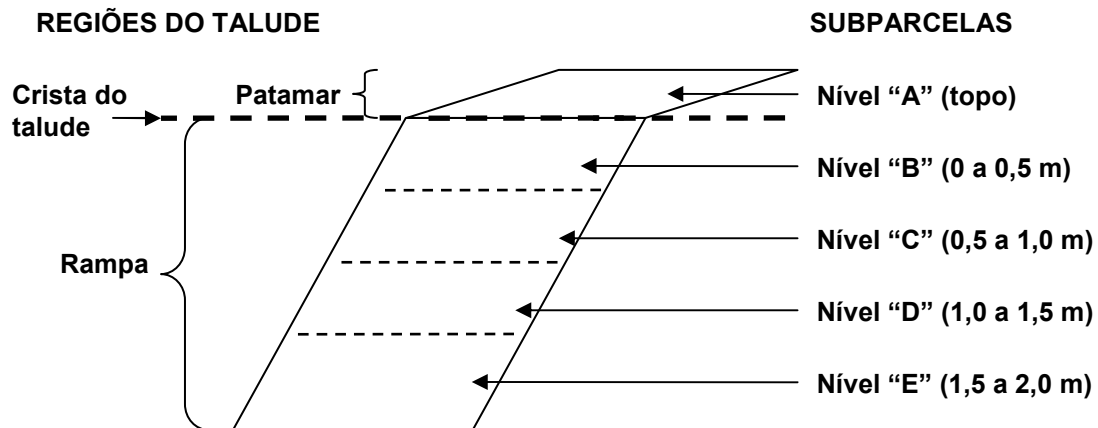
A distribuição dos tratamentos nos diferentes blocos de parcelas foi realizada conforme Ranal e Santana (2004) e pode ser observada na Figura 11.



A= *Ateleia glazioveana*; B= *Baccharis trimera*; P= *Pyrostegia venusta*;  
C= *Cynodom plectostachyus*; T= Testemunha (sem vegetação cultivada).

**Figura 11 – Croqui com a distribuição dos tratamentos do experimento nas parcelas em talude, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

Cada parcela amostral foi subdividida na direção de seu comprimento em cinco subparcelas de formato retangular na horizontal com 100 cm e na vertical com 0,5 m, conforme pode ser observado na Figura 12.



**Figura 12 – Croqui da parcela amostral do experimento em talude com as suas regiões e a distribuição das subparcelas e seus respectivos níveis no perfil, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

As subparcelas tiveram o objetivo de verificar o efeito de eventuais variações no solo, ao longo de diferentes níveis no perfil do talude, compondo os seguintes tratamentos: Nível "A", subparcela do nível superior, localizada na faixa do topo com 50 cm acima da crista do talude; níveis "B", "C", "D" e "E", referentes às subparcelas localizadas na rampa do talude, respectivamente nas faixas de 0 a 0,5 m, 0,5 a 1,0 m, 1,0 a 1,5 m e 1,5 a 2,0 m abaixo do nível da crista do talude.

### 3.2.2.2 Preparação da área e instalação das parcelas experimentais

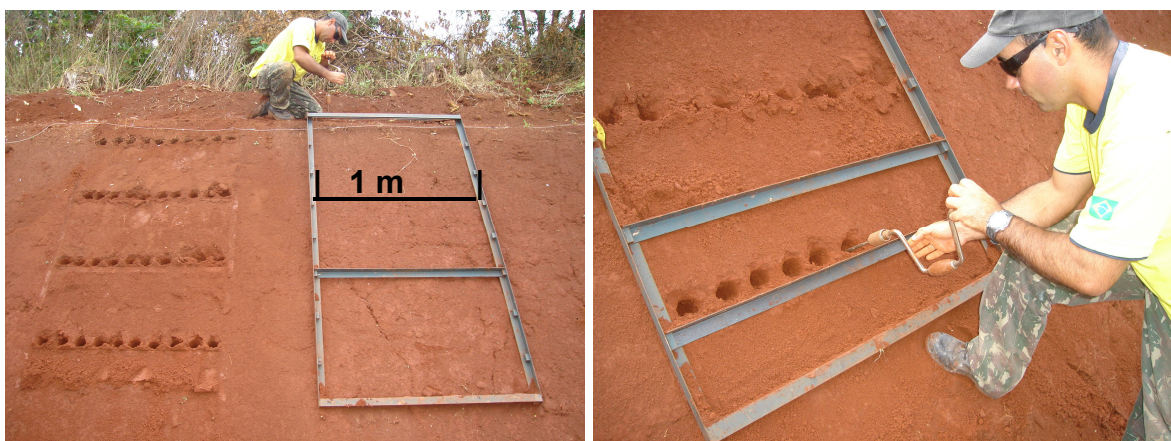
A preparação da área experimental iniciou em janeiro de 2010, com o desvio das águas pluviais de escoamento superficial à montante do talude, através da construção de canal e terraço junto à cerca, e retirada da vegetação existente no talude e em sua bordadura em uma faixa de 1 metro. Em seguida foi realizado o retaludamento em corte do talude pré-existente, utilizando-se pás-de-corte e enxadas, de modo a aplainar sua superfície em um ângulo de 45 graus de inclinação, de acordo com padrões recomendados pela geotecnia. A "crista" do

talude foi arredondada, conforme preconizado por Animoto (1978) *apud* Durlo e Sutili (2005). O rebaixamento do vértice da crista foi de 8 cm, de modo a deixar sua superfície em curva com aproximadamente 20 cm de raio.

Posteriormente foram desenvolvidos e testados os métodos e materiais para a demarcação das parcelas, abertura de covas, condução e captação da água e solo. Esta etapa transcorreu até o mês de março de 2010.

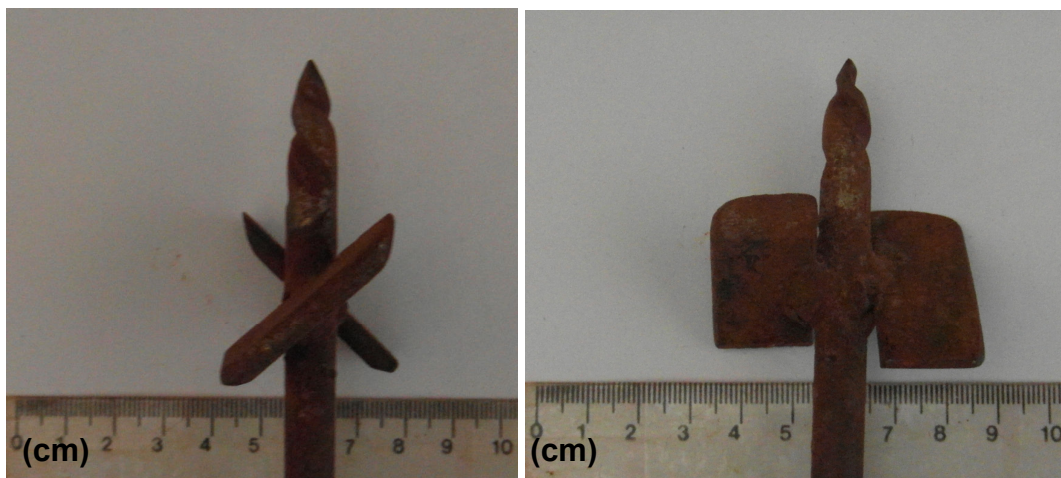
Para a demarcação e instalação das parcelas amostrais foi desenvolvido um gabarito com as mesmas dimensões das parcelas, construído em cantoneira metálica (Figura 13), com pinos de 10 cm para a fixação ao talude. Nas laterais foram instalados suportes de espera a cada 25 cm, onde foram fixadas as travessas removíveis. Desta forma, a posição das travessas corresponderam aos respectivos níveis superior, central e inferior de cada subparcela. As travessas foram graduadas a cada 10 cm, de modo a permitir o espaçamento e a localização exata de abertura das covas de plantio, que foram localizadas em nível, no centro de cada subparcela.

Cada subparcela foi formada por dez covas equidistantes, em linha, o que totaliza 50 covas por parcela e 200 covas entre as quatro repetições de cada tratamento. A abertura das covas foi realizada em ordem, da sub-parcela superior para a inferior, sendo que as travessas serviam também de degraus de apoio para a abertura das covas nas sub-parcelas dos níveis superiores do talude.



**Figura 13 – Demarcação das parcelas amostrais e abertura de covas durante a instalação do experimento em talude, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

Para a abertura das covas foi desenvolvida uma broca de lâmina cruzada (Figura 14), com 5 cm de diâmetro, acoplada a uma furadeira manual tipo “arco”. As covas foram abertas até a profundidade de 30 cm. Em seguida, com auxílio de uma espátula, a cova foi retificada para um formato quadrado com 6 cm de largura, sendo assim retirada eventual superfície de espelhamento nas paredes e no fundo da cova, o que evita o “enovelamento” e das raízes no interior da cova. Após esta operação, as covas permaneceram abertas até o momento do plantio.



**Figura 14 – Broca de lâmina cruzada desenvolvida para a abertura das covas de plantio no talude experimental, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

Posteriormente ao plantio e replantio, descritos na seção 3.3.3, adiante, a instalação das parcelas foi concluída, com a delimitação das mesmas com mangueira de 1 polegada, fixada através de grampos de ferro, de 0,4 cm de bitola por 25 cm de comprimento, dispostos a cada 50 cm de mangueira ou menos, de modo a manter a mangueira junto à superfície do talude. Este procedimento foi realizado para direcionar a água de escoamento superficial, evitando-se tanto a fuga de água da parcela, quanto a entrada de água externa à mesma. Na faixa da parcela localizada acima da crista do talude, pelo lado externo da mangueira, foi colocado um reforço adicional em chapa metálica com 20 cm de altura para barrar eventuais águas de enxurrada e desta forma evitar a entrada de águas externas no interior da parcela.

No limite inferior de cada parcela, ao final da rampa do talude, foi instalada uma calha metálica para captar toda a água de escoamento superficial e solo,

perdidos da parcela. Da calha, este material foi conduzido em canos de PVC até baldes com capacidade de 23 litros. Foi preparada uma bateria de baldes reserva para eventual risco de ocorrência de transbordo em grandes precipitações.

Para impedir a fuga do material e a entrada de água da chuva, todas as conexões foram protegidas com flanges e vedadas com silicone e os baldes tampados. A calha foi fixada ao talude através de grampos de ferro 0,4 cm com 25 cm de comprimento e pelo seu próprio flange inferior da abertura coletora. Este flange, de 10 cm, foi introduzido perpendicularmente ao leito do talude, no limite inferior da parcela amostral, onde previamente foi aberta uma fenda no solo, com o auxílio de uma guia de madeira e facão. A calha coletora, possuía a mesma largura da parcela, com bocal de 100 cm por 5 cm de altura. Nas parcelas localizadas nos blocos 3 e 4, foi colocada uma tela de 5 cm de malha no bocal das calhas para evitar o entupimento por folhas e galhos. A instalação do sistema de coletor de água e solo na parcela amostral, pode ser observada na Figura 15.

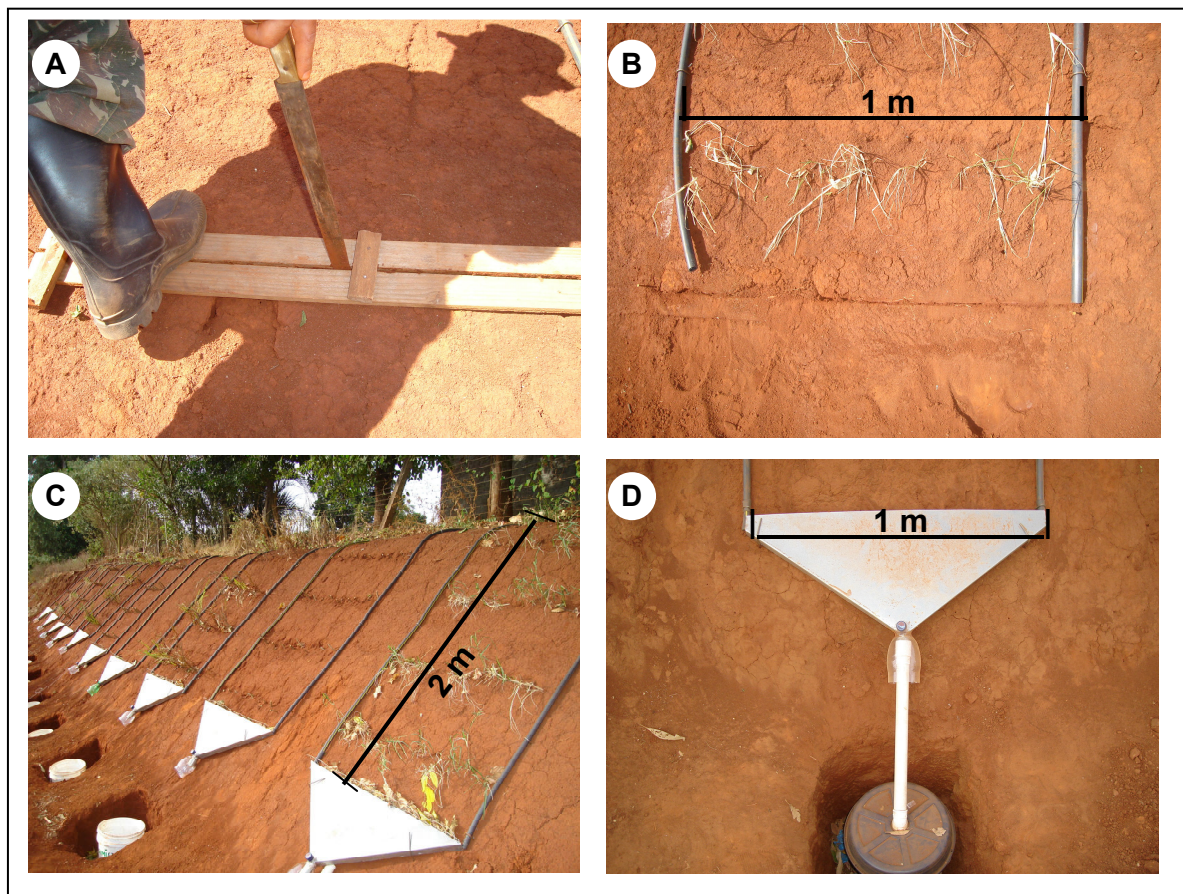


Figura 15 – Instalação do sistema coletor de água e solo nas parcelas do experimento após o plantio e replantio: abertura do sulco (A); sulco aberto e instalação de mangueiras laterais (B); instalação de calhas e baldes (C); e sistema coletor pronto (D), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).

### 3.2.2.3 Coleta, preparo e plantio do material propagativo

Nesta seção estão apresentados aspectos gerais da metodologia utilizada na escolha e coleta das plantas matrizes, na preparação, plantio e replantio das estacas ou mudas nas parcelas experimentais, bem como particularidades de cada espécie utilizada.

A coleta, preparação do material propagativo e plantio das espécies nas parcelas experimentais foram realizadas no período de 29 de março a 03 de abril de 2010. A propagação das espécies selecionadas foi realizada por dois métodos, sendo eles: estaquia, para *Ateleia glazioveana* e *Pyrostegia venusta*; explante de mudas por divisão de touceira, para *Baccharis trimera*; e de estolões, para *Cynodom plectostachyus*. A escolha dos métodos propagativos considerou as características reprodutivas das espécies e a disponibilidade imediata de material para propagação.

Para permitir uma melhor adaptação das plantas às condições edafoclimáticas do experimento, todo o material foi obtido de populações espontâneas ocorrentes em locais pré-selecionados em um raio de até 20 km do experimento, em latossolo e em ambientes de taludes ou de retirada do perfil superior para empréstimo de solo, junto à margem de rodovias, exceto no caso de *Pyrostegia venusta*, onde as plantas encontravam-se em área urbana, conduzida sobre uma cerca residencial. Segundo o proprietário do imóvel, estas plantas não recebiam nenhum trato cultural como irrigação, fertilização ou de defesa fitossanitária, sendo realizadas apenas eventuais podas parciais, aproximadamente a cada três anos.

De todas as espécies foram coletados material propagativo suficiente para a preparação de 200 estacas ou mudas. Inicialmente foram plantadas as estacas de *Ateleia glazioveana*, seguidas das mudas de *Baccharis trimera* e *Cynodom plectostachyus*, e por fim, as estacas de *Pyrostegia venusta*. Logo após coletado, o material propagativo foi preparado e encaminhado para plantio. Não foi realizado nenhum tratamento fitossanitário ou uso de reguladores de crescimento no material propagativo. O plantio foi realizado nas covas previamente abertas nas sub-parcelas amostrais.

Os taludes foram previamente irrigados no dia anterior ao plantio. Como substrado para as covas, foi utilizado o próprio solo que havia sido retirado durante a abertura das mesmas. Este solo foi previamente umedecido até atingir o ponto de

friabilidade. A cova foi cheia no momento do plantio, cuidando-se para não haver a formação de espaços vazios, sendo compactada manualmente antes e após o plantio.

O ângulo de inclinação utilizado no plantio das estacas foi de 45° em relação à superfície do terreno na subparcela na região do topo, em nível, à montante da crista do talude, e perpendicularmente à superfície do talude nas demais subparcelas, localizadas na região da rampa. No caso das espécies propagadas por mudas, as mesmas foram plantadas na posição vertical na subparcela em nível, à montante da crista do talude e de forma idêntica às estacas, nas demais subparcelas.

No final do dia de plantio, as parcelas foram irrigadas manualmente com aspersão de água através de mangueira de  $\frac{3}{4}$  de polegada, até a saturação da superfície do talude, interrompendo-se a irrigação antes de iniciar o escoamento superficial, passando-se então a irrigar outra parcela. Após concluído o primeiro turno de irrigação em todas as parcelas, repetiu-se imediatamente a operação em mais dois turnos. As irrigações também foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após o plantio.

Após 45 dias do plantio foi realizado o replantio das espécies propagadas por mudas, sendo realizadas duas irrigações de maneira análoga às do plantio, aos 7 e 14 dias, em função das condições climáticas mais favoráveis do período.

As particularidades da preparação das respectivas estacas e mudas, de cada uma das espécies selecionadas para o experimento a campo, estão apresentadas nas subseções a seguir.

#### 3.2.2.3.1 *Ateleia glazioveana*

As estacas de *Ateleia glazioveana* foram coletadas em uma pequena área de capoeira destas plantas existente em um talude junto à rodovia RS 342, no município de Ijuí, RS, próximo à divisa com o município de Boa Vista do Cadeado. Segundo o proprietário da área, esta capoeira teve origem na derrubada de uma árvore adulta de *Ateleia glazioveana*, durante o estágio de maturação das sementes, que ficaram dispersas no local e germinaram, originando esta população. A capoeira, no momento da coleta dos ramos (Figura 16) estava com cerca de 3 a 4 anos de idade.

Inicialmente foram selecionados e coletados ramos uniformes, retilíneos, vigorosos e de no máximo duas estações de crescimento. Os ramos foram cortados com auxílio de podão ou tesoura de poda para os mais finos, sendo imediatamente retiradas todas as folhas e extremidades não lignificadas do ramo, deixando-se cerca de 2 cm de pecíolo, para evitar o ressecamento das gemas. Posteriormente, os ramos foram seccionados em varas de até 1,3 m de comprimento, acondicionadas em feixes dentro de sacos plásticos para o transporte.



**Figura 16 – Local de retirada de ramos de *Ateleia glazioviana*, em capoeira de pequeno talude em latossolo, Ijuí, RS, Brasil (2010).**

As estacas foram preparadas na manhã do dia seguinte. Cada vara forneceu três estacas de 40 cm de comprimento, sendo suas bases cortadas em bisel. As estacas (Figura 17-A) foram classificadas de acordo com o seu diâmetro, medido em sua seção média, em três classes: de 1 a 1,5 cm; de 1,6 a 2,0 cm; e de 2,1 a 2,5 cm. Cada subparcela amostral recebeu a mesma relação de classes de diâmetro de estacas. As estacas das diferentes classes de diâmetro de cada subparcela foram distribuídas aleatoriamente nas covas. Logo após seu preparo, as estacas foram plantadas (Figura 17-B), enterrando-as em 30 cm da sua porção basal.



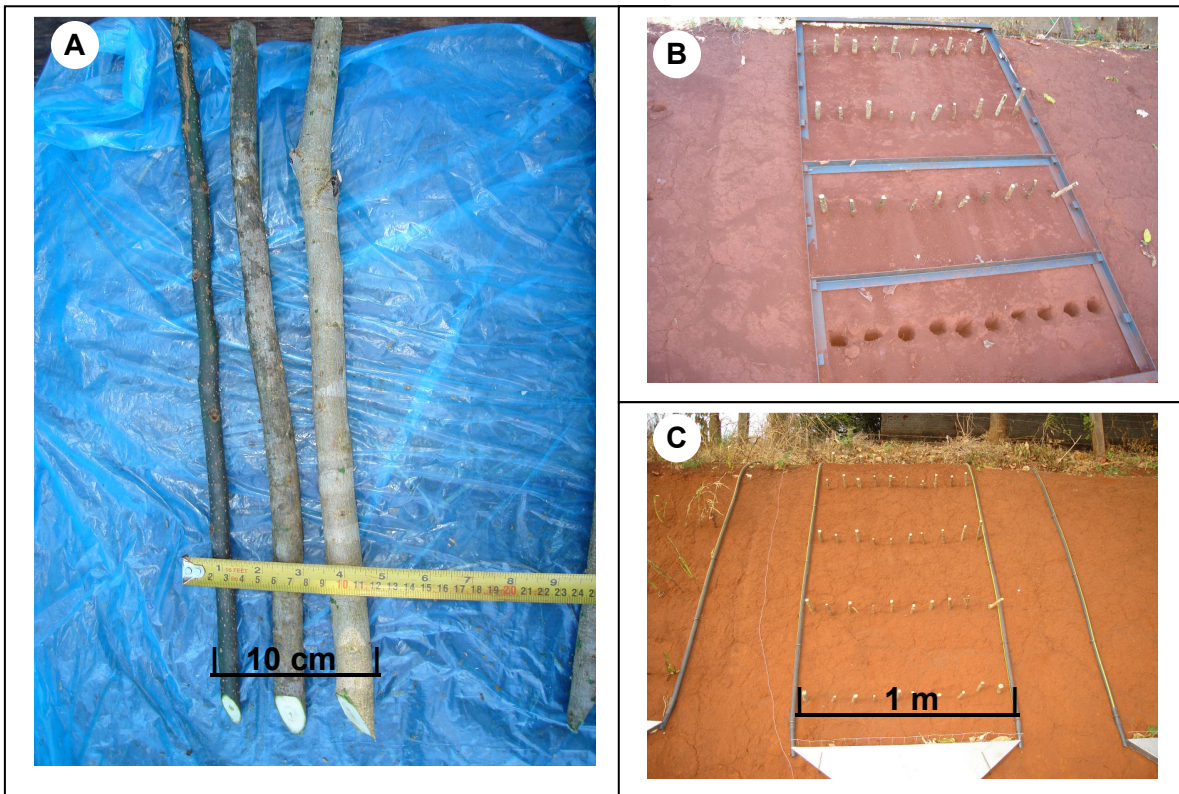


Figura 17 – Estacas de *Ateleia glazioveana* Baill. em três classes de diâmetro (A); parcela amostral durante o plantio (B); e parcela pronta (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2010).

### 3.2.2.3.2 *Pyrostegia venusta*

As estacas de *Pyrostegia venusta* foram coletadas em área urbana na cidade de Cruz Alta, RS, em plantas conduzidas sobre uma cerca metálica, na forma de “cerca-viva” (Figura 18-A). Inicialmente foram selecionados e coletados ramos lignificados. Os ramos foram cortados com auxílio de tesoura de poda, sendo imediatamente retiradas todas as folhas e extremidades não lignificadas do ramo, deixando-se um remanescente de cerca de 1cm de pecíolo, para evitar o ressecamento das gemas. Cabe observar, pela morfologia dos ramos, a extrema facilidade em confundir a porção apical da basal, o que demanda bastante cuidado.

Em seguida, os ramos foram fracionados em estacas de 20 cm, com corte em bisel na extremidade basal. Cada estaca ficou com cerca de 2 a 3 pares de gemas axilares, dependendo da distância entre as gemas, deixando-se no mínimo 3 cm de distância entre as gemas e as extremidades da estaca. As estacas foram imediatamente acondicionadas em feixes dentro de sacos plásticos e levadas ao

local do experimento para o plantio no talude. O local de coleta e as estacas prontas para o plantio podem ser observados na Figura 18.

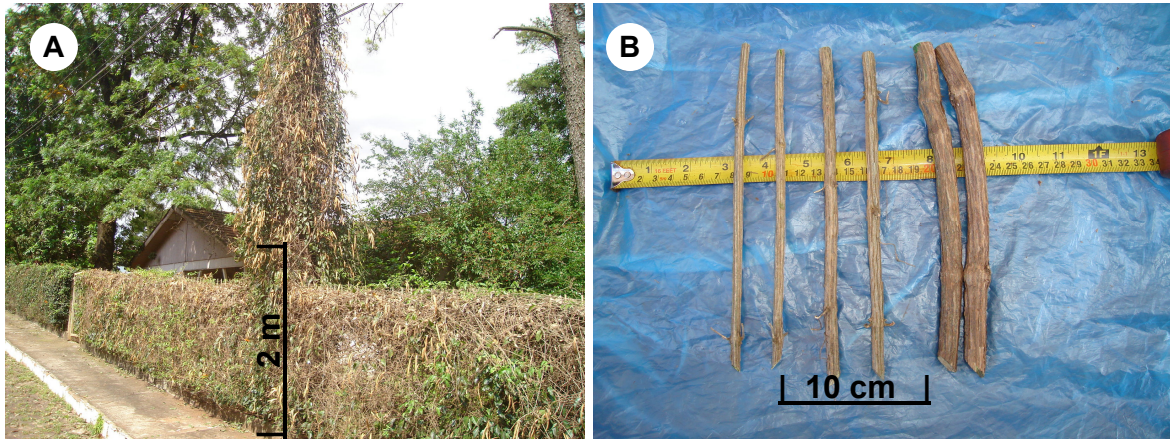


Figura 18 – Plantas de *Pyrostegia venusta* no local de coleta (A) e estacas prontas para o plantio (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).

O diâmetro das estacas variou de 0,5 a 1,5 cm (Figura 18-B), sendo que as mesmas foram classificadas de acordo com o seu diâmetro, medido em sua seção média, em duas classes: de 0,5 a 1,0 cm; e de 1,1 a 1,5 cm. Cada subparcela amostral recebeu a mesma relação entre as classes de diâmetro de estacas. A localização das estacas de diferentes classes em cada subparcela foi aleatória. Logo após seu preparo, as estacas foram plantadas sendo enterradas até deixar apenas as gemas superiores ao nível do solo, o que correspondeu a cerca de  $\frac{3}{4}$  de seu comprimento.

#### 3.2.2.3.3 *Baccharis trimera*

As mudas de *Baccharis trimera* foram coletadas junto à rodovia RS 342, em zona perimetral na cidade de Cruz Alta, RS (Figura 19-A). As plantas matrizes vegetavam à jusante de talude rodoviário, em local plano, com cerca de 5 m de rebaixamento no perfil do solo. As plantas foram retidas com auxílio de uma pá-de-corte, tomando-se o cuidado de preservar o sistema radicular com solo, sendo imediatamente acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o local do

experimento. Foi coletada quantidade suficiente para preparar 200 mudas, procurando-se coletar plantas uniformes, com cerca de 45 cm de altura.

As mudas foram preparadas à sombra, sendo inicialmente agitado o sistema radicular para retirada do solo e de eventuais invasoras. Logo após foi realizada a divisão manual das touceiras das plantas matrizes. As mudas resultantes tiveram seu sistema radicular limitado a 10 cm de comprimento para evitar o enovelamento das raízes ou a formação de espaços com ar no interior das covas durante o plantio.

A parte aérea não sofreu intervenções de poda, sendo mantida a estrutura dos perfilhos. Eventuais plantas que apresentavam ocorrência de pragas e/ou doenças foram descartadas. As matrizes foram mantidas em canteiro umedecido, à sombra, durante o período de espera para a divisão das touceiras. Imediatamente após o preparo das mudas, as mesmas eram agrupadas em grupos de 10, sendo levadas ao talude para plantio nas subparcelas, conforme pode ser observado na Figura 19-B, junto com imagem do local de retirada das plantas matrizes.

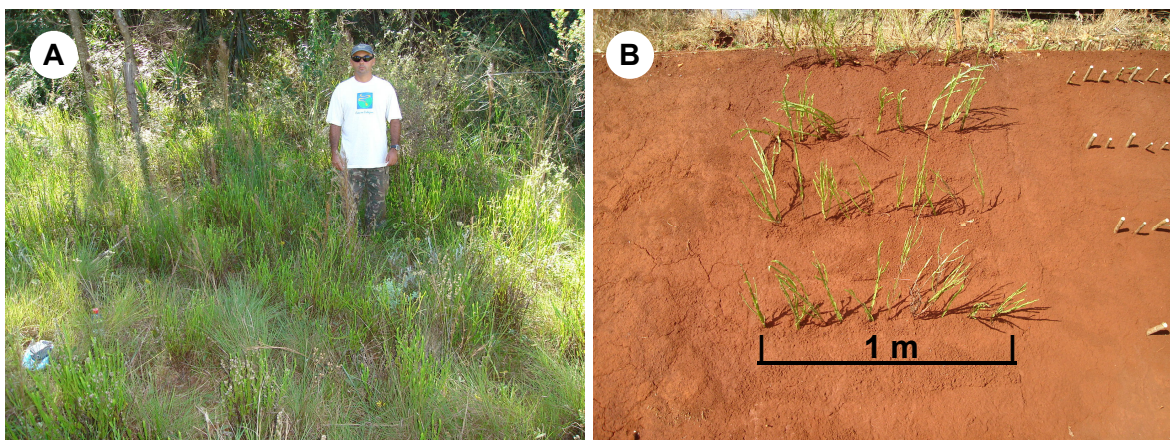


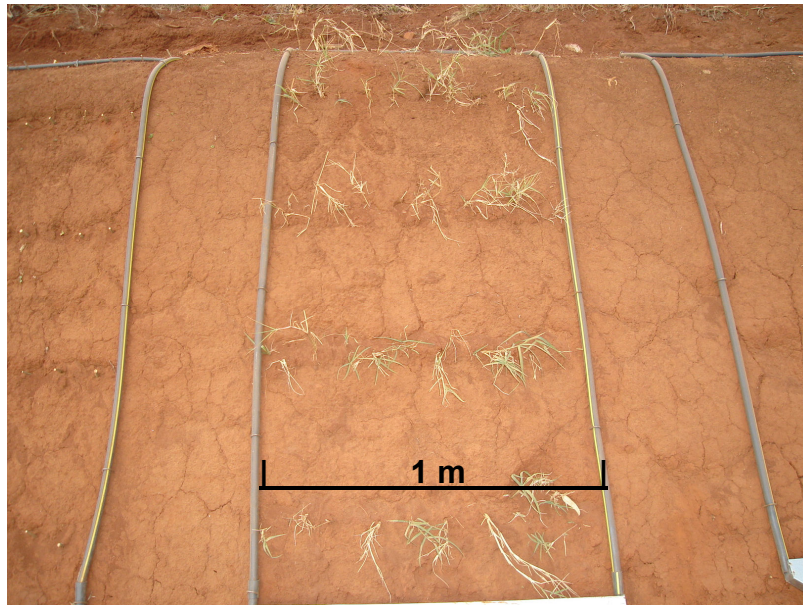
Figura 19 – Local de retirada das plantas matrizes de *Baccharis trimera* (A) e mudas recém plantadas na parcela experimental (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2010).

#### 3.2.2.3.4 *Cynodom plectostachyus*

As mudas de *Cynodom plectostachyus* foram obtidas junto a uma população ocorrente à margem da rodovia RS 342, na zona perimetral da cidade de Cruz Alta. Havia pastejo eventual de animais domésticos de moradores do entorno. As mudas foram obtidas de estolões com parte aérea e raízes desenvolvidas. Os estolões

foram retirados com auxílio de enxada. Havia espessa camada de estolões sobre o solo, o que dificultou a obtenção destes efetivamente enraizados.

Após coletados, os estolões foram individualizados, através de corte com tesoura na região central de cada entre-nó. Não foram realizadas podas na parte aérea ou de raiz, sendo imediatamente conduzidos para o plantio nas parcelas experimentais (Figura 20).



**Figura 20 – Mudas de *Cynodom plectostachyus* após plantio no talude. Observa-se à esquerda, parcela plantada com estacas de *Pyrostegia venusta*, Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

### 3.3 Estudos de aspectos ambientais relacionados

#### 3.3.1 Fertilidade do solo no perfil do talude

Este estudo foi realizado imediatamente após o afeiçoamento da área do talude experimental, em janeiro de 2010. Foram retiradas amostras de solo do talude aos 25, 75, 125 e 175 cm de distância da cota superior, em duas áreas de talude: uma de vegetação herbácea à montante (correspondente aos blocos de parcelas experimentais 1 e 2) e a outra, de vegetação arbórea (blocos 3 e 4). Cada amostra foi composta de quatro subamostras coletadas ao longo de cada nível do talude com o auxílio de um trado de rosca e posteriormente homogeneizadas e encaminhadas

para análise no Laboratório de Solos, Plantas, Adubos e Defensivos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, RS.

Foram analisados os seguintes parâmetros: o percentual de argila; o pH em água; os teores de matéria orgânica, alumínio e dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; a capacidade de troca de cátions potencial (pH 7,0); a saturação de bases, de alumínio e de potássio; e os teores dos micronutrientes boro, Manganês, Zinco e Cobre.

Os resultados do laudo de análise de solo foram interpretados de acordo com o Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (MANUAL..., 2004), e posteriormente analisados comparativamente entre as duas áreas e os diferentes níveis ao longo do perfil do talude.

### 3.3.2 Influência da orientação geográfica em taludes

Este estudo foi realizado no mês de março de 2011, em quatro taludes existentes junto ao cruzamento localizado próximo ao km 5 da rodovia municipal Jacob Della Méa, no município de Cruz Alta, RS. Os taludes apresentavam exposição leste, oeste, norte e sul.

Os parâmetros avaliados para observar a influência da orientação geográfica foram a temperatura e a incidência de luz solar direta, observados nos horários de 9, 12, 15 e 18 horas (horário de verão de Brasília), nos taludes com exposição solar norte, sul, leste e oeste. A temperatura do solo foi tomada a 1,30 m da base do talude, em três profundidades: 1 cm, 5 cm e 10 cm; bem como a temperatura do ar a 1,30 m de altura acima da base do talude.

A temperatura foi avaliada utilizando-se um termômetro de mercúrio de bulbo seco, marca INCOTERM, modelo 293754  $-10:+110^{\circ}$  C. Para as medições em profundidade foi previamente inserida uma haste em madeira de mesmo diâmetro, perfurando o solo na profundidade desejada, sendo imediatamente inserido o termômetro. Os pontos de observação da temperatura estavam sem vegetação, portanto com incidência direta da radiação solar.

Os resultados obtidos foram organizados em tabela e analisados comparativamente, de modo a verificar o efeito de diferentes orientações geográficas na evolução da temperatura dos taludes ao longo do dia.

### 3.3.3 Temperatura do solo no perfil do talude experimental

Este estudo foi realizado no mês de janeiro de 2011, na área do talude experimental. A temperatura foi observada em três locais, sendo estas: faixa de talude entre os blocos 1 e 2 (com vegetação herbácea à montante); faixa de talude entre os blocos 3 e 4 (com vegetação arbórea à montante); e canteiro em nível, localizado a cerca de 30m da base do talude. Os pontos de observação da temperatura não apresentavam vegetação, e foram dispostos no talude de exposição solar oeste, com 45 graus de inclinação de rampa.

Os parâmetros avaliados foram a temperatura e a incidência de luz solar direta. A temperatura foi avaliada utilizando-se um termômetro de mercúrio de bulbo seco, marca INCOTERM, modelo 293754 /-10:+110° C, enquanto a incidência de luz solar direta foi realizada por observação visual. As medições nos diferentes níveis do solo foram realizadas em duplicata, com 20 cm de distância entre os pontos.

A temperatura foi observada nos seguintes horários: 7:30, 8:30, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 15:00, 16:30, 18:00, 19:30, 20:30 e 21:00 (horário de verão de Brasília), sendo tomada em 7 posições: no ar, a 1,30m de altura do nível do solo no canteiro e na base dos taludes; rente a superfície do solo (0cm de profundidade); e no solo, em 1, 5, 10, 15 e 20 cm de profundidade. As medições no talude foram realizadas em duas regiões: na crista; e na rampa, a 1,5 m abaixo da crista do talude.

A incidência de luz solar direta nas áreas foi observada desde o início da mesma, ao amanhecer, até o seu final, ao entardecer, em intervalos de 30 minutos.

Os resultados obtidos foram organizados em gráficos e analisados comparativamente, de modo a verificar o efeito da inclinação do solo e do sombreamento sobre a evolução da temperatura em diferentes regiões do talude ao longo do dia.

### 3.3.4 Incidência de precipitação pluviométrica em talude

Este estudo foi realizado no período de 15 de janeiro a 15 de março de 2011, em decorrência de variações consideradas discrepantes, observadas na coleta de perda de água e solo de certas parcelas localizadas nos blocos 3 e 4, e que sugeriam influência da vegetação arbórea à montante do talude na interceptação da

precipitação pluviométrica sobre as parcelas. Para tanto, foram instalados três copos coletores, nos seguintes locais: o primeiro, entre os blocos 1 e 2, junto a parcelas sem ocorrência de vegetação arbórea; os outros dois, entre os blocos 3 e 4, junto a parcelas com vegetação arbórea à montante, sendo o segundo localizado sob a linha externa de projeção da copa, e o terceiro sob a copa.

Os copos coletores foram desenvolvidos a partir de tubos de PVC com 20 mm de diâmetro interno por 25 cm de comprimento, com tampa no fundo e borda afiada pelo lado externo. Os copos foram fixados em ripas de modo a deixar a borda superior a 1 m de altura do nível do talude, sendo instalados no perfil do talude na linha média da parcela. Após a ocorrência de precipitação, a água foi retirada dos copos e medida em proveta graduada. A partir deste volume coletado e da área interna do copo coletor, foi calculada e estimada a precipitação em mm de coluna d'água.

Os resultados obtidos foram organizados em gráficos e analisados comparativamente, de modo a verificar o efeito da vegetação arbórea na interceptação da precipitação pluviométrica sobre o talude.

### 3.3.5 Teor de umidade no perfil do talude

Este estudo foi realizado no mês de janeiro de 2011, na área do talude experimental. O parâmetro utilizado para determinar a umidade do solo no perfil do talude foi o potencial gravimétrico de água, obtido de acordo com o método apresentado por Carvalho (1991). Foram retiradas amostras de solo em três locais: na faixa de talude entre os blocos 1 e 2 (com vegetação herbácea à montante); na faixa de talude entre os blocos 3 e 4 (com vegetação arbórea à montante); e no canteiro em nível, localizado a cerca de 30m da base do talude. Os locais de coleta de amostras não apresentavam vegetação e a orientação geográfica do talude era oeste.

As coletas de amostras foram realizadas aos 2 e 4 dias após a saturação do solo pela ocorrência de chuva, seguida de tempo ensolarado. As amostras de solo foram retiradas no período entre as 15:00 e 16:00 horas no horário de verão de Brasília, com o auxílio de um trado, sendo tomadas ao longo do perfil em 4 posições, nas profundidades de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm, de 10 a 15 cm e de 15 a 20 cm. As amostras foram realizadas na crista, e na rampa, a 1,50 m abaixo da crista. Durante

as coletas, também foi observada a temperatura do solo nas diferentes profundidades através de medições diretas com termômetro de bulbo seco.

Os resultados, em porcentagem, foram organizados em um gráfico, sendo analisados comparativamente, de modo a verificar a evolução do potencial gravimétrico de água do solo em diferentes níveis e regiões do talude ao longo do tempo.

### 3.3.6 Ocorrência de revegetação espontânea em taludes

Este estudo foi realizado aos 10 meses após o plantio, durante o verão, em janeiro de 2011. Foram avaliados os seguintes parâmetros: número de plantas espontâneas e matéria seca de plantas.

O número de plantas espontâneas foi determinado por contagem direta, separadamente em duas áreas de cada subparcela: na área da linha de plantio em uma faixa horizontal de 10 cm; e nas áreas restantes de cada subparcela. Após a contagem, as plantas foram retiradas do talude manualmente, tomando-se o cuidado de retirar o máximo possível do sistema radicular, com o mínimo revolvimento de solo. Para a comparação dos resultados das respectivas parcelas e subparcelas, os mesmos foram estimados na mesma unidade de área de 1m<sup>2</sup>.

As plantas retiradas de cada parcela foram separadas em dois grupos: plantas ocorrentes nas subparcelas da rampa do talude; e plantas ocorrentes na subparcela do topo, à montante da crista do talude, sendo imediatamente determinada sua matéria fresca e postas para secar em estufa à aproximadamente 40°C, até adquirirem peso constante. Para a comparação dos resultados, os mesmos também foram estimados na mesma unidade de área de 1m<sup>2</sup>.

Os resultados obtidos das determinações de número e peso de matéria seca de plantas espontâneas por m<sup>2</sup>, de diferentes espécies e regiões do talude foram submetidos à análise da variância (ANOVA,  $P=0,05$ ) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### 3.4 Avaliação do desempenho das espécies no talude

#### 3.4.1 Estabelecimento inicial das espécies

Neste estudo foi utilizado como parâmetro o percentual de sobrevivência das espécies, sendo observado durante o período de 18 meses após o plantio no talude. As avaliações foram realizadas aos 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 210, 300, 360 e 540 dias após o plantio. De acordo com delineamento experimental e parcelas experimentais implantadas, descritos na secção 3.3, foram analisados e comparados os resultados de percentual médio de sobrevivência entre as diferentes espécies e o percentual médio de sobrevivência entre os diferentes níveis no perfil do talude.

Os resultados foram obtidos mediante observações diretas e contagem de plantas vivas. No caso das espécies *Ateleia glazioveana* e *Pyrostegia venusta*, propagadas por estacas, a sobrevivência foi considerada a partir do início da brotação das estacas.

As determinações de percentual de sobrevivência, referentes aos parâmetros de diferentes espécies e níveis no perfil do talude foram submetidos à análise da variância (ANOVA,  $P=0,05$ ) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

#### 3.4.2 Desenvolvimento da parte aérea

Foram utilizados diferentes parâmetros para expressar o desenvolvimento da parte aérea, de acordo com os respectivos hábitos de crescimento das espécies.

Os parâmetros utilizados em *Ateleia glazioveana* foram:

- Altura média das plantas, obtido pelo somatório das distâncias verticais entre a superfície do solo junto ao ponto de plantio da estaca e a extremidade do caule da brotação mais alta de cada planta viva, dividido pelo número de plantas (avaliada aos 180, 360 e 540 dias);
- Número médio de brotos por planta, obtido pelo somatório de todos os brotos dividido pelo número de plantas vivas (avaliado aos 540 dias);
- Soma do comprimento dos brotos por planta, obtido pelo somatório de todos os brotos, dividido pelo número de plantas vivas (avaliado aos 540 dias).

Os parâmetros utilizados em *Baccharis trimera* foram:

- Comprimento médio das plantas, obtido pelo somatório da distância vertical entre a superfície do solo junto ao ponto de plantio e a extremidade do ramo mais alto de cada planta viva, dividido pelo número de plantas. Neste caso, não se refere à altura da planta, devido ao fato das medições serem realizadas com os ramos da planta esticados na posição vertical (avaliado aos 180, 360 e 540 dias);

- Número médio de ramos por planta, obtido pelo somatório de todos os ramos existentes à metade da altura de cada planta viva, dividido pelo número de plantas (avaliado aos 540 dias);

O comprimento médio das plantas foi avaliado aos 180, 360 e 540 dias após o plantio e o número médio de ramos por planta aos 540 dias após o plantio.

Os parâmetros utilizados em *Pyrostegia venusta* foram:

- Número médio de brotos por planta, obtido pelo somatório de todos os brotos dividido pelo número de plantas vivas (avaliado aos 180, 360 e 540 dias);

- Soma do comprimento dos brotos por planta, obtido pelo somatório de todos os brotos, dividido pelo número de plantas vivas (avaliado aos 180, 360 e 540 dias).

Os parâmetros utilizados em *Cynodom plectostachyus* foram:

- Altura média do relvado de plantas, obtido pela média de três medições de altura tomadas na linha de plantio das mudas, em três pontos equidistantes entre si no maciço de plantas de cada subparcela. A altura corresponde à distância vertical entre a superfície do solo e a extremidade dos brotos (avaliada aos 180, 360 e 540 dias);

- Número de brotos por área, obtido pelo somatório de todos os brotos de cada subparcela por unidade de área (avaliado aos 540 dias);

- Número de estolões por área, obtido pelo somatório de todos os estolões de cada subparcela, por unidade de área (avaliado aos 540 dias).

De acordo com o delineamento experimental e parcelas experimentais implantadas, descritos na seção 3.3, as variáveis foram observadas e os resultados calculados em cada subparcela, permitindo analisá-los e compará-los entre os diferentes níveis no perfil do talude para cada espécie.

Os resultados das determinações que envolveram parâmetros quantitativos foram submetidos à análise de regressão ( $P \leq 0,05$ ). Também foi realizada análise de variância com comparação entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.4.3 Cobertura vegetal do talude

Devido aos diferentes hábitos de crescimento das espécies utilizadas no experimento, o potencial de cobertura do solo foi avaliado em duas situações. Na primeira, foram avaliadas as espécies *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus*, de hábito de crescimento horizontal, sendo utilizado como parâmetro o a cobertura vertical do talude. Na segunda, foi utilizado a cobertura frontal do talude, onde além das duas primeiras, também foram avaliadas as espécies *Ateleia glazioveana* e *Baccharis trimera*, de crescimento verticalizado.

Para determinação da cobertura vertical do talude (%), cada subparcela foi fotografada perpendicularmente à sua superfície a uma distância de 1m. A cobertura frontal do talude foi determinada de maneira análoga à cobertura vertical do talude, diferenciando-se na posição da fotografia, que foi realizada em frente à rampa do talude, obtendo-se uma imagem frontal de toda a parcela amostral.

Em cada imagem foi sobreposta graficamente uma matriz quadriculada com 200 células quadradas de 5 cm de lado. A determinação das coberturas vertical e frontal do talude foram obtidas pela contagem de quadriculas com a presença de vegetação, sendo estimadas em porcentagem de área total de cada parcela. As avaliações foram realizadas aos 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio para a cobertura vertical e aos 540 dias para a frontal.

Os resultados obtidos das determinações dos dois índices de cobertura (%) do talude, de diferentes espécies foram submetidos à análise da variância (ANOVA,  $P=0,05$ ) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Também foi realizada análise de regressão ( $P \leq 0,05$ ) nos parâmetros quantitativos referentes aos diferentes níveis no perfil do talude para cada espécie.

#### 3.4.4. Rebaixamento do perfil do solo

Após a instalação das parcelas amostrais, foram determinadas cotas em três pontos, em linha, equidistantes entre si ao longo da largura da parcela, sendo eles aos 25, 50 e 75 cm a partir da sua borda esquerda. Estes pontos foram cotados nos níveis de 50, 100, 150 e 200 cm a partir do limite superior de cada parcela, o que corresponde às entrelinhas de plantio das cinco subparcelas. Para a determinação das cotas destes pontos tomou-se como marco grampos fixados junto à lateral das parcelas nos respectivos níveis. Com o auxílio de uma régua colocada perpendicularmente à superfície do solo foi medida a distância entre o nível do solo e o nível inferior de uma cantoneira metálica colocada sobre os grampos laterais da parcela. Esta medida foi realizada nos três pontos fixos ao longo de cada nível.

As avaliações foram realizadas aos: 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio. A primeira avaliação foi considerada “cota zero”. As avaliações seguintes foram realizadas nos mesmos pontos. Pela diferença entre suas medidas e a medida da “cota zero” nos respectivos pontos, foi calculado o rebaixamento do perfil do solo de cada ponto, expresso em milímetros.

Os resultados obtidos das determinações do rebaixamento do solo do talude, referentes aos tratamentos foram submetidos à análise da variância (ANOVA,  $P=0,05$ ) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

#### 3.4.5 Escoamento superficial e gravimetria do material erodido

A avaliação de perda de água e solo por escoamento superficial foi realizada no período entre os 60 e 360 dias após o plantio. O delineamento experimental, os equipamentos utilizados na coleta de solo, e a preparação das parcelas amostrais foram descritos na seção 3.3.

Após a ocorrência de chuva, inicialmente substituía-se os baldes das parcelas, sendo recolhidos os baldes coletores com água e solo e imediatamente aplicada solução flocculante à base de sulfato de alumínio, sendo mantidos em repouso por 24 horas. Após a decantação do solo em suspensão, a água era sifonada por vácuo com auxílio de mangueira tomando-se o cuidado para não haver

a sucção de partículas de solo, sendo então determinado o seu volume em proveta graduada.

Os eventuais resíduos de solo que haviam permanecido depositados na calha coletora eram retirados através de espátula e adicionados no balde coletor de solo e água, que era então imediatamente pesado e encaminhado para secar em estufa a aproximadamente 40°C (periodicamente revolvido e homogeneizado o solo do seu interior) até estar completamente seco, quando apresentava peso constante. A quantidade de solo perdido da parcela foi determinada pelo cálculo da diferença de peso entre o balde com solo seco e o balde limpo, sem solo, e que havia sido previamente tarado.

O volume de água que não havia sido retirado do balde coletor e que havia ficado retido junto ao solo úmido, foi determinado pelo cálculo da diferença de peso entre o balde com solo úmido e o balde com solo seco. A perda de água foi obtida pelo somatório deste último com o volume de água inicialmente retirado do balde coletor, sendo descontado o volume utilizado de solução flocculante.

Dependendo das condições climáticas houve variações no método de determinação do solo seco. Neste sentido, em períodos úmidos de inverno ou de muita chuva, para liberar o conjunto de baldes para novas coletas, o solo úmido era transferido para bandejas ou sacos plásticos para secagem, ou eram retiradas amostras de 300 cm<sup>3</sup> de solo úmido homogeneizado, que eram então encaminhadas para secagem em estufa, até peso constante.

Materiais estranhos, como insetos, folhas, entre outros, eram previamente retirados do solo. Para o cálculo, o peso do sulfato de alumínio utilizado e o volume de água de sua suspensão também foram devidamente descontados.

A partir das avaliações foram estimadas as médias de perda de água (litros.m<sup>-2</sup>) e solo (g.m<sup>-2</sup>) acumuladas mensalmente durante o período. Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância (ANOVA,  $P=0,05$ ) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Também foi realizada análise de regressão ( $P\leq 0,05$ ) dos parâmetros avaliados ao longo do período, para cada tratamento.

### **3.5 Análise estatística**

O processamento estatístico foi realizado utilizando-se o software Sasm-agri (CANTERI et al., 2001). Para as análises de regressão foi utilizado o software ASSISTAT, Versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002); e para a confecção de figuras o software Excel, Versão 2003.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Estudos preliminares**

No decorrer dos estudos preliminares destaca-se o fato de que ocorreram dois fenômenos climáticos bastante relevantes. O primeiro foi a forte estiagem que ocorreu durante o período de fevereiro a maio de 2009, sendo considerada uma das maiores já registradas na região. Durante o mês de março foram registrados 47,7 mm de chuva, dos 134,4 mm de precipitação média prevista para o mês. Em abril, foram apenas 10,4mm de chuva, dos 151,7 mm médios. O segundo foi o forte frio ocorrido na última semana do mês de julho, com temperaturas mínimas registradas de -3°C com formação de geadas bastante severas e consecutivas.

Considera-se que estas condições climáticas observadas foram bastante favoráveis para o estudo, pois possibilitaram verificar o comportamento das espécies quando submetidas a condições extremas e que, embora características para a região, nem sempre ocorrem próximas e em tamanha intensidade.

#### **4.1.1 Levantamento diagnóstico de taludes em latossolo**

Verificou-se que os taludes de estradas e rodovias da região de Cruz Alta-RS encontram-se bastante degradados, haja vista ocorrerem danos em variados níveis de intensidade e extensão, na maioria dos taludes observados. Estas observações confirmam a afirmação de Jesus e Rolim (2005) em que a degradação dos taludes rodoviários é bastante comum para a maioria do sistema viário brasileiro.

Os problemas encontrados devem-se a diversos fatores, em geral e principalmente, relacionados à geometria dos taludes, à falta de manutenção, ao emprego de técnicas de cobertura vegetal ineficientes para as condições edafoclimáticas da região e à ocupação e manejo das áreas do entorno. O estabelecimento e a evolução sucessional da revegetação, seja natural ou cultivada, e o avanço dos processos erosivos ao longo do tempo demonstram que os mecanismos e técnicas utilizadas para recuperação e conservação destes ambientes parecem nitidamente insuficientes.

Respeitadas as particularidades das diferentes condições edafoclimáticas, pode-se observar muitas áreas de taludes com características bastante comuns, entre elas: a existência de áreas ainda degradadas por processos erosivos e com escassa cobertura vegetal; a baixa frequência de espécies arbustivas e arbóreas nativas; a frequente ocorrência de queimadas e a pequena utilização do potencial ornamental, cultural e econômico, mesmo no perímetro urbano e em acessos das cidades da região.

Quanto ao emprego de técnicas de conservação, verifica-se que as mesmas estão diretamente relacionadas aos recursos e tecnologias do projeto, de acordo com a classe da estrada e/ou rodovia, conforme relatado por Maciel Filho (2008). Neste caso, os taludes das estradas vicinais municipais foram os que apresentaram as piores condições de revegetação e estabilidade, sendo que os investimentos parecem exclusivamente alocados para garantir condições mínimas de tráfego.

Em rodovias de classe superior, com maior e melhor dimensionamento de taludes pode-se verificar, em alguns casos, o emprego de banquetas e a condução das águas de escoamento superficial em canais, bem como a revegetação dos taludes. Entretanto, observa-se ainda a ocorrência e o avanço de processos de degradação e problemas no estabelecimento da cobertura vegetal.

Verificou-se, em certos trechos, ações de reflorestamento das áreas de domínio com espécies nativas. Entretanto, estes projetos parecem desconsiderar aspectos inerentes aos efeitos da arborização nas áreas de taludes contíguas. Em geral, as espécies cultivadas estão encontrando grande dificuldade no seu estabelecimento nestas áreas degradadas, notadamente devido às falhas de projetos, pelo uso de espécies inadequadas para o local, bem como pela falta de manutenção nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Um fato relevante foi a degradação de área de corte de solo junto a rodovia BR 158, próximo ao entroncamento com a RST 481, onde havia revegetação espontânea de porte herbáceo e arbustivo em estágio evolutivo natural de capoeira e que conferia ótima cobertura e proteção ao solo e, certamente, importante interação com a fauna local. Verifica-se que este ecossistema foi destruído através de aração para o plantio de espécies florestais, o que tornou o solo vulnerável aos agentes erosivos.

Considerando que próximo a esta área de corte há taludes degradados e que necessitam de ações de recuperação, mas que continuam em um estado de



“invisibilidade”, elucida-se o baixo nível de percepção ambiental e de manejo biotécnico ocorrentes.

Respeitada a importância dos ecossistemas florestais e dos movimentos sociais em defesa da natureza, percebe-se nitidamente o predomínio quase que exclusivo de ações ambientais de florestamento e/ou reflorestamento. Neste sentido, apesar do enorme simbolismo das espécies arbóreas, estas vêm sendo tratadas como uma verdadeira panacéia frente às agressões ao ambiente natural, face o uso às vezes “indiscriminado” de projetos desta natureza.

Cabe ressaltar, ainda, que a região de Cruz Alta-RS é uma região natural de campos nativos, com presença de florestas na forma de capões e matas de galeria, sendo notório que atualmente o ecossistema mais ameaçado nesta região é o de campo nativo, que possui flora e fauna únicas e cujos últimos remanescentes não estão tendo a devida e merecida atenção.

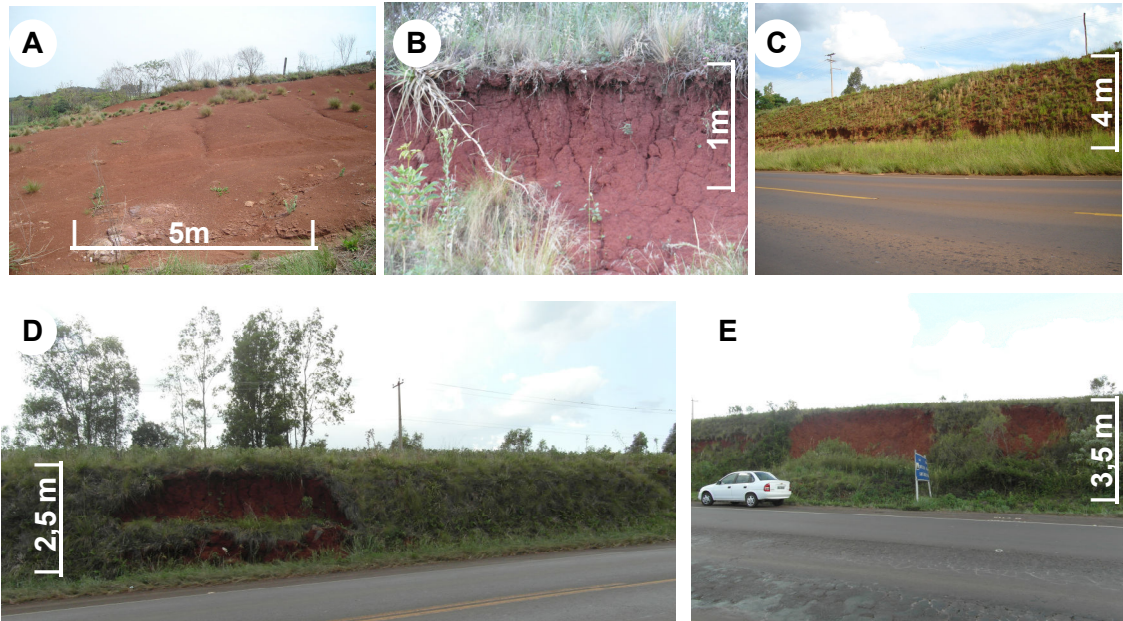
Os principais tipos de problemas encontrados, à nível de degradação do solo (Figura 21) e suas causas, foram:

- Erosão laminar e por sulcos: decorrentes da falta de cobertura vegetal e muitas vezes da falta do desvio das águas pluviais em escoamento à montante do talude;
- Falta de estabilidade do talude, com ocorrência de movimentos de massa por deslizamento, causada principalmente pela inclinação excessiva da rampa, normalmente com relação na ordem de 3:1 (vertical:horizontal);
- Desmoronamento na região do topo e da base do talude em decorrência do solapamento do solo, causada pela falta de conformação adequada e de cobertura vegetal.

Observa-se, na imagem inferior esquerda da Figura 21, que o movimento de massa pode ocorrer mesmo em talude com cobertura vegetal, o que indica instabilidade do talude ocasionada por problema de ordem geométrica. De acordo com Maciel Filho (2008), para solucionar estes problemas em talude, deve-se fazer o retaludamento do corte para um ângulo inferior ao de repouso natural, próximo a 45 graus e a implantação de cobertura vegetal. Neste caso, o emprego de vegetação arbustiva e/ou arbórea, com sistema radicular de maiores dimensões podem proporcionar maior ancoragem e estabilidade ao maciço.

Apesar da necessidade da região do topo do talude apresentar uma conformação arredondada, de modo a evitar a erosão, o solapamento, o desmoronamento e favorecer o estabelecimento da vegetação, conforme Animoto

(1978 apud DURLO; SUTILI, 2005), verificou-se que esta técnica não foi empregada na construções dos taludes estudados.



**Figura 21 – Problemas em talude: erosão laminar e por sulcos (A); solapamento com ruptura vertical de maciços por tração no topo (B), e na base (C); e movimentos de massa de solo em talude por escorregamento com ruptura rotacional (D e E). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Os resultados observados estão de acordo com Carvalho et al. (1991), que considera que as causas dos principais problemas em taludes devem-se às deficiências construtivas e à má conservação.

Quanto à falta de cobertura vegetal ser bastante comum em diversos trechos de taludes, como pode ser observado na Figura 22, a mesma mostrou-se atrelada a diversos fatores, sendo que entre os principais pode-se citar:

- Declividade excessiva e avanço do processo erosivo;
- Baixo nível de fertilidade do solo ao longo do perfil transversal;
- Uso de espécies vegetais e técnicas de manejo inadequadas;
- Ocorrência de queimadas pelo acúmulo de biomassa seca;
- Cultivo agrícola junto ao talude, com dessecação de sua vegetação.

Observou-se que a revegetação dos taludes, quando realizada, foi predominantemente de espécies gramíneas sensíveis à geadas, como *Aristida longiseta*, *Brachiaria* spp. e *Melinus multiflora*, sendo que a presença de revegetação

espontânea de espécies exóticas invasoras *Eragrostis plana* (capim-anoni) e *Chloris gayana* (capim-de-rodos) também é bastante comum.



**Figura 22 – Cobertura vegetal em taludes de estrada (A) e rodovias (B e C). Talude revegetado com *Brachiaria* spp. há mais de 20 anos (B e C). Pode-se observar a ocorrência da invasora *Eragrostis plana* (capim-anoni) junto à base dos taludes rodoviários. Cruz Alta, RS, Brasil (2009).**

Na rodovia RST 481, onde a revegetação dos taludes foi realizada pelo processo de hidrossemeadura utilizando espécies de gramíneas exóticas, há predominância de *Brachiaria* sp. e *Melinis multiflora*, após 10 anos de implantação. Neste caso, em muitos trechos, observa-se a estratificação destas populações no perfil do talude. Isto demonstra os diferentes níveis de adaptação e sobrevivência destas espécies ao longo do tempo, nas variadas condições do perfil, indicando que seu uso deve ser mais específico para cada condição de talude.

Em trechos da RS 342 (método de revegetação desconhecido), onde também foram utilizadas espécies de gramíneas exóticas há mais de 20 anos, pode-se observar na imagem central da Figura 22 a dificuldade no estabelecimento de *Brachiaria* spp, resultando em precária cobertura.

Como a maior parte destas espécies não resiste às geadas ocorrentes na região observou-se um ciclo de formação e acúmulo de biomassa, que morre em decorrência de geadas (Figura 23) e seca, expondo estas áreas a um ciclo repetido de queimadas. Isto compromete o estabelecimento desta vegetação e também da vegetação sucessional, impedindo a recuperação do local. Neste caso de taludes, ratifica-se as afirmações de Pereira (2006) e Durigan (2005) que relacionam o fogo como importante fator de degradação.

Apesar da importância da vegetação na recuperação e proteção de áreas degradadas e de que a escolha deva pressupor aspectos técnicos específicos (PEREIRA, 2006; ARAÚJO, 2005; DURLO; SUTILI, 2005), a realidade do sistema

viário em consideração demonstra o emprego de técnicas de revegetação ineficazes para as condições da região.



**Figura 23 – Ocorrência de geada (A), vegetação seca pela geada (B) e efeito de geada em revegetação natural após queimada em talude rodoviário (C), Cruz Alta, RS, Brasil (2009).**

A realização de roçadas periódicas, observadas em alguns taludes junto a estabelecimentos comerciais, apesar de resultar na predominância de vegetação gramínea apresentou não apenas melhores condições ornamentais como evitou a acumulação de biomassa seca de espécies sazonais ou sensíveis à geada. Neste caso, observou-se a manutenção de vegetação viva possivelmente pelas melhores condições de temperatura e luminosidade que facilitaram o desenvolvimento de espécies sazonais. Neste sentido observa-se que esta é uma prática de manutenção que pode ser implementada como uma alternativa para evitar ou diminuir a ocorrência de queimadas em trechos de risco, devendo ainda, ser estudada melhor.

Durante o período do estudo observou-se que a manutenção das estradas e rodovias restringe-se apenas em garantir condições mínimas de trafegabilidade da via e de visualização da sinalização vertical. Observa-se, ainda, a ocorrência de roçadas<sup>3</sup> muito severas na região da base de taludes, comprometendo a vegetação ali existente e expondo o solo ao processo erosivo.

<sup>3</sup> Utilizando roçadeiras manuais rotativas com lâminas de aço ou fios de nylon. O corte deveria ser realizado paralelamente à superfície do solo a uma altura que mantenha a cobertura vegetal sem comprometer os pontos de rebrota das plantas. Entretanto, na base dos taludes o corte é realizado perpendicularmente, com a roçadeira movimentada de encontro à superfície da rampa. Isto resulta no corte dos pontos de rebrota e inclusive em contato direto da lâmina ou fio com o solo. Neste caso, há prejuízo na rebrota e regeneração da cobertura vegetal, o que no âmbito do “serviço”, prolonga convenientemente o período entre as roçadas. Observou-se ainda que o uso inadequado deste tipo de equipamento em roçadas também tem causado sérios prejuízos à arborização urbana e de reflorestamentos, pelo processo de danos mecânicos em forma de anel na base do tronco, vulgarmente denominado de “degola”.

Com relação à degradação pelo fogo, observou-se um forte aspecto sócio-cultural da queimada (Figura 24), que associado ao trânsito intenso e ao fácil acesso das áreas às margens de rodovias, fazem da mesma um fato bastante comum principalmente após o inverno, apesar de ser uma prática comprovadamente lesiva ao meio ambiente, que também acarreta riscos de acidentes pela falta de visibilidade dos condutores e que por lei é considerada crime (IBAMA, 2009).



**Figura 24 – Queimada em talude rodoviário (A e B) e regeneração da vegetação (C). Pode-se observar na foto “A”, três focos equidistantes, o que caracteriza queimada intencional criminosa. Pode-se perceber, na foto “C”, mudança da geometria do talude devido a erosão superficial, com deposição de solo em sua base. Cruz Alta, RS, Brasil (2009).**

Entre os diversos problemas apresentados acima, em sua maioria com notória ciência, considera-se importante destacar e fazer considerações à prática da dessecação da vegetação de taludes (Figura 25), haja vista não serem encontrados relatos de degradação desta natureza na bibliografia consultada e, principalmente, à grande expansão desta prática nos taludes da região. Sugere-se que os órgãos responsáveis dediquem a devida atenção a este fato, de modo a evitar os possíveis danos decorrentes do uso indiscriminado desta prática.

Devido a aspectos econômicos e tecnológicos, associados à vocação agrícola dos latossolos, houve a intensificação dos cultivos na região de Cruz Alta-RS, com grande pressão de uso dos espaços existentes para a prática agrícola. Neste sentido, as faixas de domínio de estradas e rodovias passaram a ser cultivadas, não sendo aproveitadas para este fim, apenas as áreas de talude, cuja declividade não permite as operações mecanizadas.

Este novo panorama fez com que estas áreas, cuja importância relacionava-se ao sistema viário (áreas de escape, aumento de visibilidade) e também às questões ambientais (sendo vistas como importantes áreas de preservação e

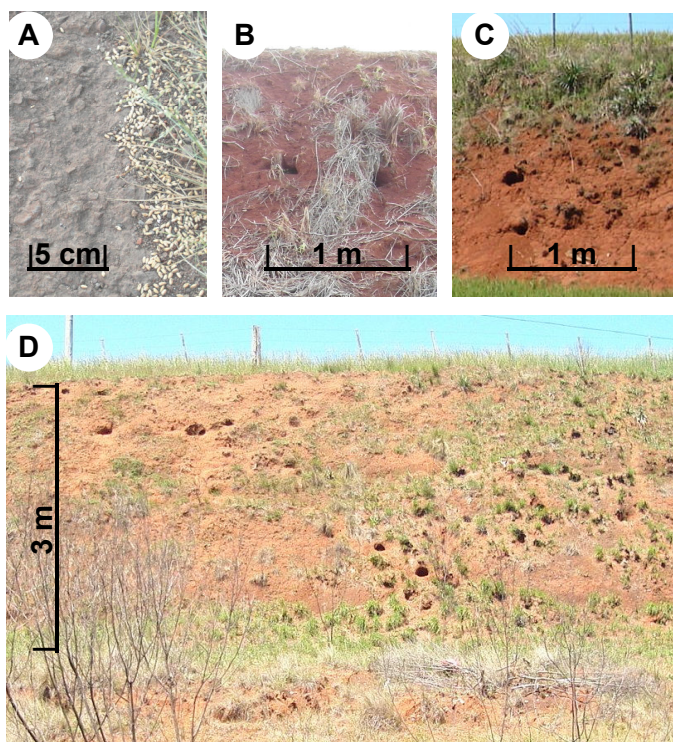
corredores biológicos), passassem a ser consideradas pelos agricultores como áreas de uso agrícola potencial. Neste quadro, em uma visão agrônômica equivocada, os taludes foram considerados fontes de dispersão de pragas, doenças e plantas daninhas às áreas de lavouras adjacentes, passando-se a combater sistematicamente a sua vegetação com o uso de dessecantes, roçadas e queimadas.



**Figura 25 – Cultivo agrícola em áreas de domínio de rodovias com dessecação de taludes (A, B e C). Observa-se, no canto esquerdo de “A”, exemplares de *Ateleia glazioveana* (Timbó), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

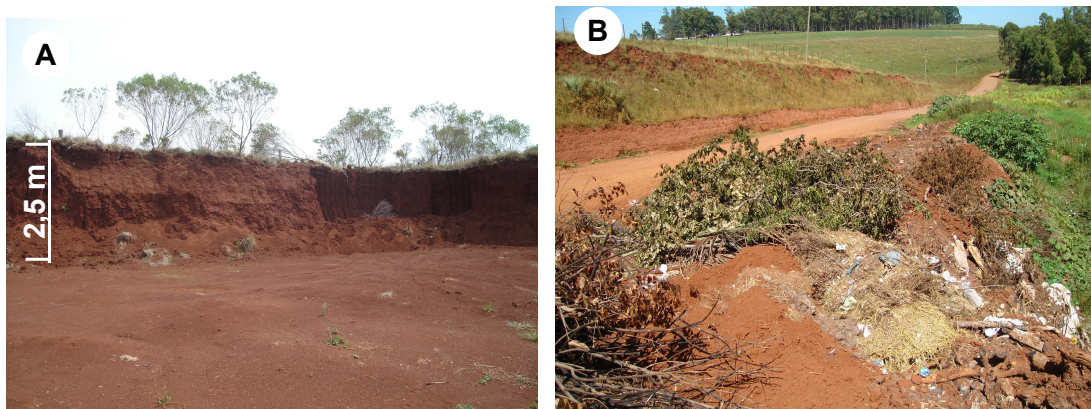
A destruição da cobertura vegetal dos taludes através de queimadas ou dessecação por herbicidas, permitiu observar um grande número de escavações realizadas pela macrofauna na região da rampa dos taludes (Figura 26). Considera-se que, pela sua evolução, este fator pode comprometer a estabilidade destes taludes vindo a contribuir ou ocasionar, dependendo de sua dimensão, movimentos de massa, desmoronamentos e/ou outros processos erosivos. Observa-se, ainda, que parece haver uma preferência às áreas de talude para a construção de tocas, fato este possivelmente relacionado à abertura frontal, em rampa acentuada

oferecer melhor proteção contra chuva, melhor drenagem e dificultar o acesso de predadores pela acentuada declividade. Sugerem-se maiores estudos sobre o assunto.



**Figura 26 – Grãos de cereais dispersos à margem de rodovias (A) e escavações da macrofauna em taludes (B, C e D). Cruz Alta, RS, Brasil (2010).**

Outro aspecto que deve ser tomado como relevante e que também remonta ao uso inadequado das áreas de domínio e não é relatado na bibliografia, refere-se à prática de retirada irregular de solo das faixas de domínio (Figura 27-A), para uso em aterros.



**Figura 27 – Retirada irregular de solo em áreas de domínio de rodovia, sem reparação do dano ambiental (A) e depósito irregular de lixo e escombros junto a estrada (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Esta degradação pode ser comumente observada próximo às zonas urbanas, principalmente em estradas municipais vicinais, onde a visibilidade é menor, devendo haver maior fiscalização. Apesar de ser uma prática passível de licenciamento ambiental, vem sendo promovida sem o uso de técnicas adequadas, inclusive pelo próprio poder público municipal de Cruz Alta-RS, que possui órgão responsável pelo licenciamento ambiental.

Neste caso, o problema consiste na forma irregular com que o solo é retirado. Após a degradação, estas áreas ficam abandonadas, sem a execução de um projeto de recuperação que contemple a reposição das camadas dos horizontes mais férteis, a revegetação e a conformação geométrica adequada aos taludes. Muito frequentemente, pelo fácil acesso resultante, estas áreas passam a ser utilizadas pela população como depósito irregular de lixo, entulhos e resíduos da construção civil (Figura 27-B).

#### 4.1.2 Critérios e seleção de espécies

Durante o estudo de critérios para seleção de espécies foram feitas duas observações relevantes. A primeira se refere ao fato de que as diversas áreas profissionais e de estudo que permeiam este assunto, como por exemplo, a engenharia civil, geologia, biologia, ecologia e agronomia, utilizam terminologias e enfoques diferentes sobre os efeitos da vegetação no manejo de áreas degradadas, inclusive de taludes. Os diferentes arranjos de informações e a falta de uma linguagem uníssona dificultam o estudo e entendimento em uma visão holística sobre o tema.

Neste sentido, apresenta-se uma proposta que abranja os vários aspectos envolvidos nas diferentes áreas, e que unifique ou pelo menos aproxime a forma de organizar as diversas características e efeitos das plantas. O sistema de classificação proposto utiliza um arranjo de quatro categorias de critérios, sendo estes denominados como: biotécnicos, biológicos, ecológicos e socioeconômicos, conforme apresentados nas seções 4.1.2.1 a 4.1.2.4.



A segunda observação refere-se ao fato de que, apesar de haverem inúmeros critérios relativos às características das plantas e suas potencialidades de uso no manejo biotécnico descritos na bibliografia consultada, observou-se que muitas destas desconsideram o potencial de benefícios múltiplos da vegetação, principalmente os relacionados à produção e geração de renda.

O critério socioeconômico também foi incluído por ser considerado relevante a partir do entendimento de que a engenharia natural deve ser trabalhada de modo a atender não apenas aspectos técnicos de estabilidade de encostas, cobertura e conservação do solo e redução de custos, mas também aqueles relacionados às demais questões ambientais, a aspectos socioculturais e de geração de renda. Preconiza-se, neste sentido, que o manejo destas áreas deva buscar o maior número de benefícios possíveis, considerando os diferentes aspectos envolvidos em cada caso, bem como o contexto da região onde está inserido.

Entretanto, cabe destacar que deve ser observada a necessidade de identificar entre os diferentes critérios, aqueles que devam ser entendidos como prioritários, de modo que seja construída assim, para cada situação, uma hierarquia específica das principais necessidades e benefícios possíveis, visto a existência de casos em que não seja possível conciliar todos estes aspectos em iguais proporções.

#### 4.1.2.1 Critérios Biotécnicos

Os critérios biotécnicos devem ser entendidos sob dois aspectos: o primeiro, relaciona-se aos efeitos e benefícios obtidos pelo emprego da vegetação; e o segundo, quanto à viabilidade de técnicas de propagação, multiplicação e de cultivo.

Entre os principais benefícios do uso de espécies de plantas pode-se citar: proteção da superfície do solo, promovido pela parte aérea das plantas contra processos erosivos, como os causados pelo impacto das gotas de chuva e o vento; redução dos danos promovidos pela enxurrada, pela redução do volume e velocidade da água de escoamento superficial, e de retenção de partículas do solo, pelo sistema aéreo e de raízes superficiais; aumento da estabilidade de maciços de solo, pelo efeito de ancoramento do sistema radicular; e melhoria nas condições de fertilidade do solo, pela melhoria das condições físicas e ciclagem de nutrientes.

De acordo com cada caso poderá haver diferentes necessidades e graus de prioridades. Outros efeitos, como os de favorecimento das condições de microclima e de proteção em taludes também podem ser obtidos pelo emprego e manejo de espécies de plantas em áreas adjacentes aos taludes.

Além dos benefícios atrelados aos aspectos morfológicos da parte aérea e de raízes, as espécies de plantas utilizadas na engenharia natural devem apresentar características de fácil e abundante propagação e multiplicação podendo-se, assim, dispor-se de mudas e/ou propágulos, como estacas, de forma rápida, em quantidade suficiente para atender a demanda a um baixo custo de produção. Estas espécies também devem desenvolver-se sem causar danos às eventuais estruturas utilizadas na engenharia natural.

#### 4.1.2.2 Critérios Biológicos

Os diferentes hábitos morfológicos das raízes, caules, ramos e folhas, observados entre as diferentes espécies de plantas, conferem inúmeras possibilidades de indicações de uso. Raízes profundas podem proporcionar o ancoramento do talude evitando o risco de deslizamentos de solo. Entretanto, espécies arbóreas, especialmente as de grande porte, pelo seu peso elevado, podem causar deslizamentos ou desmoronamentos do talude, devido ao efeito alavanca (DURLO; SUTILI, 2005). Plantas estoloníferas e trepadeiras, uma vez estabelecidas, possibilitam o seu desenvolvimento e cobertura em áreas contíguas extremamente íngremes e de condições edáficas adversas. A proteção contra a erosão superficial está relacionada com a morfologia da parte aérea e quantidade de cobertura proporcionada. Como muitas plantas podem não atender a todas as características desejadas, pode-se obter o conjunto de efeitos desejados através do consórcio de plantas, desde que estas sejam tolerantes entre si.

Assim como no caso das características morfológicas, verificou-se que a eficiência das plantas para o manejo biotécnico de taludes também está atrelada a aspectos fenológicos. O crescimento rápido, o ciclo perene ou de revegetação continuada, que proporcionam cobertura perene ao longo do ano, principalmente em regiões com clima sazonal, são bastante desejados.

A viabilidade técnica também está relacionada com a forma de propagação das plantas, sendo necessário que haja grande disponibilidade e facilidade na

obtenção e preparo de materiais para multiplicação, seja através de sementes, estacas ou mudas, e que devem apresentar ótimo desempenho no estabelecimento de novos indivíduos a campo.

#### 4.1.2.3 Critérios Ecológicos

Verificou-se que a rusticidade figura entre os principais aspectos que devem ser considerados na escolha de plantas para o manejo biotécnico de taludes. Espécies de plantas do tipo tolerantes ao estresse e ruderais (GRIME, 1977) figuram entre as indicadas para este fim. A observação deste requisito faz-se necessária, pois as áreas de taludes observadas na região de estudo, em sua maioria, apresentaram condições edáficas desfavoráveis e que podem, ainda, estar associadas às limitações operacionais de manejo e à escassez de recursos financeiros.

Na maioria dos casos observados, a inclinação da superfície dos taludes mostrou ser superior a 45 graus, o que acarreta sérios riscos de erosão, impede um preparo do solo mais adequado para o rápido desenvolvimento das plantas, dificulta a fixação natural de sementes e propágulos, favorece a drenagem superficial e o escoamento ao longo do perfil, o que também diminui a retenção e disponibilidade hídrica para as plantas.

Aspectos relacionados à redução dos custos das obras e às necessidades operacionais especiais, muitas vezes decorrentes da grande declividade e do difícil acesso, limitam o número de tratamentos culturais como a fertilização e irrigação que, geralmente, estão restritos ao período de plantio. Desta forma, a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas dependem quase que exclusivamente das condições naturais de solo e clima.

Devido a este cenário de cultivo encontrado nos taludes, onde a planta também terá que estabelecer-se e desenvolver-se exposta a condições desfavoráveis, como estiagem, geada, ataque de pragas e doenças, muitas vezes sem a possibilidade de posterior intervenção com tratamentos culturais, a característica de rusticidade constitui-se em uma das mais importantes para a viabilidade do manejo destas áreas.

Neste mesmo sentido, a escolha deve levar em consideração a suscetibilidade da espécie escolhida ao ataque de pragas e doenças, que podem

comprometer o desenvolvimento e o estabelecimento da sua população. No caso da introdução de novas espécies deve-se levar em conta eventuais impactos relativos a possibilidade de introdução de novas pragas e doenças ou do favorecimento daquelas já ocorrentes na região. Também deve ser observado o risco da espécie introduzida vir a disseminar-se e constituir-se como planta invasora dominante, comprometendo a população de outras espécies de interesse.

Aspectos relacionados a efeitos alelopáticos entre plantas também podem impedir o uso de certas espécies em consórcio. Isto demonstra a necessidade de também serem consideradas e avaliadas características do ecossistema na escolha das espécies, já que estas áreas estão expostas à dinâmica de sucessão ecológica dos ambientes. Esta necessidade ainda vai ao encontro de demandas ambientais que visam à preservação e ao favorecimento da biodiversidade da flora e fauna nativas.

Na prática a campo foi bastante comum observar a ocorrência de taludes que, com o passar do tempo, passaram a apresentar níveis crescentes de degradação. A origem destes problemas pode estar na falha de escolha das plantas ou do consórcio de plantas. Há muito pouco estudo neste sentido, principalmente em relação à eficiência do manejo destas áreas ao longo do tempo, já que os taludes revegetados estão em constante interação com outras espécies do meio. Acredita-se que a partir da consideração prévia dos aspectos ecológicos e do entendimento do ecossistema, embora bastante complexos, pode-se obter melhorias na eficiência a curto e longo prazo na conservação de taludes.

#### 4.1.2.4 Critérios socioeconômicos

Considera-se, em muitos casos, não haverem razões pelas quais se devam excluir os critérios socioeconômicos na escolha de plantas para a melhoria dos taludes. São poucos os autores, como Durlo e Sutili (2005), que apontam para a obtenção de benefícios econômicos nestas áreas. A produção com geração de renda direta ou indireta, a obtenção de benefícios paisagísticos, em recreação e culturais não devem ser vistos como excludentes, mas sim, complementares com a proteção dos taludes e demais benefícios ambientais.

Verificou-se que há áreas de taludes sendo utilizadas por populações carentes para o cultivo agrícola e forrageamento de animais de tração. Este uso,

desprovido de técnicas adequadas amplificam os problemas de degradação destas áreas. Entretanto, estas áreas se bem manejadas também podem, em alguns casos, agregar benefícios, servindo inclusive para geração de renda. Neste sentido, atendendo esta demanda, devem-se incluir critérios de natureza socioeconômica na escolha de espécies e no desenvolvimento de técnicas de manejo biotécnico dos taludes.

O uso múltiplo destas áreas deve estar relacionado com o bem estar social, o desenvolvimento do turismo, à identidade cultural e à produção sustentável. Entre os aspectos de potencial socioeconômico observados, destacam-se:

- O potencial ornamental, relacionados ao bem estar social e qualidade de vida;
- O potencial turístico, também relacionado com o ornamental, mas que envolve aspectos culturais e geração de renda, como é o caso da região das hortênsias, na serra gaúcha;
- O potencial econômico, relacionado com a geração de renda pela produção de produtos como lenha, alimentos, remédios (plantas medicinais), extrativos e matéria-prima para artesanato;
- O potencial informativo e educativo, que pode ser obtido através do uso de plantas para a sinalização viva, técnica já reconhecida e utilizada em rodovias, bem como pelo uso destas áreas em atividades de educação ambiental.

#### 4.1.3 Espécies selecionadas

A partir das observações a campo verificou-se a existência de espécies de plantas que apresentaram potencial de uso para o manejo biotécnico de taludes em latossolos e que podem atender os critérios anteriormente comentados. Para um melhor entendimento, estas espécies foram classificadas pelo critério biológico em três grupos, de acordo com seu hábito de crescimento e porte: trepadeiras, herbáceas, e arbustivas/arbóreas.

As principais espécies selecionadas em cada grupo, bem como algumas de suas características e potencialidades relativas aos critérios de seleção estão descritas a seguir. Foram observadas 12 espécies das quais *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera* e *Pyrostegia venusta*, que foram utilizadas no experimento a campo, estão melhor descritas nas seções 3.2.2.3.1 a 3.2.2.3.4, respectivamente.

#### 4.1.3.1 Grupo de espécies trepadeiras:

a) *Ipomoea cairica* (L.) Sweet; Família: Convolvulaceae; Nome comum: corriola, corda-de-viola. É uma espécie nativa no Brasil, de ciclo anual, considerada planta invasora de lavouras de verão como feijão, milho e soja (LORENZI, 2008). Esta espécie mostrou-se bastante rústica, sendo encontrada vegetando em subsolo profundo em área de corte, erodida e compactada, onde, mesmo assim, apresentava grande vigor de crescimento, tanto como trepadeira sobre vegetação rasteira e arbustiva do entorno, como diretamente junto à superfície do solo (Figura 28).

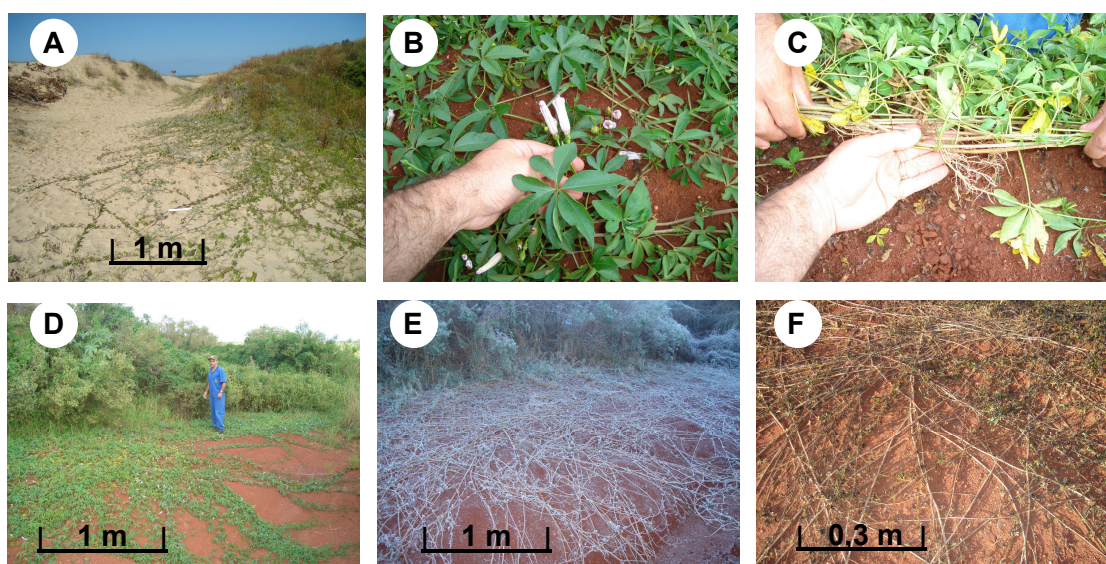


Figura 28 – *Ipomoea cairica*: desenvolvimento sobre dunas de praia em Rio Grande, RS (A); parte aérea em floração (B) e trama de cipós rente ao solo e suas raízes (C); desenvolvimento sobre área degradada pelo corte de solo (D), sob geada (E) e após ocorrência de geada (F) Cruz Alta, RS, 2009.

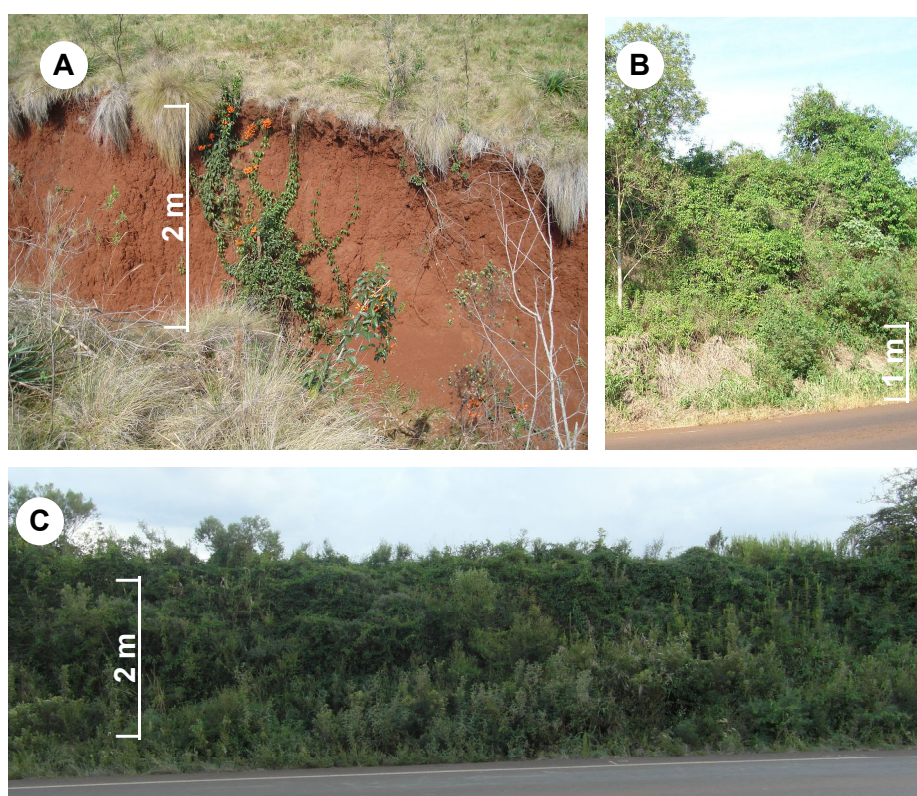
Durante severa estiagem, ocorrida na região, mostrou-se como uma das espécies mais resistentes à seca, mantendo folhagem verde, floração e produção de sementes. Também foi encontrada em dunas de areia, no litoral sul do Rio Grande do Sul, o que demonstra sua resistência ao estresse hídrico e salinidade.

Apesar de sensível a geadas e de seu hábito de crescimento rápido e vigoroso poderem prejudicar o desenvolvimento de outras plantas, pode fornecer

uma vasta e enraizada trama de ramos mesmo em solo degradado, o que evita o arraste superficial de partículas, sendo esta uma característica muito importante para o caso de taludes. Assim, observou-se um grande potencial para emprego na revegetação e proteção em áreas de baixa fertilidade, como as de talude, sendo que também apresenta potencial ornamental, com bela florada de cor rosa-arroxeadada.

b) *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers; Família: Bignoniaceae; Nome comum: Cipó-de-São-João. Nativa no Rio Grande do Sul e quase todo o Brasil, trepadeira, vigorosa, bastante conhecida como planta ornamental de belíssima florada nos meses de inverno, também apresenta propriedades medicinais (LORENZI; SOUZA, 2008). Imagens da morfologia e hábito de *Pyrostegia venusta* podem ser observados na Figura 29.

Esta espécie foi encontrada desenvolvendo-se em beiras de florestas, rodovias e cultivada em jardins urbanos com crescimento vigoroso e grande produção de biomassa. Também foi encontrada em paredes de voçorocas, em campo nativo na região de Cruz Alta, RS (Figura 29-A), em condições de solo pobre e sob competição com outras espécies. Também demonstrou resistência a geadas.



**Figura 29 – *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.): em voçoroca (A); e em talude à beira de rodovia (B) e (C). Cruz Alta, RS (2011).**

De acordo com as características observadas a campo pode-se ratificar o seu potencial ornamental relatado por Lorenzi e Souza (2008) e na recuperação ambiental, por Macanhão et al. (2003). Neste sentido, observa-se grande potencial para uso de *P. venusta* na cobertura e recuperação de taludes, onde além dos benefícios intrínsecos à revegetação e proteção do solo destas áreas, pode-se usufruir de ganhos ornamentais.

Acredita-se que o desenvolvimento de técnicas de manejo de *P. venusta*, mesmo em áreas de taludes, possa permitir a obtenção de benefícios múltiplos sem comprometer o benefício ambiental, principalmente para populações carentes. De acordo com Coradin, Siminski e Reis (2011), esta espécie apresenta potencial de uso para geração de renda através da produção de mudas ornamentais, matéria-prima para fitoterápicos<sup>4</sup>, fibras para artesanato e também apícola.

c) *Hedera canariensis* L.; Família: Araliaceae; Nome comum: Hera. Originária da África, Ilhas Canárias e Açores, é uma espécie muito utilizada como ornamental, sendo trepadeira perene (LORENZI; SOUZA, 2008). Segundo estes autores é indicada para o revestimento de taludes, sendo que multiplica-se facilmente por estacas. Foi encontrada em revegetação de talude rochoso (Figura 30).



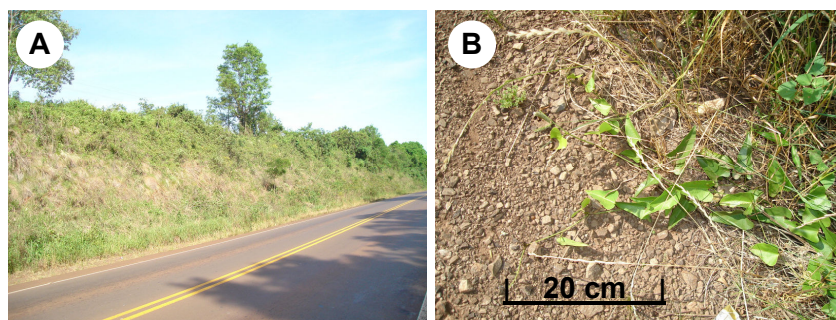
**Figura 30 – *Hedera canariensis* em talude rochoso junto à rodovia. Cruz Alta, RS, 2010.**

<sup>4</sup> O emprego indiscriminado de *Pyrostegia venusta* como planta medicinal pela população pode acarretar riscos à saúde humana. Seu consumo como medicamento deve ocorrer somente sob prescrição médica. A produção de fitoterápicos deve atender as regulamentações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e demais órgãos competentes no Brasil.



Observou-se grande potencial de emprego desta espécie em talude na região, ratificando Lorenzi e Souza (2008), pela resistência às geadas e tolerância ao sombreamento. Observou-se ótimo efeito de cobertura sobre o solo e seu hábito agressivo lhe confere características bastante interessantes para uso no manejo biotécnico de taludes, com restrições para o uso em consórcio com espécies arbóreas pelo risco de estrangulamento das árvores, pelo seu caule. Sua adaptação à exposição ao sol pleno deve ser verificada.

d) *Mikania glomerata* Spreng.; Família: Asteraceae; Nome comum: guaco. Planta medicinal nativa no Rio Grande do Sul, de efeito fitoterápico reconhecido, sendo bastante utilizada. É uma espécie perene, trepadeira, tolerante a geada, de crescimento rápido a moderado, com bom potencial para cobertura do solo. Multiplica-se por sementes e estacas. Foi encontrada revegetando espontaneamente taludes junto à margem de rodovias, onde demonstrou desenvolvimento considerável (Figura 31).



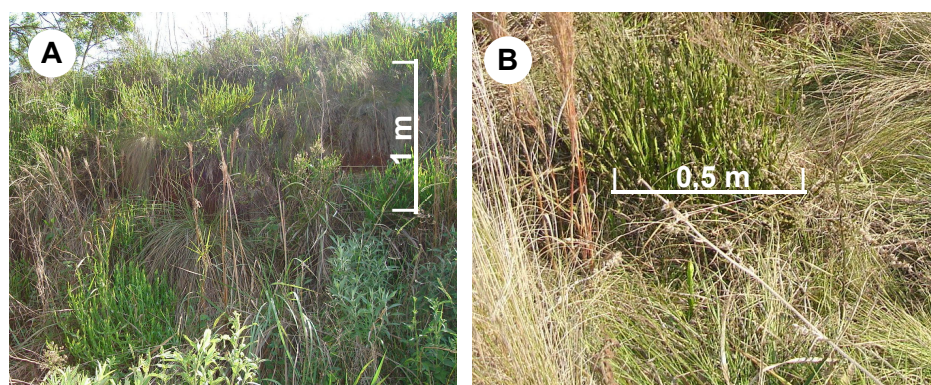
**Figura 31 – *Mikania glomerata* vegetando espontaneamente na região superior da rampa de talude rodoviário (A), com ramificações que se estendem até o acostamento da rodovia (B). Cruz Alta, RS, 2009.**

A falta de estudos sobre o emprego desta espécie no manejo biotécnico de talude, associado ao potencial de uso múltiplo e facilidade e disponibilidade de propagação sustentam a necessidade de estudar esta espécie neste novo enfoque. Segundo Coradin, Siminski e Reis (2011), esta espécie também possui potencial de uso apícola.

#### 4.1.3.2 Grupo de espécies herbáceas:

a) *Baccharis trimera* (Lers): Família Asteraceae (Compositae); Nome comum: carqueja. Espécie nativa no Rio Grande do Sul, muito utilizada por suas propriedades medicinais, também pode ser utilizada na ornamentação de jardins e, segundo Coradin, Siminski e Reis (2011), na apicultura. É uma erva ereta e ramosa, muito comum em campos nativos e beiras de estradas. Pouco exigente em solo, é resistente a geada. Embora seja de crescimento ereto, em plantio adensado, confere boa cobertura ao solo. Multiplica-se por sementes, estacas e divisão de touceiras.

Populações desta espécie foram encontradas em revegetação espontânea em taludes e áreas degradadas, estabelecendo-se junto à espécies bastante agressivas. Não foram encontrados estudos sobre seu uso no manejo biotécnico de taludes. Sua seleção deve-se principalmente as características de uso múltiplo, rusticidade, disponibilidade e viabilidade de material propagativo. Imagens da morfologia e hábito de *Baccharis trimera* podem ser observadas na Figura 32.



**Figura 32 – *Baccharis trimera*: população nativa em talude rodoviário (A); e em margem de estrada (B), Cruz Alta, RS (2011).**

d) *Acanthospermun australe* (Loefl.) Kuntze; Família: Asteraceae; Nome comum: carrapichinho, picão-da-praia, carrapicho rasteiro, mata-pasto, entre outros. Espécie que foi encontrada nas mesmas condições que *Petunia integrifolia*, porém com maior porte de distribuição horizontal, apesar de folhagem menos densa (Figura 33).

Esta espécie também foi encontrada vegetando junto à orla da praia, no litoral norte do Estado de Santa Catarina, o que demonstra sua resistência ao estresse

hídrico e salinidade. No ambiente natural multiplica-se por sementes, apresentando um ciclo reprodutivo bastante curto. Suas sementes possuem estrutura aderente, o que facilita a zoocoria e sua fixação ao solo. Segundo Lorenzi (2008), é considerada planta medicinal.

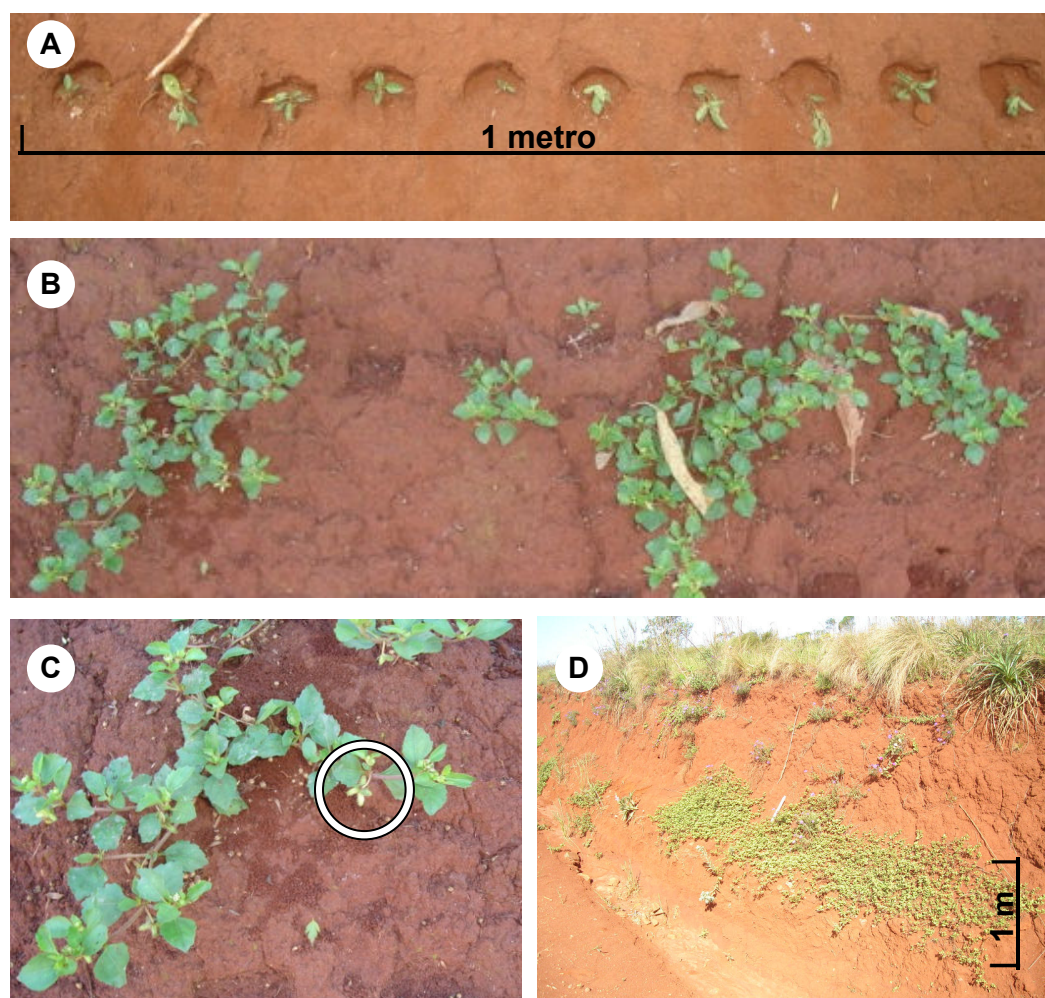


Figura 33 - *Acanthospermum australe*: mudas recém transplantadas em teste de cultivo em talude em latossolo em 01/02/2011 (A); 60 dias após o transplante, já em fase de dispersão de sementes (B); sementes, no detalhe em círculo branco (C); e em revegetação espontânea em talude de estrada (D). Cruz Alta, RS, 2011.

b) *Petunia integrifolia* (Hook.) Schinz et Thellung; Família: Solanaceae; Nome comum: petúnia. Esta espécie, originária da América do Sul (LORENZI; SOUZA, 2008), foi encontrada vegetando naturalmente em talude desnudo junto à estrada (Figura 34) e em área degradada pela lavra de cascalho. Possui ramos pubescentes, de hábito prostrado, sendo observada aderência e retenção de

partículas de solo despersas mesmo em rampa de talude. Apresentou boa cobertura do solo, sendo uma das primeiras espécies a se estabelecer com persistência na face dos barrancos, merecendo por isto maiores estudos. É resistente à geada. Multiplica-se naturalmente por sementes. Também apresenta potencial ornamental (CORADIN, SIMINSKI e REIS, 2011). Não foram encontrados, na bibliografia consultada, estudos sobre o emprego desta espécie na recuperação de áreas degradadas.

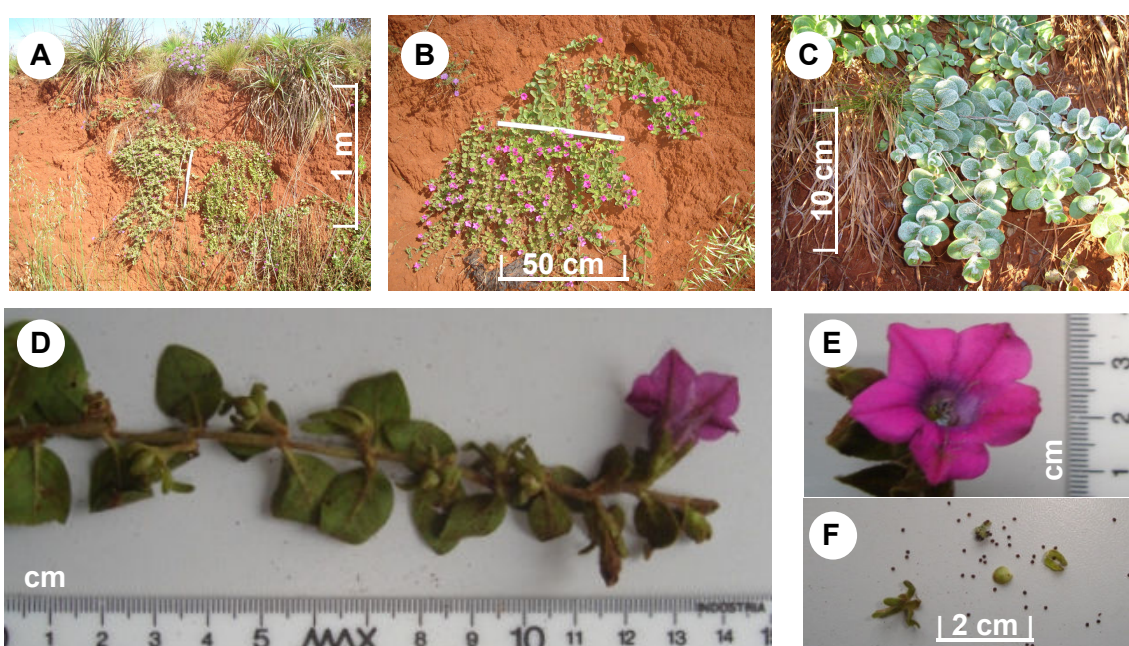


Figura 34 – *Petúnia integrifolia*: revegetação em talude em latossolo (A e B); sob geada (C); e detalhes de ramo no estágio reprodutivo (D), da flor (E) e sementes (F). Cruz Alta, RS, 2010.

c) *Rhynchosia corylifolia* Mart. Ex Benth.; Família: Fabaceae; Nome comum: favinha-rasteria-do-campo. Esta espécie foi encontrada em pequena população desenvolvendo-se em condições bastante adversas (Figura 35), em área de campo nativo, junto a gramíneas cespitosas altas como *Andropogon* sp, *Panicum* sp, *Paspalum notatum* (grama forquilha) e *Aristida palens* (macega), e junto ao leito de estrada não pavimentada em latossolo bastante compactado e em período de estiagem.

Apesar de apresentar pouca biomassa, em comparação com outras espécies, devido ao hábito de crescimento rasteiro, com folhas circulares, posicionadas rente a superfície do solo. A disposição das folhas e estolões parece conferir excelente

efeito de cobertura e proteção contra a erosão e escoamento superficial de solo. Observou-se, ainda, que esta espécie apresenta melhor resistência ao trânsito de veículos pesados que as demais espécies do local. Além de ser resistente à geadas, parece apresentar potencial para uso em consórcio com outras espécies arbustivas, merecendo maiores estudos.

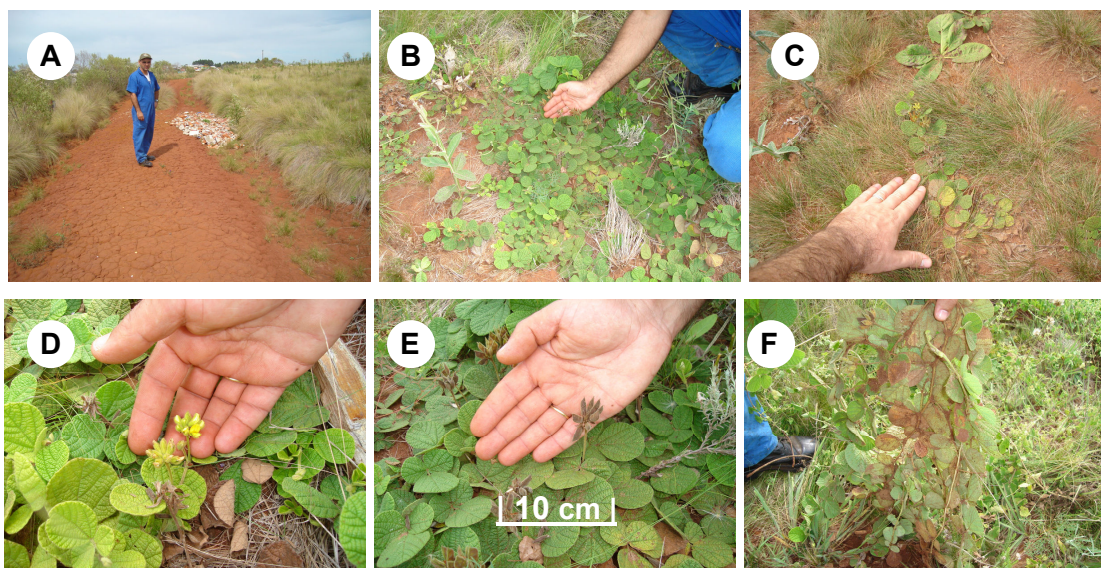


Figura 35 - *Rhynchosia corylifolia* em revegetação natural de ambiente degradado, em latossolo. Cruz Alta, RS, 2010.

#### 4.1.3.3 Grupo de espécies arbustivas ou arbóreas:

a) *Sambucus australis* Cham & Schl.; Família: Caprifoliaceae; Nome comum: sabugueiro. Trata-se de planta arbustiva, perene, de 2 a 4 metros de altura, nativa no Rio Grande do Sul (Figura 36). De acordo com Coradin, Siminski e Reis (2011) sua principal utilização é como planta medicinal. Segundo os autores, também possui potencial de uso alimentício, apícola, aromático e ornamental, todos relacionados à sua intensa florada.

Resistente a geadas, propaga-se por sementes e estacas de ramos. Embora não tenha sido encontrada em taludes e áreas degradadas, credita-se a escolha desta espécie ao seu potencial de uso múltiplo, associado às características agrônômicas de propagação e resistência a geadas, e ao seu porte reduzido, o que evitaria maiores cargas em taludes.



Fotografias: Rodrigo Orihuela (esquerda); Juliano Pörsch, (centro e direita), 2008, adaptado.

**Figura 36 – *Sambucus australis* Cham & Schl: aspectos da inflorescência e folhas (A); frutos (B); e das fissuras do tronco (C). Fonte: FLORA-RS, 2011.**

b) *Ateleia glazioviana* Baill.; Família: Fabaceae; Nome comum: timbó. Espécie arbórea nativa no Rio Grande do Sul. Árvore de grande porte, pioneira, muito rústica, resistente a geadas, adapta-se a solos pobres, tendo capacidade de fixar nitrogênio atmosférico através de simbiose com *Rhizobium*. A morfologia da árvore, folhas, frutos e sementes de *Ateleia glazioveana* pode ser visualizada na Figura 37.



**Figura 37 – *Ateleia glazioveana* Baill.: hábito de árvores no topo de talude (A), e à margem de rodovia (B), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Pode ser utilizada para produção de lenha, adubo-verde e inseticidas naturais. Também apresenta uso apícola. Não é atacada por formigas cortadeiras, uma das principais pragas de reflorestamentos na região sul do Brasil. Permite corte raso, com grande potencial de rebrota. Multiplica-se por sementes e estacas.

Apresenta substâncias tóxicas em seus tecidos não devendo ser consumida pelos rebanhos domésticos. No entanto, apresenta potencial invasor, necessitando de técnicas de manejo para controlar estes riscos. Apesar de ser uma espécie indicada para recuperação de áreas degradadas, não foram encontrados trabalhos sobre seu emprego no manejo biotécnico de taludes. Foi encontrada em revegetação espontânea de taludes rodoviários, onde apresentou bom desenvolvimento. Sua seleção deve-se às suas características adequadas para recuperação de áreas degradadas, adaptação edafoclimática e pelo seu potencial de uso múltiplo.

c) *Hibiscus rosa-sinensis* L.; Família: Malvaceae; Nome comum: hibisco, mimo-de-vênus. Arbusto perene, introduzido da China, de crescimento rápido, é muito utilizado como planta ornamental. Embora sensível a geadas severas apresenta intensa rebrota, inclusive de raízes. Multiplica-se por estacas. Embora não utilizada na recuperação de áreas degradadas, sua indicação para maiores estudos deve-se a sua exuberância ornamental, que apresenta expressiva florada, muito visitada pela avifauna e por insetos. Outro aspecto positivo refere-se à facilidade de propagação e disponibilidade de obtenção de grande número de estacas, haja vista sua considerável utilização na ornamentação urbana (Figura 38).



**Figura 38 – *Hibiscus rosa-sinensis*: utilizada na arborização urbana (A); e detalhe da brotação junto ao tronco e em rebentos de raízes (B). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

d) *Lagerstroemia indica* L.; Família: Lythraceae; Nome comum: extremosa, resedá. Esta espécie, nativa da China, é uma árvore de pequeno porte, ornamental, amplamente utilizada na arborização urbana (Figura 39). Bastante tolerante a poda, também emite abundantes brotações de raízes. Pode ser conduzida em fuste único

seguido de copa bastante ramificada ou com intensa ramificação, desde a base junto ao solo. Multiplica-se por sementes, estacas e brotos de raízes. Possui grande aceitação ornamental pela exuberante floração branca, laranja, rosa ou lilás. De hábito caducifólio, resiste a geadas severas, sendo que suas folhas mudam de cor, assumindo tons do avermelhado ao amarelo, durante o outono, antes de sua senescência, quando volta a manifestar grande beleza. De acordo com as características da espécie, acredita-se que estudos sobre este novo enfoque de emprego, podem apresentar resultados promissores.



**Figura 39 – *Lagerstroemia indica*: utilizada na arborização urbana (A e B); brotação junto ao tronco e em rebentos de raízes (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

#### 4.1.3.4 Considerações sobre as espécies descritas

De acordo com as condições em que este estudo foi realizado, foi possível verificar que as técnicas usualmente utilizadas para recuperar áreas de taludes caracterizam-se apenas pela praticidade operacional e que os critérios utilizados não consideram algumas características e peculiaridades ambientais, sendo esta uma das principais causas dos problemas encontrados nestas áreas.

O estabelecimento de critérios adequados para seleção de plantas visando o manejo biotécnico de taludes em latossolo, na condição climática do sul do Brasil, pode ser bastante complexo à medida que são incluídos aspectos relacionados à obtenção de benefícios múltiplos nestas áreas de risco. A preocupação de revegetar e proteger estas áreas em curto período de tempo parece não ser o suficiente. O desenvolvimento de técnicas de manejo que permitam o uso múltiplo sustentável destas áreas e que mantenham os benefícios estáveis ao longo do tempo requer



estudos sobre a dinâmica e interação ecológica nestes ecossistemas, constituindo-se em um grande desafio para a pesquisa na área da engenharia natural.

Foi possível identificar e selecionar espécies de plantas com potencial de uso não somente pela rusticidade em revegetar e proteger taludes, mas também com características que permitem benefícios múltiplos, como a ornamentação, produção de matéria prima (madeira, artesanato, fitoterápicos, entre outros). Neste sentido, merece destaque o grupo das plantas medicinais, que apresentaram grande potencial para uso em diversas aplicações na engenharia natural. Entre as espécies selecionadas, embora algumas sejam bastante conhecidas, não foram encontrados registro de sua utilização no manejo de taludes.

Das oito plantas nativas selecionadas, *P. venusta*, *M. glomerata*, *B. trimera*, *P. integrifolia* e *S. australis* constam entre as espécies nativas da Região Sul do Brasil, de maior valor econômico atual ou potencial (CORADIN; SIMINSKI; REIS, 2011). O fato desta recente obra não focar o uso destas espécies na engenharia natural, reforça a importância do estudo das mesmas, assim como para as espécies *R. corylifolia*, *A. australe* e *I. cairica*.

Cabe ratificar, ainda, que as espécies foram selecionadas pelas suas características apresentadas em ambiente natural; portanto, devem ser realizados maiores estudos, a fim de comprovar a efetiva viabilidade do seu emprego no manejo biotécnico de taludes.

## **4.2 Estudo sobre aspectos ambientais relacionados**

### **4.2.1 Fertilidade do solo no perfil do talude**

A fertilidade do solo em diferentes níveis ao longo do perfil do talude pode ser observada no Quadro 3, onde são apresentados os resultados da análise das amostras de solo retiradas nas áreas de talude dos blocos 1 e 2 (sem vegetação arbórea à montante) e dos blocos 3 e 4 (com vegetação arbórea à montante), bem como a interpretação dos diferentes parâmetros analisados, de acordo com Manual...(2004).

Nível no talude (cm)	Blocos 1 e 2					Blocos 3 e 4				
	Sem vegetação arbórea à montante					Com vegetação arbórea à montante				
	Arg. (%)	pH H <sub>2</sub> O	M.O. (%)	P	K	Arg. (%)	pH H <sub>2</sub> O	M.O. (%)	P	K
mg/dm <sup>3</sup>				mg/dm <sup>3</sup>						
25	60,1 1*	4,8 MB	1,3 B	3,7 B	34 B	55,6 2*	4,9 MB	1,9 B	3,7 B	126 MA
75	58,6 2*	5,1 B	1,0 B	4,8 B	14 MB	64,9 1*	5,4 B	1,1 B	4,9 M	58 M
125	64,9 1*	5,0 MB	<0,8 B	3,5 B	18 MB	66,5 1*	5,2 B	0,9 B	3,5 B	70 A
175	69,9 1*	5,2 B	<0,8 B	3,8 B	18 MB	71,6 1*	5,3 B	<0,8 B	4,2 M	50 M
	Ca	Mg	Al	CTC	Sat. Base (%)	Ca	Mg	Al	CTC	Sat. Base (%)
	cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>					cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>				
25	1,2 B	0,7 M	2,8 A	13,0 M	16 MB	2,0 B	0,5 B	1,9 A	12,5 M	22 MB
75	1,0 B	0,6 M	2,0 A	10,3 M	16 MB	1,3 B	0,9 M	0,8 A	7,9 M	30 MB
125	0,8 B	0,5 B	2,2 A	11,1 M	12 MB	0,9 B	0,6 M	1,7 A	9,4 M	18 MB
175	0,8 B	0,6 M	2,7 A	9,2 M	16 MB	1,0 B	0,5 B	2,2 A	9,4 M	17 MB
	S	B	Mn	Zn	Cu	S	B	Mn	Zn	Cu
	mg/dm <sup>3</sup>									
25	13,0 A	0,4 A	19,3 A	0,47 M	2,86 A	13,0 A	0,4 A	17,7 A	0,92 A	6,78 A
75	14,0 A	0,5 A	16,2 A	0,38 M	2,39 A	8,0 A	0,6 A	12,6 A	0,44 M	2,13 A
125	15,0 A	0,5 A	16,0 A	0,58 A	1,62 A	15,0 A	0,5 A	12,3 A	0,43 M	1,66 A
175	14,0 A	0,5 A	13,8 A	0,55 A	1,49 A	20,0 A	0,5 A	10,5 A	0,57 A	1,12 A

Arg. = argila e M.O. = Matéria Orgânica;

CTC = Capacidade de troca de cátions potencial (pH 7,0); mg/dm<sup>3</sup> = ppm e cmol<sub>c</sub>/ dm<sup>3</sup> = meq/dL.

\* = Classes de solo de acordo com o teor de argila;

Interpretação da análise: MA = muito alto; A = alto; M = médio; B = Baixo; MB = muito baixo (NRS-SBCS, 2004).

**Quadro 3 – Resultados e interpretação das análises de amostras de solo de diferentes níveis no perfil de talude em latossolo, com e sem vegetação arbórea à montante, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Em linhas gerais, a interpretação da análise de solo do talude revelou as seguintes características: teores de argila próximo à superfície em uma faixa de transição entre as classes de solo 1 e 2; baixos teores de matéria orgânica; pH de baixo a muito baixo, com presença de altos teores de alumínio tóxico; teores de

macronutrientes como P, K e Ca entre baixo e muito baixo; média CTC, com muito baixa saturação de bases; e altos teores de S e micronutrientes.

De acordo com os resultados obtidos, os níveis de fertilidade encontrados podem ser considerados normais, haja vista tratar-se de área de talude que, segundo Araújo et al. (2005), apresentam condições desfavoráveis de solo, e de um latossolo vermelho distrófico típico que, conforme caracterizado por Streck et al. (2008), apresentam limitações de natureza química.

Verifica-se que as características físicas e químicas do solo do talude estão de acordo com as afirmações de Hoffmann et al. (1994), que considera este latossolo de boa estrutura física, mas que necessita de práticas que melhorem as suas condições químicas que, segundo o autor, podem ser obtidas a partir da sua correção, principalmente do pH e dos teores de macronutrientes, com adição de corretivos e fertilizantes. Neste caso deve-se fazer uma ressalva, no sentido de que as práticas convencionais de aplicação de corretivos e fertilizantes foram desenvolvidas para a condição de cultivos agrícolas, em áreas pouco declivosas. Em taludes, são operacionalmente viáveis apenas em banquetas e covas isoladas. No caso da aplicação sistemática em toda a região da rampa de taludes, onde há elevada declividade, tornam-se inviáveis operacionalmente devendo as mesmas ser repensadas. O manejo de resíduos orgânicos também pode ser uma prática utilizada para melhorar os teores de matéria orgânica. As técnicas de aplicação de corretivos e fertilizantes em taludes, principalmente na região da rampa, são importantes demandas para a pesquisa.

A redução que pode ser observada em alguns parâmetros importantes, como matéria orgânica, K e Ca, em função do aumento da profundidade do solo, é esperada, visto que as camadas superiores dos solos apresentam maior fertilidade, relacionada à maior atividade das plantas, animais, e microorganismos, nestes níveis do perfil (EMBRAPA, 1999). No caso dos micronutrientes, apesar de haver redução em seus teores com o aumento do nível de profundidade no perfil do talude, estes ainda mantiveram-se altos, devido a natureza química da rocha de origem basáltica e ao grau de intemperismo destes solos.

Neste sentido, observou-se redução nos teores de importantes indicadores de fertilidade, como a matéria orgânica e alguns macronutrientes, na direção dos níveis de maior profundidade ao longo do perfil do talude, o que impõem condições desuniformes e ainda mais severas e restritivas ao desenvolvimento vegetal. Assim,

as plantas cultivadas devem refletir esta variação de fertilidade no seu desenvolvimento ao longo da rampa.

Algumas diferenças, como a dos teores de matéria orgânica, Ca, Cu e Zn, que foram menores numericamente no nível superior dos blocos sem vegetação arbórea à montante, se comparados aos blocos 3 e 4, devem-se, em parte e provavelmente, ao fato de que o topo do talude, nestes blocos, apresentava-se com perda de parte da camada superficial do solo, quando do seu reafeiçoamento.

Observa-se, ainda, que os blocos 3 e 4 apresentaram nitidamente maiores teores de K, entre outros, que parecem estar atrelados também ao efeito da arborização (Figura 40).

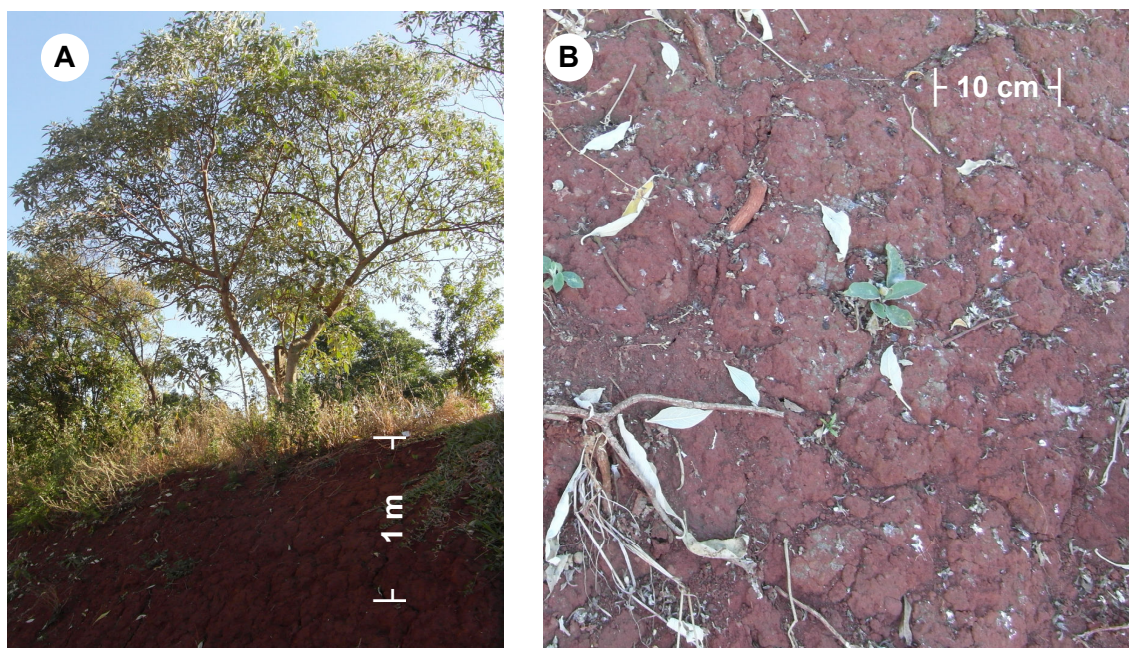


Figura 40 – Árvore de *Solanum erianthum* utilizada como poleiro (A) e excrementos da avifauna sob a projeção da copa na superfície da rampa de talude (B), Cruz Alta, RS, Brasil 2011.

Neste sentido, verificou-se que as árvores foram intensamente utilizadas como poleiro pela avifauna, sendo que era significativa a deposição de excrementos sobre a superfície destas parcelas, o que deve ter contribuído para o maior teor de alguns nutrientes nestas áreas do experimento.

Apesar da importância da relação da flora/fauna na recuperação de áreas degradadas (CARVALHO, 2000) e de estudos sobre poleiros artificiais para a

restauração nucleadora (BRODT; FORNECK, 2009; TRES et al., 2007), os maiores enfoques destes trabalhos estão relacionados principalmente ao forrageamento e dispersão de sementes por zoocoria. Sugere-se maiores estudos sobre o efeito da avifauna e da técnica de poleiros na fertilidade do solo.

As principais espécies de aves encontradas e que ocupavam como poleiro a arborização à montante do talude foram pombas rolas (*Zenaida auriculata*) da família Columbidae, que demonstrou preferência em utilizar, como poleiro, árvores de *Solanum erianthun*, popularmente conhecida como fumo-bravo ou fumeiro. Os pardais (*Passer domesticus*) foram bastante comuns utilizando as árvores de *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) como poleiros. Neste caso, parece também haver uma preferência da avifauna por determinadas espécies vegetais.

Gustman, Oliveira e Mikich (2007) encontraram *Zenaida auriculata* entre as aves que utilizaram poleiros artificiais em áreas degradadas. Segundo Belton (2004), estas duas espécies de aves são habitantes bastante comuns de ambientes urbanos, principalmente em locais com disponibilidade de sementes, como é o caso da área deste experimento, localizada junto à unidade de beneficiamento de grãos, que muito provavelmente está relacionada com a grande presença da avifauna.

Considerando que no âmbito da engenharia natural e da recuperação de áreas degradadas, a aptidão biotécnica das espécies deve atender estas condições adversas, priorizando-se espécies rústicas e pouco exigentes em fertilidade, como é o caso de espécies nativas pioneiras, adaptadas às condições naturais, e que constituem-se em um grupo de interesse, pelo seu potencial de uso, conforme preconizado por Durlo e Sutili (2005) e Pereira (2006). Espécies de plantas classificadas por Grime (1977) como: tolerantes ao estresse, que possuem características que lhe conferem adaptação à baixa fertilidade; e ruderais, que apresentam estratégias de adaptação a ambientes frequentemente perturbados, também são grupos de interesse para o manejo biotécnico de taludes.

Desta forma, as condições de baixa fertilidade do solo do talude experimental demandam plantas rústicas, adaptadas às condições do experimento, sendo que a presença de vegetação arbórea à montante em parte do talude mostrou-se bastante interessante no sentido do manejo da fertilidade do talude, seja através da ciclagem direta de nutrientes (MEURER et al., 2000), ou pelo efeito dos excrementos das aves que utilizavam estas árvores como poleiro.

#### 4.2.2 Influência da orientação geográfica<sup>5</sup> em taludes

De acordo com os resultados obtidos (Quadro 4) pode-se observar que a orientação geográfica do talude em relação aos pontos cardeais norte, sul, leste e oeste afetou a incidência de luz solar sobre a superfície do solo, a temperatura do ar a 1,3 m de altura da base do talude e a temperatura do solo nas diferentes profundidades avaliadas. Neste último, o gradiente de variação da temperatura do solo, apresentou-se inversamente proporcional à sua profundidade, o que demonstra o efeito termo-regulador do solo.

Os comportamentos da incidência de luz solar e da temperatura obtidos permitem observar que a orientação geográfica dos taludes afetou a incidência de luz, de duas maneiras: pelo período de incidência solar direta e pelo ângulo de incidência desta radiação sobre sua superfície. Quanto maior o período de incidência de luz solar direta, e principalmente sua perpendicularidade em relação à superfície do talude, maior foi o aquecimento do solo.

Quanto ao período de incidência de radiação solar direta, o talude que a recebeu por maior período foi o de exposição Sul (nas avaliações das 9:00, 12:00 e 15:00 horas). O talude de exposição Norte recebeu radiação direta nas leituras das 12:00 horas e 15:00 horas. O talude de exposição Leste estava recebendo radiação direta nas avaliações das 9:00 e 12:00 horas, enquanto o talude de exposição Oeste foi o que recebeu radiação solar direta pelo menor período de tempo, apenas na leitura das 15:00. Neste talude, nas avaliações das 12:00 e 18:00 horas observou-se que sua superfície estava em plena interface entre a incidência da radiação solar direta e a sombra proporcionada por sua rampa e vegetação à montante.

Podem ser observados gradientes de até 5°C entre os taludes de exposição Leste e Norte, na avaliação das 12 horas. Os taludes que apresentaram as maiores temperaturas do ar a 1,3 m, nas avaliações realizadas às 9:00 horas e 12:00 horas, foram os de orientação geográfica Leste (26,2 e 36,5°C, respectivamente) e Sul (26,0 e 34,1°C, respectivamente), nesta época do ano (janeiro). Isto, se deve ao fato destes taludes, pela sua exposição, receberem insolação direta antecipadamente, a partir das primeiras horas do dia, sendo que neste período, a superfície dos taludes

---

<sup>5</sup> A “orientação geográfica” é também denominada “exposição solar” no campo das ciências florestais.

com exposição Oeste e Norte ainda permaneciam sombreadas pela própria rampa do talude e sua vegetação à montante.

<b>Temperaturas (°C) em talude com orientação geográfica NORTE</b>				
Ponto de medição	Horário de medição (horas) / incidência de luz solar			
	9 (sombra)	12 (direta)	15 (direta)	18 (sombra)
1,3m ar	23,5	<b>31,5</b>	29,0	28,2
-1 cm solo	23,5	<b>39,5</b>	37,5	36,7
-5 cm solo	25,0	32,7	<b>36,2</b>	34,2
-10 cm solo	25,9	28,3	<b>33,0</b>	32,3
<b>Temperaturas (°C) em talude com orientação geográfica SUL</b>				
Ponto de medição	Horário de medição (horas) / incidência de luz solar			
	9 (direta)	12 (direta/sombra)	15 (direta/sombra)	18 (sombra)
1,3m ar	26,0	<b>34,1</b>	28,1	27,3
-1 cm solo	28,5	<b>34,5</b>	30,2	27,0
-5 cm solo	26,0	<b>32,3</b>	32,0	28,4
-10 cm solo	24,5	28,0	<b>31,0</b>	28,0
<b>Temperaturas (°C) em talude com orientação geográfica LESTE</b>				
Ponto de medição	Horário de medição (horas) / incidência de luz solar			
	9 (direta)	12 (direta)	15 (sombra)	18 (sombra)
1,3m ar	26,2	<b>36,5</b>	29,5	25,7
-1 cm solo	36,1	<b>50,2</b>	35,5	28,5
-5 cm solo	29,4	<b>39,9</b>	35,6	30
-10 cm solo	26,1	<b>33,1</b>	32,5	30
<b>Temperaturas (°C) em talude com orientação geográfica OESTE</b>				
Ponto de medição	Horário de medição (horas) / incidência de luz solar			
	9 (sombra)	12 (sombra/direta)	15 (direta)	18 (direta/sombra)
1,3m ar	23,2	<b>33,4</b>	29,4	27,0
-1 cm solo	23,0	33,2	33,0	<b>35,0</b>
-5 cm solo	23,2	26,7	31,2	<b>32,9</b>
-10 cm solo	24,5	26,2	27,5	<b>30,0</b>
OBSERVAÇÃO: em negrito, valores de temperatura máxima para o respectivo ponto e horário de medição.				

**Quadro 4 – Influência da orientação geográfica de talude na temperatura do ar a 1,30 metros da base do talude e da rampa do talude a diferentes níveis de profundidade do solo. Cruz Alta, RS, Brasil (janeiro/2011).**

De acordo com Hoffmann et al. (1994), que relatam sobre a importância da latitude e da inclinação dos raios solares sobre a temperatura, ainda cabe salientar que a amplitude da variação do ângulo de incidência da radiação solar obtida é específica para as diferentes latitudes e estações do ano. Assim, estes resultados são específicos para a latitude de 28° sul em que se encontram estes taludes, bem como para o mês de janeiro, durante a estação de verão, sendo utilizado o fuso horário de verão do Brasil.

Considerando as mudanças devido à inclinação do eixo de rotação da Terra (HOFFMANN et al., 1994), que é de aproximadamente 23,5° e rege esta variável, no caso do solstício de inverno, para a latitude de 28° Sul, deve haver uma inversão entre as condições ambientais entre os taludes de diferente exposição. Neste caso, no período entre os equinócios e o solstício de inverno, a inclinação solar na região de Cruz Alta-RS varia de aproximados 28° a 51,5°, respectivamente. Nestas condições, taludes com orientação geográfica Sul não recebem radiação direta no período em que a inclinação solar sobre o plano topográfico for menor que a inclinação da sua rampa. Portanto, os taludes com 60% de inclinação (bastante comuns nas rodovias da região) são afetados por todo este período, e os de 45°, em parte do mesmo, enquanto os taludes de orientação Norte passam a ser favorecidos, recebendo maiores intensidades de radiação solar, o que interfere na temperatura do talude e no desenvolvimento das plantas.

De acordo com os horários de maiores temperaturas nos pontos de medição a 1 centímetro de profundidade do solo, onde percebe-se a máxima temperatura do talude Oeste às 18 horas (Quadro 4), o ângulo de incidência desta radiação foi o fator preponderante no aquecimento do solo<sup>6</sup>.

Com relação à variação da temperatura, pode-se verificar também um efeito termo-regulador da profundidade do solo, sendo que as regiões superficiais do solo são aquelas mais sensíveis, apresentando os maiores gradientes e variações de temperatura.

Pode-se verificar nas avaliações de temperatura do solo até 10cm de profundidade que, em certos casos, esta atingiu níveis superiores àqueles considerados por Raven, Evert e Curtis (1988) e Fachinello, Hoffmann e Nachtigal

---

<sup>6</sup> Este ângulo determina a densidade de radiação incidente por unidade de área. De maneira análoga, há o aquecimento diferenciado ao longo das latitudes do planeta Terra em função da inclinação do



(2005) como favoráveis para a germinação de sementes (25 a 30°C) e por Kampf (2000) para o enraizamento de estacas (18 a 24°C), para a maioria das espécies de plantas. Para o caso de sementes, que são alocadas próximas à camada mais superficial do solo, as condições foram mais desfavoráveis pois, nesta camada, houve os maiores picos de temperatura. Foi verificado no talude de orientação Leste, temperaturas superiores a faixa de 45 a 48°C, consideradas por Raven, Evert e Curtis (1988) como níveis críticos para a germinação.

Observa-se que os taludes com orientação Leste e Norte foram os que apresentaram as condições mais elevadas de temperatura. Na exposição Leste, o solo chegou a atingir 50,2°C na camada de 1-2cm de profundidade e 39,9°C a 5cm de profundidade, ambas na avaliação realizada às 12:00 horas. As menores temperaturas máximas, nestas respectivas camadas, foram encontradas no talude com orientação Sul com 34,5 e 32,3°C, respectivamente, às 12:00 horas, muito próximas das obtidas no talude com orientação Oeste, sendo este último com máximas na avaliação das 18:00 horas.

Nas condições deste experimento, em certas orientações geográficas de talude verificaram-se níveis de temperatura bastante elevados e que podem prejudicar o desenvolvimento inicial e o estabelecimento de plantas na revegetação, o que ratifica Araújo, et al. (2005). Segundo o autor, conhecer estes mecanismos de influência torna-se bastante relevante na escolha da vegetação, principalmente devido ao fato destas áreas apresentarem, na maioria das vezes, condições edáficas desfavoráveis. Assim, nos trabalhos de revegetação destas áreas, quando são utilizadas sementes, estacas, mudas ou outras formas de propagação de plantas em estágios iniciais de desenvolvimento, há necessidade de melhorar as condições edafoclimáticas, cuidar na escolha de espécies e do método de propagação para o seu estabelecimento.

Segundo Mello et al. (1985), temperaturas na ordem de 25 a 30° C são as mais favoráveis aos microorganismos do solo, sendo que temperaturas próximas a 40° C não são toleradas por nódulos de bactérias da maioria das leguminosas. Considerando ainda que a temperatura do solo também afeta diversos outros fatores do solo, como evaporação d'água, desenvolvimento vegetal, matéria orgânica e estabilidade de trincas (GERRARD 2000; PINTO, 2000), o manejo biotécnico

empregado na revegetação de taludes deve observar as condições mais severas para o estabelecimento vegetal decorrentes da exposição geográfica.

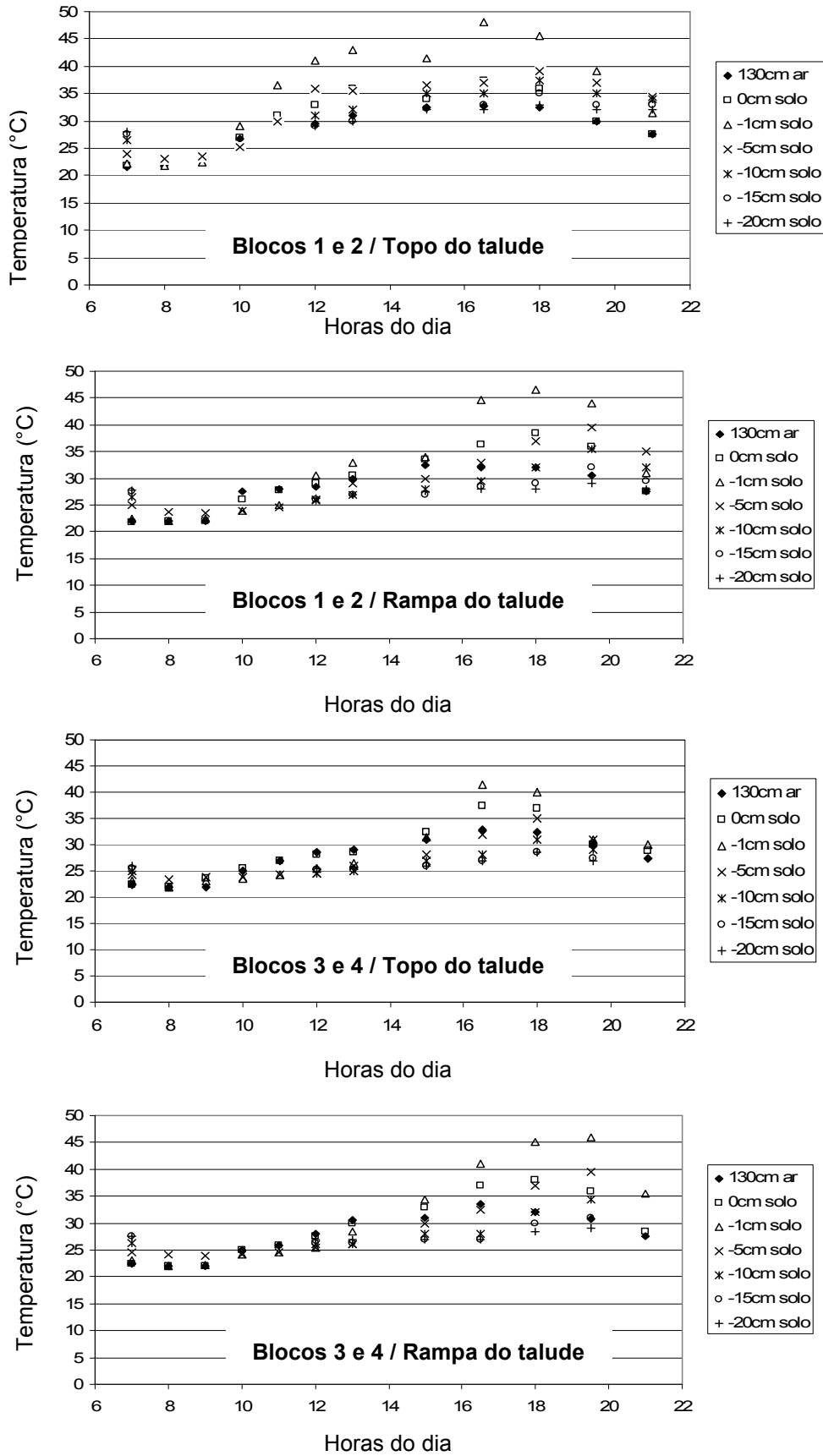
Os resultados observados apontam para os taludes de exposição Leste, como os que apresentam piores condições para o estabelecimento vegetal, em função da maior temperatura do solo durante o verão. A fim de elucidar melhor a influência destas variáveis na revegetação destas áreas e melhorar a eficiência do manejo biotécnico, sugere-se maiores estudos sobre este assunto.

#### 4.2.3 Temperatura do solo no perfil do talude

A temperatura do solo observada nos diferentes níveis no perfil do talude experimental elucidada e ratifica a influência de fatores como o ângulo de incidência da radiação solar e sombreamento, de maneira análoga ao estudo anterior sobre a exposição solar de taludes, sendo respeitadas as peculiaridades entre as condições destes locais.

Tomando-se como parâmetro os mesmos níveis de temperatura de 25 a 30°C, considerados por Raven, Evert e Curtis (1988) e Fachinello, Hoffmann e Nachtigall (2005), como favoráveis para a germinação de sementes; e de 18 a 24°C, considerados por Kampf (2000) para o enraizamento de estacas para a maioria das espécies de plantas, verifica-se, na Figura 41, que ocorreram períodos desfavoráveis ao longo do dia. Entretanto, comparando-se os dados dos Blocos 1 e 2 com os Blocos 3 e 4, pode-se observar que a presença de vegetação arbórea à montante do talude (Blocos 3 e 4) exerceu um efeito termo-regulador favorável. Neste caso, o efeito ocorreu principalmente na região do topo, onde o sombreamento ocorreu por maior período. Este benefício pode ser observado pela redução das temperaturas, ou do período em que as mesmas atingiram os níveis mais elevados.

O comportamento da temperatura no decorrer do período está atrelado à exposição solar do talude, neste caso, Oeste. Taludes com outra exposição devem apresentar comportamentos distintos, conforme demonstrado no estudo anterior sobre o efeito da exposição geográfica dos taludes. Da mesma forma, devem ocorrer comportamentos distintos da vegetação devido ao período de sombreamento, devendo-se levar em conta, também, a influência da latitude do local, haja vista as implicações do sombreamento por demasiado período.



**Figura 41 – Temperatura em diferentes profundidades do solo, no topo e na rampa de taludes para os blocos sem (blocos 1 e 2) e com vegetação arbórea à montante (blocos 3 e 4), Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Observa-se ainda que, mesmo a 20 cm de profundidade no solo, há níveis de temperatura superiores aos 25°C por considerável período. No caso da região do topo do talude, sem vegetação arbórea à montante, esta temperatura chega a ultrapassar os 30°C durante praticamente todo o período da tarde. Estes níveis podem resultar em prejuízos no desenvolvimento inicial de muitas espécies de plantas, principalmente nas propagadas através do plantio direto de estacas.

Outro aspecto que deve ser considerado quanto ao sombreamento (que diminui a temperatura no talude), é o nível de adaptação e tolerância da vegetação a ser utilizada na sua revegetação. Portanto, além da temperatura, da exposição solar e da latitude, deve-se considerar a adaptação e viabilidade da espécie implantada no talude, de acordo com a intensidade e o período de sombreamento que pode ser proporcionado dependendo das condições da arborização à montante.

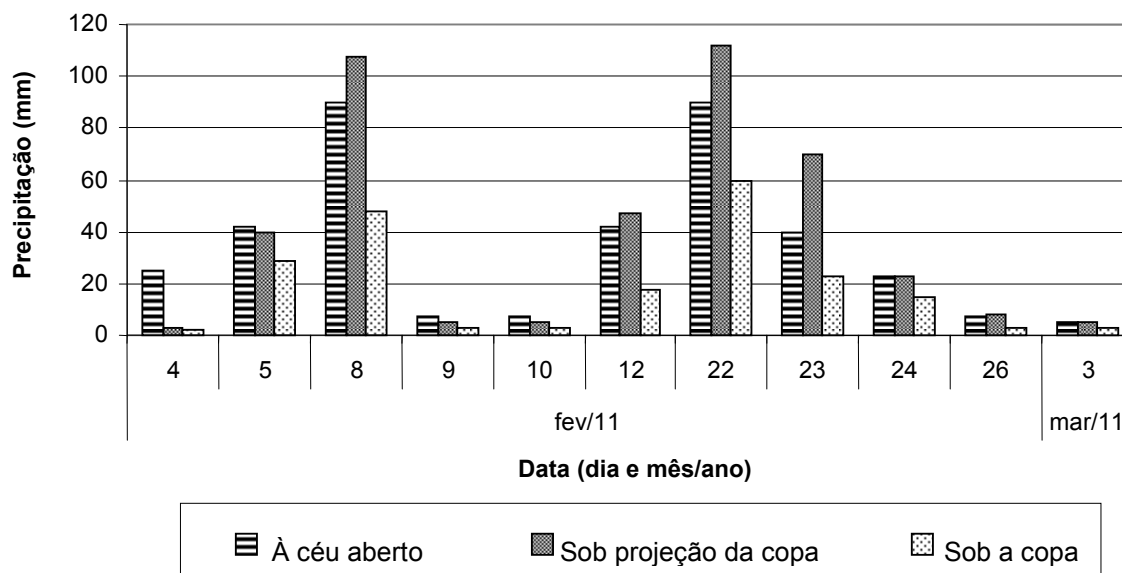
#### 4.2.4 Precipitação pluviométrica no talude

Este estudo teve por objetivo elucidar sobre as variações discrepantes observadas no transcorrer das avaliações de perda de solo e água nas parcelas experimentais de tratamentos com arborização à montante do talude. Estas variações corroboram com os estudos de Lemes (2001), que em revisão sobre os efeitos da vegetação em taludes, observou controvérsias entre os autores quanto ao papel da copa das árvores: alguns consideram exercer um efeito benéfico, pela interceptação da precipitação, enquanto outros acreditam prevalecer um efeito deletério, pela maior desagregação devido ao aumento do tamanho das gotas.

De acordo com os resultados obtidos, a copa das árvores não exerce apenas efeitos benéficos pela interceptação da precipitação, conforme mencionado por Araújo et al. (2005) e Durlo e Sutili (2005), mas também pode ocasionar, em certos casos, um aumento no volume de água que efetivamente atinge o talude (Figura 42).

Neste estudo, observou-se um fenômeno não encontrado na literatura consultada, decorrente do efeito da vegetação sobre o talude e que foi denominado de efeito “rede-tributária-convergente”. Este efeito negativo consiste na interceptação da precipitação e na sua condução na copa de forma similar a de rios tributários de uma bacia hidrográfica. Assim, a água é canalizada para um ponto convergente que não apenas libera a água em gotas maiores, mas que principalmente concentra a precipitação de uma área maior em locais específicos do

talude, podendo inclusive formar quedas de água em fluxo contínuo, de elevado poder erosivo localizado.



**Figura 42 – Influência da vegetação arbórea sobre a interceptação de precipitação em talude em latossolo no sul do Brasil, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Diversos autores, como Couto (2010), Araújo et al. (2005), Durlo e Sutili (2005), bem como os da revisão de Lemes (2001), ao abordarem sobre os efeitos hidromecânicos negativos e positivos da vegetação na estabilidade de solos de taludes não apontam para este efeito de “rede-tributária-convergente”.

Observou-se ainda, que o efeito rede-tributária-convergente está relacionado à conformação da copa e morfologia das folhas, sendo ocorrente em galhos que apresentam crescimento pendente em direção à periferia da copa<sup>7</sup>, e que interceptam e direcionam a água precipitada em direção a região mais externa, próxima a linha de projeção vertical da copa.

Verificou-se também que, quando há ventos, a precipitação pode ser interceptada lateralmente pela árvore, sendo retida e acumulando-se na região da linha de projeção da copa. Este fenômeno depende muito da direção da precipitação, onde chuvas com ventos fortes acabam se inserindo não apenas no

<sup>7</sup> Estes galhos são bastante comuns em árvores localizadas na borda de maciços florestais, cultivadas em linhas ou isoladas. Neste caso, os galhos que apresentam crescimento lateral, ao competir por luz solar podem formar ramos com crescimento pendente.

topo da copa, mas também lateralmente. A folhagem da copa pode então atuar como uma barreira vertical.

De acordo com o observado, uma estratégia para evitar estes efeitos negativos da arborização em taludes, pode ser o plantio das árvores localizados de modo em que a linha de projeção da copa não atinja a rampa dos mesmos. Outra opção seria a escolha de espécies arbóreas com arquitetura de copa e morfologia de ramos e folhas que não sejam favoráveis à formação de uma barreira vertical e ao efeito rede-tributária-convergente. A cobertura da rampa do talude pelo cultivo de plantas ou colocação de mulches sob os pontos de convergência da água precipitada também são alternativas que podem dissipar esta água concentrada em pontos da rampa, impedindo maiores danos.

Como pode ser observado na Figura 42, mesmo em precipitações similares, como as ocorridas nos dias 5, 12 e 23 de fevereiro, na ordem de 40 mm, a intensidade deste efeito mostrou-se variável e parece estar relacionada aos fatores ambientais relativos à intensidade da precipitação e direção dos ventos durante a precipitação.

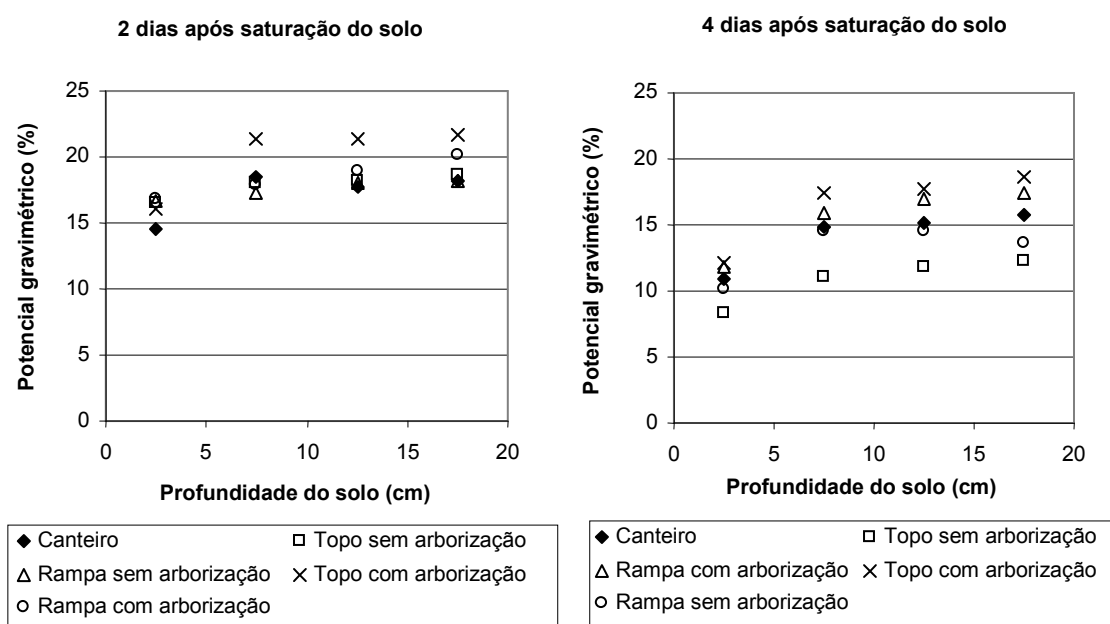
Em razão disto, a vegetação arbórea utilizada para proteção de taludes dever apresentar uma conformação de copa e estar posicionada de modo a não proporcionar efeitos negativos sobre o talude, que podem aumentar os riscos de erosão. Neste caso, deve-se considerar ainda o regime hídrico de chuvas e verificar se há ocorrência de ventos dominantes durante as precipitações.

Cabe esclarecer que, devido à poda prévia dos galhos das árvores localizados sobre as parcelas durante a instalação do experimento, este fator de variação não foi considerado de início. Entretanto, com o crescimento radial da copa das árvores, passou a ser foco de observação. Sugere-se a realização de maiores estudos sobre este assunto, que se mostrou relevante e que abre novas perspectivas quanto ao manejo biotécnico de vegetação arbórea em taludes.

#### 4.2.5 Teor de umidade no perfil do talude

Os resultados obtidos demonstram que o teor de umidade do solo do talude, expressos pelo potencial gravimétrico de água (Figura 43), variou em função da região do talude, da presença de vegetação arbórea à montante e do nível de profundidade do solo. A camada mais superficial, de 0 a 5 cm de profundidade, foi a

que apresentou a maior redução no potencial gravimétrico do solo, aos 2 e 4 dias após sua saturação. Isto está relacionado à boa drenagem dos latossolos (HOFFMANN et al., 1994) e à exposição das camadas superiores ao sol e ao vento, o que resulta em perdas por evaporação (MELLO et al., 1985; GERRARD, 2000).



Avaliações realizadas perpendicularmente à superfície do solo, nas camadas de 0 a 5, 5,1 a 10, 10,1 a 15 e 15,1 a 20cm; Topo e rampa = regiões do talude; Canteiro = avaliação realizada em área plana de corte de solo, encanteirada e localizada a 30 metros da base do talude.

**Figura 43 – Potencial gravimétrico de água do solo ao longo do perfil de talude sob diferentes condições de vegetação à montante, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Pode-se observar que o potencial gravimétrico variou entre as duas regiões do talude, principalmente a partir dos 4 dias após a saturação do solo. Neste caso, a região do topo apresentou menores teores, possivelmente relacionados à maior drenagem e exposição desta região, conforme elucidado por Mello et al. (1985) e Gerrard (2000).

Entretanto, o efeito da vegetação arbórea à montante do talude mostrou-se mais importante na manutenção do potencial gravimétrico do solo do que a região do talude. Neste caso, o efeito protetor do sombreamento das árvores sobre o talude deve ter sido preponderante na redução da perda de água, pois a região do topo, mais sombreada, apresentou os melhores desempenhos, nas diferentes camadas de profundidade avaliadas.

Os resultados obtidos ratificam aqueles encontrados no estudo da temperatura nos diferentes níveis do perfil do talude (Seção 4.2.3) e demonstram que o uso de técnicas que visem à proteção da superfície do solo contra a exposição solar impedindo níveis muito elevados de temperatura, também favorece o estabelecimento da vegetação pela manutenção do seu potencial gravimétrico de água. O nível deste efeito protetor está relacionado à orientação geográfica do talude, de acordo com o estudo da seção 4.2.2, sendo influenciado pela latitude e estação do ano.

Observa-se que a presença de arborização e o respectivo efeito de sombreamento esteve relacionado ao maior potencial gravimétrico encontrado, principalmente na região do topo, que foi a mais favorecida. Apesar de a arborização aumentar as perdas de umidade do solo devido à maior evapotranspiração, descrito por diversos autores, como Araújo et al. (2005), observou-se que, em um primeiro momento, a evaporação direta e a drenagem devem ter sido os mecanismos preponderantes. Condições como estiagens prolongadas podem resultar em respostas divergentes, relacionadas às perdas por evapotranspiração. Neste caso, deve-se considerar também, os efeitos da matéria orgânica na retenção de água do solo (STRECK et al., 2008).

#### 4.2.6 Ocorrência de revegetação espontânea em taludes

A análise da revegetação espontânea nas parcelas de taludes da área experimental deve considerar como pressupostos dois fatores: a sua retirada periódica das parcelas amostrais durante os 90 dias iniciais após o plantio, para evitar a competição com as espécies cultivadas; e a sua localização junto a uma unidade de beneficiamento de grãos, onde a concentração e dispersão de sementes de espécies daninhas de lavouras é bastante grande. Desta forma, taludes localizados em outros locais não devem apresentar a mesma intensidade e composição em sua revegetação.

Verificou-se que a ocorrência de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, estimada tanto em número de plantas (Tabela 1; Figura 44), como em biomassa de matéria seca (Tabela 2; Figura 45), por metro quadrado, foi significativamente diferente entre as regiões do talude, sendo que nos dois casos, a região do topo apresentou os maiores resultados.



**Tabela 1 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) no número de plantas de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Região do talude (**)		Tratamentos				Testemunha
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	
Topo média 146,9 A	Máxima	281,4	200,0	214,3	220,0	162,9
	Média	154,6 <i>aA</i>	128,9 <i>aA</i>	158,9 <i>aA</i>	151,4 <i>aA</i>	140,7 <i>aA</i>
	Mínima	95,7	35,7	101,4	110,0	84,3
Rampa média 22,1 B	Máxima	33,9	25,6	32,8	42,2	6,1
	Média	28,6 <i>aB</i>	20,9 <i>aB</i>	23,6 <i>aB</i>	34,8 <i>aB</i>	2,5 <i>aB</i>
	Mínima	23,3	14,4	17,2	19,4	0,0
Média entre tratamentos (*)		91,6 <i>a</i>	74,9 <i>a</i>	91,3 <i>a</i>	93,1 <i>a</i>	71,6 <i>a</i>

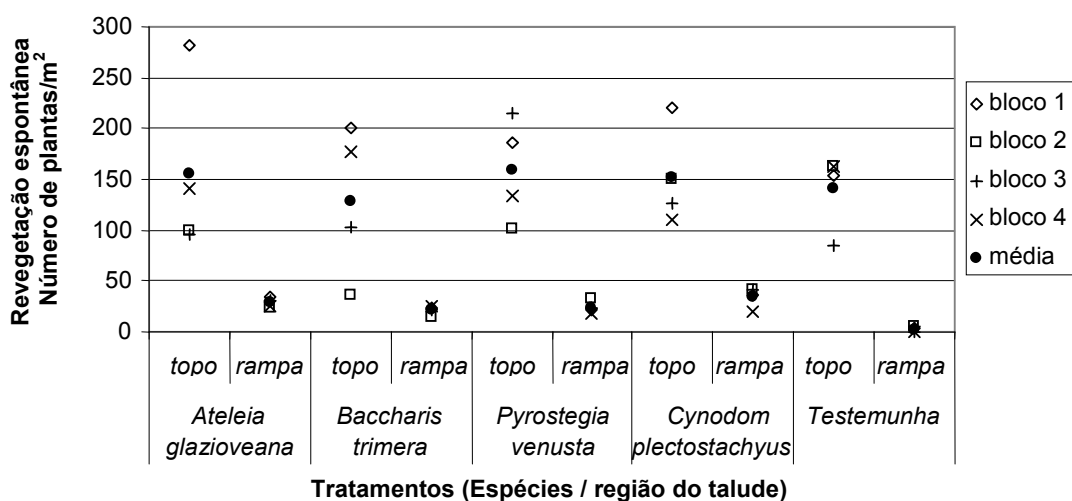
Coeficiente de variação (CV%): 45,21% entre tratamentos; 50,63% entre regiões do talude.

Média seguidas de mesma letra, na coluna (maiúsculo) ou na linha (minúsculo), não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade (em *Itálico*, referentes à interação Tratamentos x Regiões);

Varição devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* Não significativo ao nível de 5% de probabilidade; Interação Espécies x Regiões não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A maior revegetação observada na região do topo do talude deve estar relacionada principalmente à sua topografia plana, o que favorece o estabelecimento das sementes no solo. No caso da região da rampa, as sementes estão sujeitas ao deslocamento direto devido à força gravitacional, que também pode estar associado aos mecanismos de arraste eólico e, principalmente, de escoamento da água na superfície inclinada da rampa.



**Figura 44 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) no número de plantas de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Em regiões planas há também maior exposição à ação direta da chuva por unidade área de superfície de solo. A desagregação do solo, causada pelo impacto das gotas da chuva, e as menores taxas de erosão e arraste superficial do solo desagregado das áreas planas possibilitam um maior contato das sementes no solo e, desta forma, favorecem sua germinação e emergência. O fato da região do topo apresentar melhores condições de fertilidade de solo também deve contribuir para este resultado.

Pode-se observar, ainda, que a biomassa média entre os tratamentos na região do topo (220,7 g/m<sup>2</sup>) foi 8,2 vezes superior à da rampa (26,9g/m<sup>2</sup>) e que houve redução do número de plantas entre estas regiões, na ordem de 6,6 vezes, de 146,9 plantas/m<sup>2</sup> para 22,1 plantas/m<sup>2</sup> (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 2 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) na produção de biomassa de matéria seca de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Região do talude (**)		Tratamentos				Testemunha
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	
Topo (média 220,7 A)	Máxima	307,1	357,1	235,7	264,3	685,7
	Média	185,7 <i>bA</i>	174,9 <i>bA</i>	155,4 <i>bA</i>	176,8 <i>bA</i>	410,7 <i>aA</i>
	Mínima	85,7	21,4	100,0	107,1	214,3
Rampa (média 26,9 B)	Máxima	55,6	41,7	47,2	50,0	22,2
	Média	28,5 <i>aB</i>	24,3 <i>aB</i>	29,1 <i>aA</i>	39,6 <i>aA</i>	13,2 <i>aB</i>
	Mínima	11,1	8,3	11,1	27,8	5,6
Média entre tratamentos (*)		107,1 <i>a</i>	99,6 <i>a</i>	92,2 <i>a</i>	108,2 <i>a</i>	211,9 <i>a</i>

Coefficiente de variação (CV%): 71,95% entre tratamentos; 74,83% entre regiões do talude.

Média seguidas de mesma letra, na coluna (maiúsculo) ou na linha (minúsculo), não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade (em *Itálico*, referentes à interação Tratamentos x Regiões);

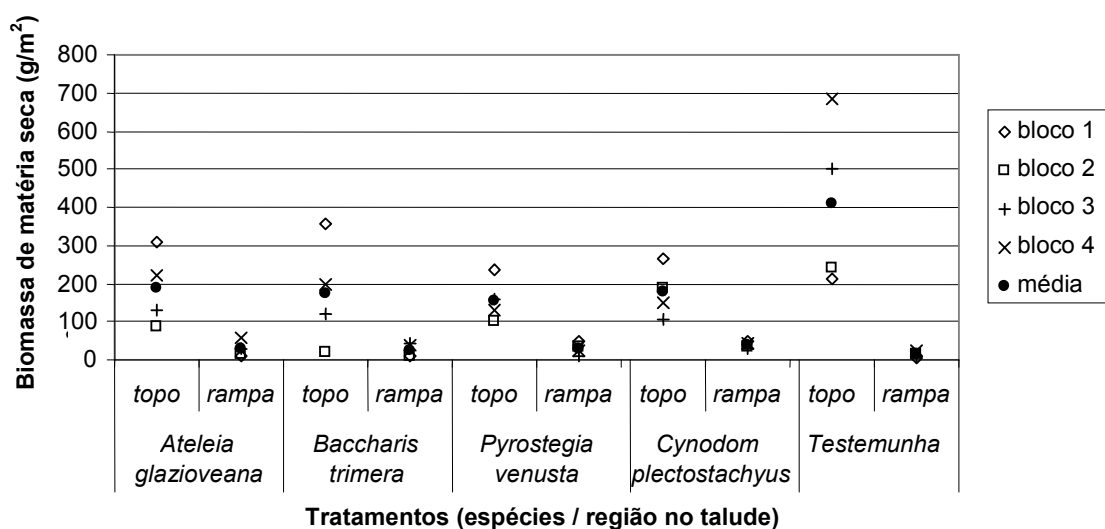
Variação devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; \*\* = Significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Interação Espécies x Regiões significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Esta mesma análise, utilizando os resultados médios do tratamento testemunha, indica um aumento ainda maior, na ordem de 31,1 vezes na média de biomassa da região do topo e de 10,7 vezes na média do número de plantas, em relação à região da rampa. A falta de competição com as espécies plantadas deve

ter permitido às plantas da revegetação manifestarem melhor sua resposta às condições de fertilidade do solo.

O efeito de competição das espécies cultivadas no talude sobre a revegetação espontânea também pode ser observado na Tabela 2 e Figura 45, em que a média de biomassa do tratamento testemunha na região do topo foi significativamente maior que a média de biomassa dos demais tratamentos. Neste caso, a região da rampa apresentou resultados inversos, com menor média de biomassa.



**Figura 45 – Influência dos diferentes tratamentos (espécies) na produção de biomassa de matéria seca de revegetação espontânea aos 180 dias após o plantio, nas regiões do topo e rampa de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

A dificuldade no estabelecimento de revegetação espontânea na região da rampa do talude pode ser observada na Figura 46. Atribui-se a isto, primeiramente à dificuldade da fixação das sementes em superfícies inclinadas, pelo efeito da gravidade. Em um segundo momento, pode haver o arraste destas sementes pelo vento e escoamento de água da chuva.

Respeitadas as condições de fertilidade ao longo do perfil do talude, os resultados obtidos permitem fazer uma correlação com as técnicas de banquetamento utilizadas para a melhoria da estabilidade de taludes (CRAIG, 2005), que também demonstram poder apresentar benefícios à revegetação natural.

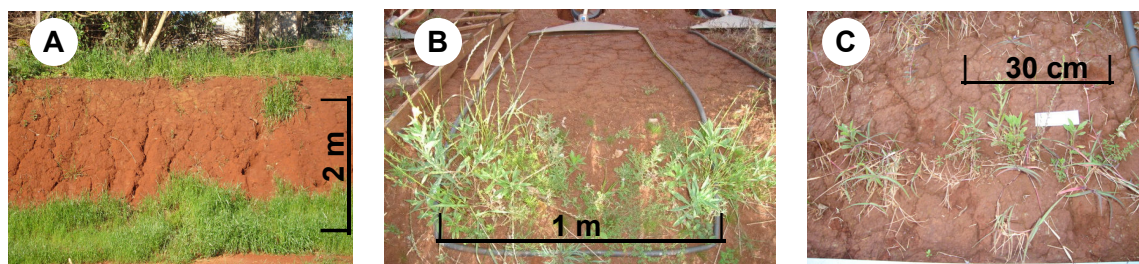


Figura 46 – Revegetação espontânea em talude: *Lolium multiflorum* no topo e junto à base da rampa (A); no topo em parcela testemunha (B); e na região da rampa de parcela com plantio em linha de *Cynodom plectostachyus* (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).

### 4.3 Avaliação do desempenho de espécies no talude experimental

#### 4.3.1 Estabelecimento inicial das espécies

Segundo Monteiro (2009), a sobrevivência é o primeiro parâmetro a ser observado quando se busca identificar espécies com potencial biotécnico. A sobrevivência das quatro espécies eleitas para teste, ao longo do período do estudo, pode ser observada na Tabela 3 e Figura 47.

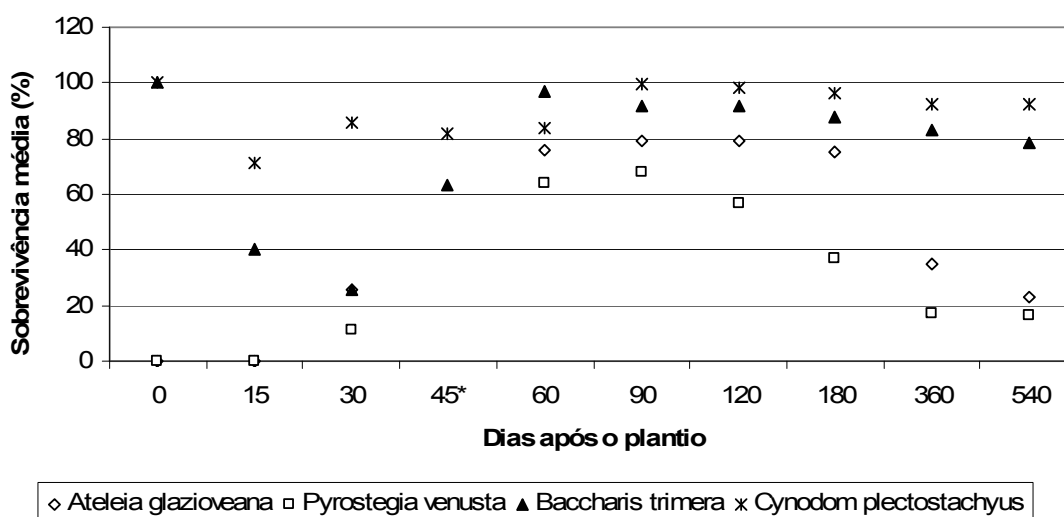
**Tabela 3 – Média do percentual de sobrevivência de diferentes espécies plantadas em talude em latossolo, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

ESPÉCIES		DIAS APÓS O PLANTIO							
		15	30	60	90	120	180	360	540
<i>Ateleia glazioveana</i>	Máxima	0,0	50,0	100,0	100,0	100,0	100,0	60,0	40,0
	Média	0,0 c	26,0 b	76,0 bc	79,0 ab	79,0 b	75,0 b	35,0 b	23,0 b
	Mínima	0,0	0,0	30,0	40,0	50,0	40,0	10,0	0,0
<i>Baccharis trimera</i>	Máxima	90,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Média	40,5 b	26,0 b	97,0 a	91,5 a	91,5 ab	87,5 ab	83,0 a	78,5 a
	Mínima	0,0	0,0	90,0	60,0	70,0	60,0	50,0	50,0
<i>Pyrostegia venusta</i>	Máxima	0,0	30,0	100,0	100,0	90,0	70,0	30,0	30,0
	Média	0,0 c	11,0 b	64,0 c	68,0 b	56,5 c	37,0 c	17,0 c	15,0 b
	Mínima	0,0	0,0	10,0	30,0	10,0	10,0	0,0	0,0
<i>Cynodom plectostachyus</i>	Máxima	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Média	71,0 a	86,0 a	84,0 ab	99,5 a	98,0 a	96,5 a	92,0 a	92,0 a
	Mínima	10,0	50,0	60,0	90,0	80,0	80,0	50,0	50,0
CV (%) entre tratamentos		86,9	72,1	21,6	25,2	20,3	22,2	22,7	27,0

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

Verifica-se que *Cynodom plectostachyus* e *Baccharis trimera*, propagadas por mudas, obtiveram um melhor percentual médio de sobrevivência (92,0% e 78,5%, respectivamente), significativamente superior pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade, em comparação à *Ateleia glazioveana* e *Pyrostegia venusta*, propagadas por estacas e que apresentaram 23,0% e 15,0% de sobrevivência, respectivamente.

Apesar do replantio realizado 45 dias após a instalação do experimento, quando *A. glazioveana* e *P. venusta* ainda não haviam iniciado a brotação, os índices de sobrevivência de *C. plectostachyus* e *B. trimera* foram superiores. Muitas mudas que haviam secado após o plantio e replantio, tendo sido consideradas mortas, principalmente no caso de *Cynodom plectostachyus*, rebrotaram, o que explica as oscilações iniciais, vistas na Tabela 3 e Figura 47.

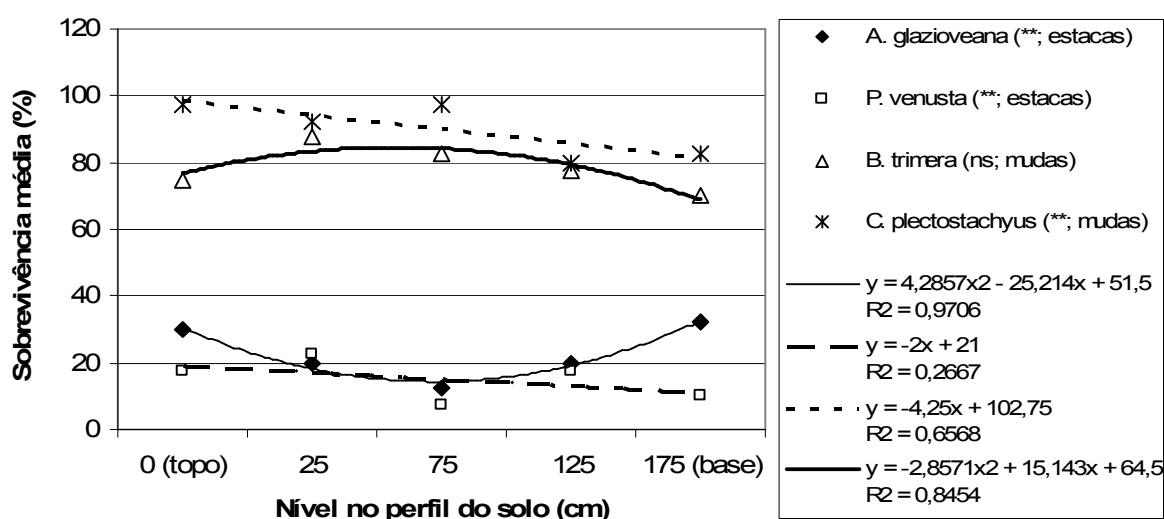


**Figura 47 – Média do percentual de sobrevivência de diferentes espécies plantadas em talude em latossolo, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

As condições edafoclimáticas desfavoráveis durante o período de plantio das mudas e estacas foram oportunas para observar a rusticidade destas espécies. No caso de *Cynodom plectostachyus*, o desempenho em sobrevivência obtido em talude confirma as características de rusticidade, persistência e vigor desta espécie, conforme relatado por Lorenzi (2008) e Pereira (2006). Neste sentido, no caso de *Baccharis trimera*, pode-se destacar ainda o manejo das mudas, submetidas à poda das raízes, limitadas a 10 cm de comprimento para evitar o seu enovelamento e a

formação de espaços com ar no interior das covas. Como não houve redução de sua parte aérea dificultou-se, desta forma, ainda mais as condições para o efetivo pegamento das plantas, haja vista o desequilíbrio entre os órgãos de absorção (raízes) e evapotranspiração de água (folhas).

Os percentuais médios de sobrevivência das espécies estudadas, obtidos em diferentes níveis do solo ao longo do perfil da rampa do talude, ratificam a rusticidade de *Baccharis trimera*, que apresentou 17,5% de coeficiente de variação, sendo a única a não apresentar diferença significativa na análise de regressão, ao nível de 5% de probabilidade (Figura 48).



\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 48 – Média do percentual de sobrevivência de *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus*, em diferentes níveis no perfil do talude, aos 540 dias após o plantio, Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

De acordo com os resultados apresentados na Figura 48, as outras espécies mostraram-se mais sensíveis às mudanças ao longo do perfil do talude, havendo diferença significativa de sobrevivência, ao nível de 1% de probabilidade, entre os perfis, para as três espécies. Neste caso, *A. glazioveana* (coeficiente de variação (CV) de 39,09% e um coeficiente de correlação (R) de 0,98) e *P. venusta* (CV=74% e R=0,51) apresentaram os piores desempenhos<sup>8</sup>, principalmente nos níveis

<sup>8</sup> A análise conjunta entre estas espécies fica prejudicada devido aos elevados coeficientes de variação (74%) na sobrevivência de estacas de *P. venusta*.

intermediários do perfil do talude. Isto pode ser explicado pela interação da fertilidade e teor de umidade do solo, que são menores nesta região do talude.

O desempenho de *C. plectostachyus* (CV=11,87% e R=0,88) não apresentou este mesmo padrão de comportamento ao longo do perfil do solo, provavelmente devido ao método de propagação por mudas. Esta espécie, que foi a melhor no quesito, demonstrou uma tendência de redução na sobrevivência ao longo do perfil, relacionado às piores condições de fertilidade.

Considerando-se a possibilidade de taludes com maior comprimento de rampa e/ou em outras classes de solo com maiores diferenças entre os diferentes níveis no perfil, há de se esperar respostas mais significativas nos resultados apresentados, para todas as espécies.

#### 4.3.1.1 *Ateleia glazioveana*

Apesar do elevado índice de brotação inicial das estacas de *A. glazioveana*, que chegou a 79,0% aos 120 dias após o plantio, houve redução no percentual de sobrevivência devido à falta de enraizamento, ocorrendo a morte dos explantes após a exaustão de suas reservas. Os resultados obtidos confirmam Da Silva (2007), que considera *A. glazioveana* como uma espécie de difícil enraizamento, indiferentemente da estação do ano.

Em estudo utilizando estacas de brotações de copas de árvores adultas e de cepas de árvores de diferentes idades, em dois substratos, nas quatro estações do ano, em casa-de-vegetação, Da Silva (2007) obteve taxas de enraizamento nulas. Um melhor enraizamento, próximo a 50%, foi obtido pela autora utilizando estacas com 30 cm de comprimento, obtidas de partes basais de brotações de cepas mais velhas, com aplicação de 2.500 e 5.000 mg de ácido-indol-butírico (AIB) em solução, plantadas diretamente no campo.

Segundo Carvalho (2002), mudas de *A. glazioveana* com doze meses de idade apresentaram intensa nodulação espontânea no viveiro da Embrapa Florestas, em solo contendo *Rhizobium* de bracatinga (*Mimosa scabrella*). Neste caso, considerando a facilidade da produção de mudas através de sementes, que apresentam alto poder germinativo, com média de 80% de acordo com o autor, acredita-se que a utilização de mudas seja uma boa alternativa para a implantação desta espécie em taludes.

#### 4.3.1.2 *Pyrostegia venusta*

No caso de *P. venusta*, os resultados obtidos estão de acordo com os do estudo de Macanhão et al. (2003), que obteve 17,7% de enraizamento e 43,7% de sobrevivência com estaca de 10cm de comprimento, 60 dias após o plantio, cultivadas no outono em condições de casa de vegetação. Considerando o maior período de permanência do experimento em talude, bem como as piores condições de cultivo, obteve-se 15% de sobrevivência aos 540 dias após o plantio, o resultado pode ser considerado satisfatório.

Como o melhor resultado encontrado por Macanhão et al. (2003) foi 62,5% de enraizamento, obtido com estacas tratadas com 4000 mg.L<sup>-1</sup> de AIB e cultivadas no inverno, acredita-se ser possível melhorar o desempenho da sobrevivência de *P. venusta* quando cultivada em talude, com a adoção destas práticas.

Apesar de diversos autores preconizarem o emprego de estacas para a propagação das espécies utilizadas em engenharia natural, nas condições em que este estudo a campo foi realizado, acredita-se que o emprego de mudas seja uma prática que deva ser considerada e que favoreça o índice de sobrevivência das espécies de *Ateleia glazioveana* e *Pyrostegia venusta*. Neste sentido, o desenvolvimento inicial destas espécies deve ser favorecido.

A temperatura do solo do talude (Figura 41) sem vegetação arbórea à montante, ultrapassa 25° C a partir das 10 horas da manhã, e na região da rampa após as 11 horas, estendendo-se em ambos durante todo o restante do dia. Considerando a influência da exposição do talude (Quadro 4), as temperaturas podem atingir níveis mais elevados ainda. Verifica-se, portanto, que as condições de temperatura em taludes podem atingir níveis superiores aos preconizados por Kampf (2000) como ideais para o enraizamento de estacas da maioria das espécies.

No caso da região de Cruz Alta-RS, as estações de temperaturas mais amenas, como o outono e primavera, podem resultar em melhores condições de temperatura, favorecendo o para o enraizamento de estacas. Durante o inverno, nesta região, as temperaturas muito baixas também podem dificultar o desenvolvimento do sistema radicular em estacas. Deve-se ainda considerar, a adaptação e rusticidade da espécie a ser propagada por estaquia e demais aspectos de sua ecofisiologia relacionados ao enraizamento de estacas.



#### 4.3.1.3 *Baccharis trimera*

Estudos de Bona et al. (2005) sobre o efeito de diferentes partes do ramo e substratos na estaquia de *Baccharis trimera* não mostraram diferença significativa na porcentagem de enraizamento, com médias entre 88,3% e 96,6%, havendo melhor brotação nas estacas de ramos basais, com média de 88,3% em relação às apicais, com 54,9%. Entre os diferentes substratos não houve diferença significativa, sendo obtidos valores médios entre 79,1 e 69,9% no percentual de enraizamento e entre 83,3 e 59,9% de brotação, sendo os níveis mais baixos para as estacas cultivadas em solo, o que demonstra a capacidade de adaptação às diferentes condições físicas e químicas do substrato.

Considerando os resultados obtidos por Bona et al. (2005), utilizando condições de umidade e temperatura controladas em níveis ideais para a propagação por estaquia, observa-se que o método de propagação por divisão de touceira utilizado apresentou percentuais médios de sobrevivência até maiores, quando comparados à estaquia em solo. Neste caso, a estratégia de propagação utilizada mostrou-se adequada, haja vista o percentual médio de sobrevivência de 78,5%, que dificilmente seria obtido com a utilização de estacas nas condições de plantio a campo no talude.

Devido às severas condições de plantio deste experimento em talude, com mudas de raiz nua obtidas por divisão de touceiras, técnica trabalhosa e que acarreta maiores extresses à planta, acredita-se que a utilização de mudas em recipientes como os desenvolvidos por Disarz (2011) pode ser uma alternativa que deve melhorar os índices de sobrevivência e desenvolvimento de *Baccharis trimera*, principalmente nos níveis mais baixos no perfil do talude. Neste último caso, a fertilização da cova de plantio também deve apresentar boa resposta.

Segundo Bona et al. (2005), a carqueja apresenta dificuldades para a produção de mudas via sementes devido a fatores como: o lento crescimento inicial, o tamanho reduzido das sementes e a trabalhosa coleta e semeadura. Entretanto, observou-se abundante revegetação espontânea de *Baccharis trimera* no topo e na rampa do talude, na área das parcelas e proximidades. Considera-se esta característica de dispersão bastante interessante, pois abre perspectivas de sua utilização em técnicas de núcleos de dispersão.

#### 4.3.1.4 *Cynodom plectostachyus*

Os percentuais médios de sobrevivência de mudas de *C. plectostachyus* estão de acordo com Pereira (2006), que considera esta espécie como indicada para uso na recuperação de áreas degradadas e de reconhecido vigor. Neste caso, sua escolha como espécie de comparação pode ser considerada adequada para o experimento. Apesar do elevado percentual apresentado, acredita-se que sua sobrevivência poderia ser maior ainda, caso o plantio ocorresse em épocas mais adequadas. Neste sentido, a utilização de mudas de raiz nua provavelmente também contribuiu para que os índices de sobrevivência não fossem maiores. Entretanto, para esta espécie, a utilização de mudas produzidas em recipientes deve ser ponderada com a relação custo benefício, já que os resultados de sobrevivência obtidos podem ser considerados elevados e plenamente satisfatórios.

A redução significativa dos percentuais de sobrevivência de *C. plectostachyus* ao longo do perfil do talude também está de acordo com Pereira (2006), que indica esta espécie para solos de alta fertilidade. Considerando que a média de sobrevivência mínima foi de 80% em qualquer posição do talude, este fator parece não ser limitante. Entretanto, conforme será discutido posteriormente, isto parece comprometer seriamente o desenvolvimento das mudas.

#### 4.3.2 Desenvolvimento da parte aérea

Os resultados desta seção estão apresentados e discutidos inicialmente de forma individual, em virtude das diferenças morfológicas e de hábitos de crescimento entre as espécies em estudo. As análises comparativas também estão condicionadas às diferenças de ciclo e ritmos de crescimento entre as espécies.

##### 4.3.2.1 *Ateleia glazioveana*

###### 4.3.2.1.1 Altura média de plantas

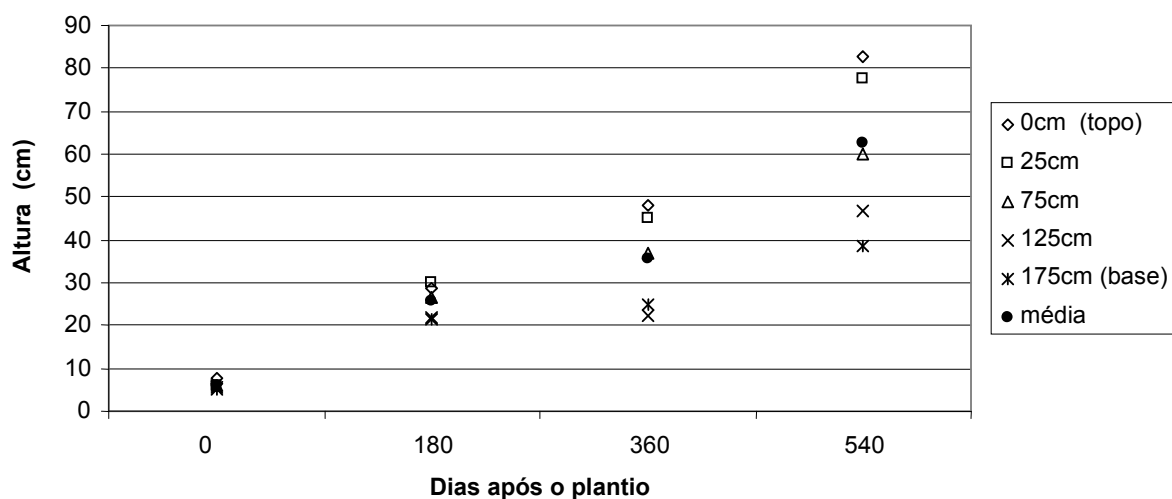
De acordo com o desenvolvimento em altura de *A. glazioveana* cultivadas em talude, observou-se que esta espécie respondeu às melhores condições de fertilidade ocorrentes nos níveis superiores do talude (Tabela 4 e Figura 49).

**Tabela 4 – Altura média de plantas de *Ateleia glazioveana* em diferentes dias após plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo, no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Nível no perfil do talude		Dias após o plantio		
		180 (ns)	360 (*)	540 (**)
0 cm	Máxima	10,6	61,3	94,0
	Média	7,7 a	48,0 a	82,6 a
	Mínima	5,5	37,3	75,7
25 cm	Máxima	7,3	66,5	98,0
	Média	5,8 a	45,0 a	77,6 a
	Mínima	4,3	28,5	54,5
75 cm	Máxima	10,0	53,0	72,5
	Média	5,8 a	36,8 a	60,1 ab
	Mínima	4,2	17,5	40,0
125 cm	Máxima	8,3	31,0	57,7
	Média	5,6 a	22,1 a	46,4 b
	Mínima	3,6	10,0	44,0
175 cm	Máxima	5,5	28,0	45,0
	Média	5,2 a	24,9 a	40,3 b
	Mínima	5,1	22,7	36,7
CV (%) entre subparcelas		26,3	34,3	20,8

Média seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % (\*) ou 1% (\*\*) de probabilidade;

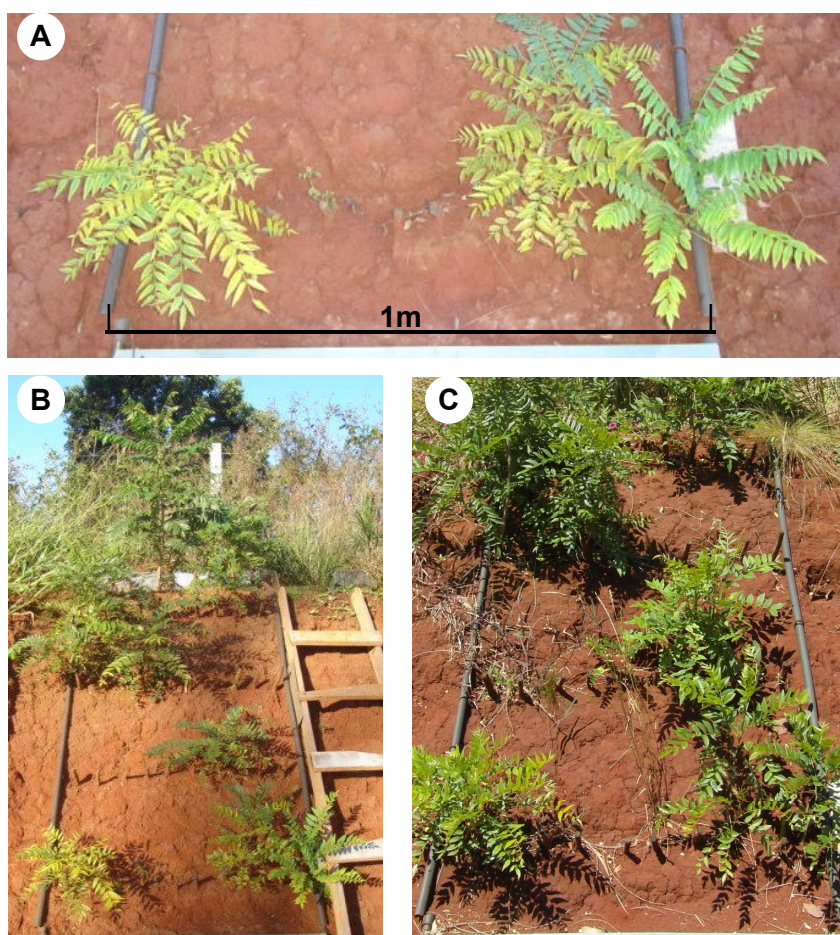
ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 49 – Altura média de plantas de *Ateleia glazioveana* em diferentes dias após plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo, no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Outro aspecto que elucida e ajuda a explicar o melhor desenvolvimento de *A. glazioveana* nos níveis mais férteis do talude foi a coloração amarelada do limbo foliar das plantas dos níveis inferiores do talude (Figura 50), principalmente nos blocos 1 e 2, de menor fertilidade. Este sintoma de amarelecimento é típico da

carência de nitrogênio na planta e ocorreu de forma mais intensa nos primeiros meses de desenvolvimento. No decorrer do tempo, a coloração das folhas destas plantas mudou gradativamente para tonalidades verdes mais intensas. Apesar de poder estar relacionado Como as plantas localizadas nos níveis de melhor fertilidade não apresentaram este sintoma, o mesmo não deve estar relacionado à fotoinibição da fotossíntese (ARAÚJO; DOMINICIS, 2009).



**Figura 50. Desenvolvimento de *Ateleia glazioveana* em talude: aos 360 dias após o plantio (A), e no detalhe (B) com plantas do nível inferior, com sinais de clorose devido à deficiência nutricional; aos 540 dias após o plantio (C), com redução do amarelecimento das plantas do nível inferior. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

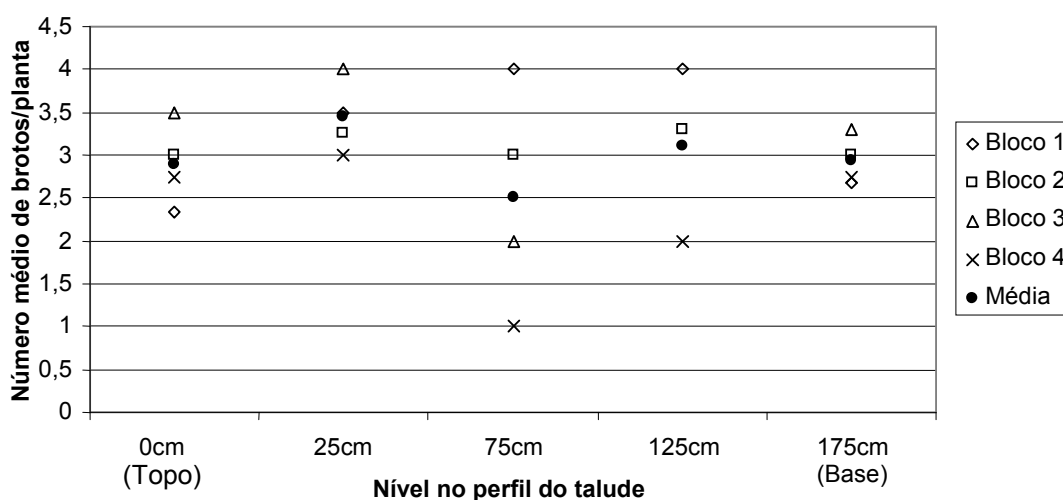
Como *A. glazioveana* é uma planta da família Fabácea, este fato possivelmente está relacionado ao estabelecimento da microbiota nestes níveis menos férteis do solo junto ao sistema radicular. Isto sugere que a inoculação do substrato de mudas e/ou do leito de plantio de estacas, ou a utilização de solo de

cultivo de *A. glazioveana* contendo esta microbiota específica, podem ser técnicas que favoreçam o desenvolvimento neste estágio inicial que, via-de-regra, é o mais crítico para as espécies.

A recuperação na tonalidade das folhas, associada ao crescimento constante das plantas (mesmo em taxas menores em alguns níveis do perfil do talude) demonstram a rusticidade de *A. glazioveana* e confirmam o seu bom potencial de desenvolvimento em áreas de baixa fertilidade.

#### 4.3.2.1.2 Número médio de brotos por planta

Das estacas de *A. glazioveana* efetivamente pegas aos 540 dias após o plantio, houve a brotação média de 2,9 brotos por planta, oscilando entre 1 e 4 brotos por estaca, nas parcelas conforme pode ser observado na Figura 51.



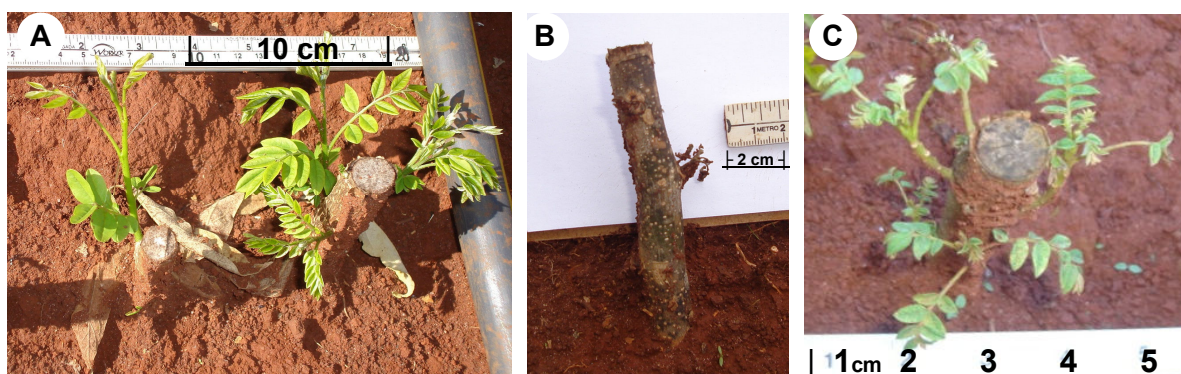
Número médio de brotos por planta	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	0 cm (Topo)	25 cm	75 cm	125 cm	175 cm (Base)
Máximo	3,5	4,0	4,0	3,1	4,0
Médio	2,9 a	3,3 a	2,6 a	2,8 a	2,9 a
Mínimo	2,3	3,0	2,0	2,8	2,2

Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; Coeficiente de variação = 25,6%.

**Figura 51 – Número médio de brotos por planta de *Ateleia glazioveana* aos 540 dias após o plantio, em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo, no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Em relação ao número médio de brotos por planta, os resultados mostraram não haver diferença significativa entre os diferentes níveis no perfil do talude. Entretanto, pode-se observar uma tendência de resposta semelhante à da média de sobrevivência de estacas (Figura 48), onde as plantas das parcelas do nível intermediário do talude obtiveram, em média, o pior desempenho. Isto possivelmente está associado ao fato desta porção do talude, localizada a 75 cm abaixo da crista, apresentar baixos níveis de fertilidade e ainda com menores teores de umidade que as partes mais inferiores da rampa.

A Figura 52 apresenta imagens da brotação inicial de estacas de *A. glazioveana*, de brotos mortos e de brotos sem vigor.

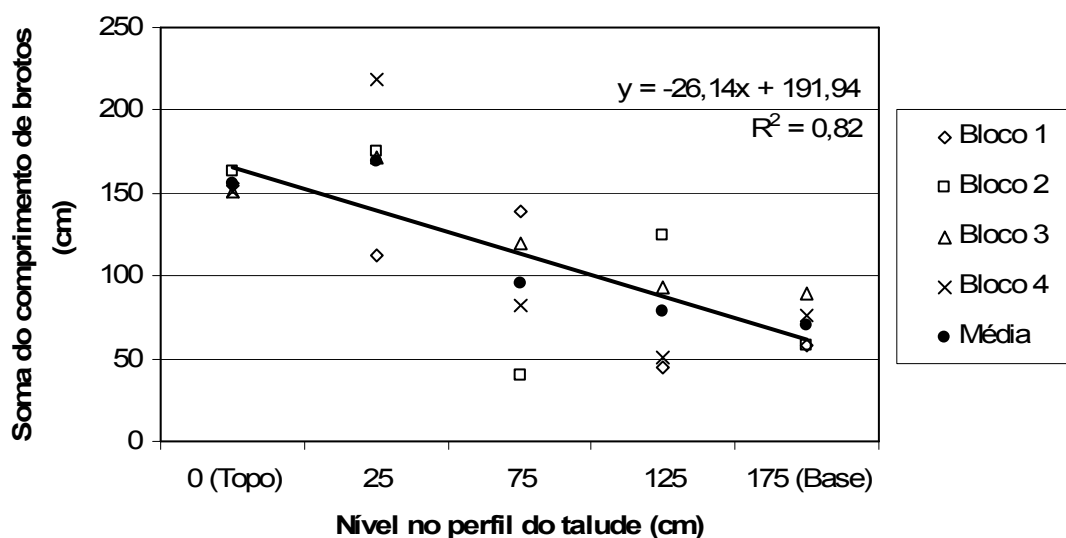


**Figura 52 – Brotação em estacas de *Ateleia glazioveana*: aos 60 dias após o plantio (A); seca, em estaca morta (B); e sem vigor, aos 360 dias após o plantio (C). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Os brotos sem vigor chegaram a persistir por um período de sobrevida de até pouco mais de um ano após o plantio. Isto deve estar relacionado ao não enraizamento das estacas, cujos brotos morreram somente após o esgotamento das suas reservas nutricionais. O longo período de sobrevida das estacas desta espécie, alerta para o fato de que estudos sobre o pegamento de estacas a campo, em que as estacas não são retiradas do solo, devem ser realizados por um período no mínimo igual ao da sobrevida das estacas para a espécie, sob o risco de superestimar falsos resultados. Neste caso, além do desenvolvimento da brotação aérea, a avaliação do sistema radicular e do desenvolvimento das raízes, torna-se aconselhável.

## 4.3.2.1.3 Somatório do comprimento de brotos por planta

Os resultados das médias do somatório do comprimento dos brotos aos 540 dias após o plantio (Figura 53) também demonstram significativamente o maior desenvolvimento inicial das plantas de *A. glazioveana* cultivadas nos níveis superiores do solo, próximos a região do topo do talude. Este fato, possivelmente está relacionado às melhores condições de fertilidade do solo.



Somatório do comprimento médio dos brotos por planta	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	Topo 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	Base 175 cm
Máximo	163,0	218,0	138,5	123,8	89,3
Médio	155,0 ab	168,9a	95,0 abc	77,9 bc	70,3 c
Mínimo	150,5	112,0	39,5	44,5	57,7

CV(%) = 31,28; Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

**Figura 53 – Somatório do comprimento de brotos por planta de *Ateleia glazioveana*, aos 540 dias após plantio, em diferentes níveis no perfil de talude em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

De acordo com os parâmetros avaliados ratifica-se que apesar da rusticidade desta espécie, a utilização de técnicas que melhorem a fertilidade do solo pode resultar em benefícios consideráveis no seu desenvolvimento inicial, reduzindo desta forma o período inicial de maior fragilidade das mudas à campo. O desenvolvimento inicial mais rápido também resulta em antecipação dos efeitos desejados em talude, sejam ao nível de estabilização (pelo sistema radicular), como de proteção da

superfície do solo, o que provavelmente auxilia na manutenção da umidade e temperatura a níveis mais apropriados.

#### 4.3.2.2 *Pyrostegia venusta*

O desenvolvimento vegetativo de *P. venusta*, neste experimento, apresentou elevado coeficiente de variação, tanto do número de brotos por planta (63,4%), como do somatório do comprimento dos brotos (74,3%). Um fator que demonstrou visivelmente ter contribuído para a amplitude desta variação foi o hábito heliófito da espécie. Observou-se que as plantas de *P. venusta* das subparcelas do bloco 4, que estava sob a copa da arborização à montante apresentaram nitidamente menor desenvolvimento aéreo, principalmente nas subparcelas dos níveis superiores, onde o sombreamento foi mais intenso, apesar da maior fertilidade do solo.

##### 4.3.2.2.1 Número de brotos por planta

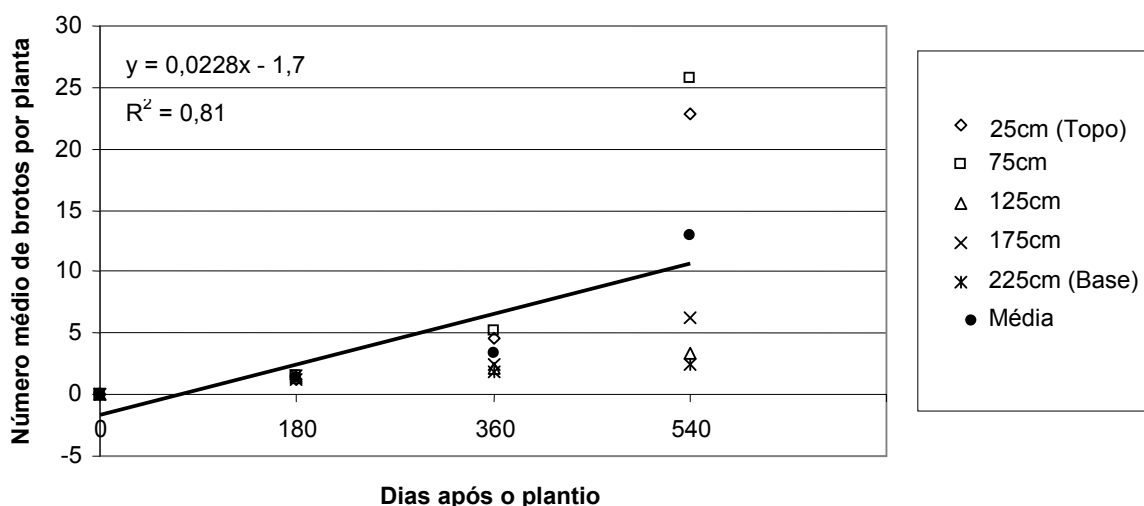
O número médio de brotos por planta entre os diferentes níveis do solo no talude apresentou diferença significativa, apesar do alto coeficiente de variação (63,4%). Este resultado deve-se possivelmente às diferentes condições de fertilidade. A brotação inicial de *Pyrostegia venusta* e do número médio de brotos podem ser observados nas Figuras 54 e 55.



Figura 54 – Brotação inicial de estacas de *Pyrostegia venusta*. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).



Em termos absolutos, o maior número de brotos obtidos, em comparação com *A. glazioveana*, deve-se ao hábito da espécie, onde após a brotação inicial<sup>9</sup> (de 1ª ordem), há emissão de nova brotação (de 2ª ordem), e assim sucessivamente, o que resulta no crescimento geométrico deste parâmetro ao longo do tempo, principalmente nos níveis mais férteis.



Número médio de brotos por planta	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	(Topo) 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	(Base) 175 cm
Máximo	37,0	70,0	4,0	9,5	4,0
Médio	17,2 a	25,8 ab	2,6 ab	4,6 ab	1,2 b
Mínimo	8,3	4,0	2,0	2,0	1,0

Coeficiente de variação: CV = 63,4%; Dados transformados em  $\sqrt{(x+k)/2}$  com  $k=0,1$ ;

Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

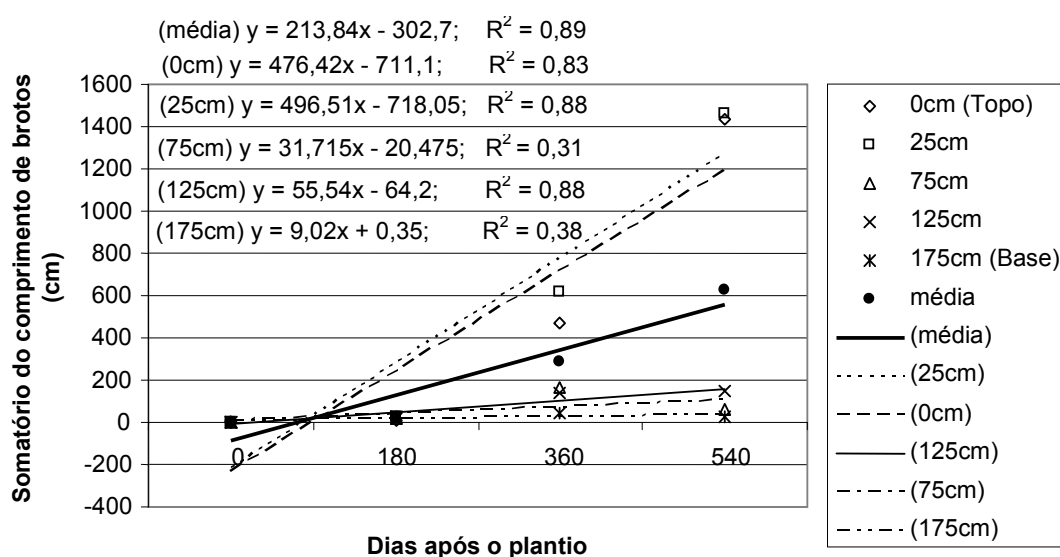
**Figura 55 – Número médio de brotos por planta de *Pyrostegia venusta*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Observou-se ainda, que brotos jovens, pouco suberificados, foram mortos pela ocorrência de geadas. Entretanto, houve nova brotação em substituição. As plantas, principalmente as de menor desenvolvimento, apresentaram desfolha parcial, no período de inverno e quando da ocorrência de estiagens, retomando a brotação, após estes períodos.

<sup>9</sup> No caso de *Pyrostegia venusta*, a brotação de 1ª ordem ocorreu, inicialmente, apenas nas duas gemas axilares opostas existentes na parte superior das estacas. No final do período de avaliação

## 4.3.2.2.2 Somatório do comprimento de brotos por planta

Apesar do resultado do somatório do comprimento médio de brotos por planta (Figura 56) não apresentar diferença estatística, pelo alto coeficiente de variação (74%), o mesmo confirma a tendência de *P. venusta* em apresentar melhor desenvolvimento nos níveis de maior fertilidade.



		Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
		(Topo) 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	(Base) 175 cm
Σ do comprimento médio de brotos	Máximo	3260,0	3899,0	105,0	283,5	73,0
	Médio	1435,0 a	1457,9 a	56,7 a	145,9 a	22,5 a
	Mínimo	347,7	75,8	30,0	24,3	17,0

Análise regressão: Significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Variação entre blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade; Coeficiente de variação = 74%; Dados transformados em  $\sqrt{(x+k)/2}$  com  $k=1$ .

**Figura 56 – Somatório do comprimento médio de brotos por planta de *Pyrostegia venusta*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Os níveis superiores do talude também apresentaram incrementos crescentes deste parâmetro durante o período. Isto demonstra a adaptação de *P. venusta* às condições de fertilidade, umidade e temperatura da região da crista do talude (Figura 56). Entretanto, esta espécie não mostrou a mesma capacidade de desenvolvimento

(aos 540 dias) foram encontradas de 1 a 7 brotações de 1ª ordem e, no máximo, brotos de 4ª ordem.

nos níveis inferiores da rampa, de menor fertilidade. Nestas condições de baixa fertilidade, nos níveis inferiores a 75cm abaixo da crista do talude, o crescimento vegetativo foi muito limitado. Isto demonstra que *P. venusta* pode não adaptar-se a estes níveis de baixa fertilidade, o que de certa forma impõe limites à afirmação de Macanhão et al. (2003), quanto à esta espécie adaptar-se bem a estes tipos de terrenos.

Quanto ao hábito de crescimento, verificou-se forte tropismo ascendente, mesmo em brotações iniciais direcionadas em sentido descendente da rampa, ou em ramos curvados nesta direção pela ação da gravidade. Algumas plantas, de melhor desenvolvimento, chegaram a estender-se por mais de dois metros sobre o terreno, até mesmo suspensas sobre plantas de *A. glazioveana*, *B. trimera* e *C. plectostachyus* de parcelas vizinhas. Desconsiderando as mudanças de direção ocorrentes, estes ramos chegariam a mais de três metros de extensão.

O hábito e o potencial de crescimento de *P. venusta* sobre a rampa do talude, demonstram uma característica bastante interessante, principalmente no caso de taludes de grandes dimensões, onde há difícil acesso a certas regiões da rampa. Neste caso, a utilização de técnicas de plantio em núcleos ou faixas de revegetação junto à saia do talude, ou em banquetas, facilita as operações de preparo do solo e de plantio, pelo melhor acesso destes locais, o que resultaria em significativa economia de tempo e recursos nestas operações.

#### 4.3.2.3 *Baccharis trimera*

##### 4.3.2.3.1 Comprimento médio de plantas

O desenvolvimento vegetativo de *B. trimera*, no talude experimental, em comparação com a altura média da espécie, na faixa entre 0,50 e 80 cm (LORENZI, 2008), manteve-se dentro da normalidade, se considerado o fato deste parâmetro referir-se ao comprimento e não à altura do maior ramo em relação ao nível do solo.

Em termos de comprimento médio de plantas, pode-se observar que esta espécie apresentou diferença significativa entre os diferentes níveis do talude (Tabela 5; Figura 57). Os níveis superiores do talude ficaram próximos ao comprimento máximo para a espécie, que é de 1 metro, de acordo com BRASIL (2010). Os valores máximos obtidos nas subparcelas superam esta referência nos

quatro níveis superiores. Isto provavelmente está atrelado a ausência de competição com outras espécies. Estes resultados confirmam o potencial de crescimento, a resistência e adaptação desta espécie como relatado por Vieira (2011).

**Tabela 5 – Comprimento médio de plantas de *Baccharis trimera*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

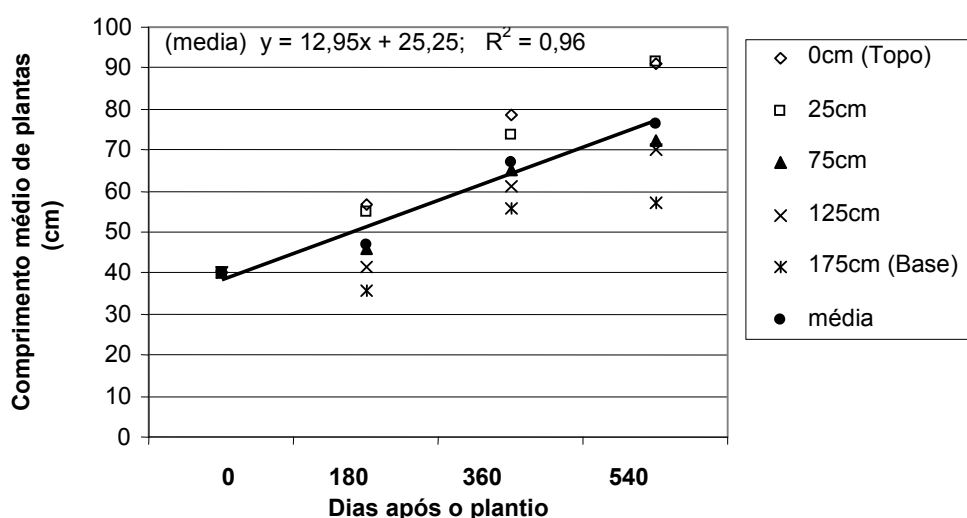
Nível no perfil do talude		Dias após o plantio		
		180 (**; <sup>1</sup> )	360 (**; <sup>1</sup> )	540 (*; <sup>1</sup> )
0 cm (Topo)	Máximo	63,5	92,6	107,8
	Médio	56,7 a A	78,6 a A	91,1 a
	Mínimo	49,8	64,4	79,1
25 cm	Máximo	62,4	88,9	106,8
	Médio	54,8 a AB	73,7 ab AB	91,7 a
	Mínimo	43,9	61,5	70,2
75 cm	Máximo	59,0	85,7	109,4
	Médio	45,9 ab BC	65,4 abc BC	72,2 ab
	Mínimo	33,1	46,7	45,4
125 cm	Máximo	55,5	83,0	105,7
	Médio	41,7 b CD	61,1 bc C	69,9 ab
	Mínimo	31,0	40,9	40,8
175 cm (Base)	Máximo	49,4	71,2	83,7
	Médio	35,85 b D	55,9 c C	57,3 b
	Mínimo	22,1	41,1	30,1
CV(%) entre subparcelas		9,25	7,50	19,20

Média seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% (minúsculas) e/ou 5% (maiúsculas) de probabilidade;

<sup>1</sup> = Variação entre blocos significativa ao nível de 1% de probabilidade;

\*\* = Variação entre tratamentos significativa ao nível de 1% de probabilidade;

\* = Variação entre tratamentos significativa ao nível de 5% de probabilidade.

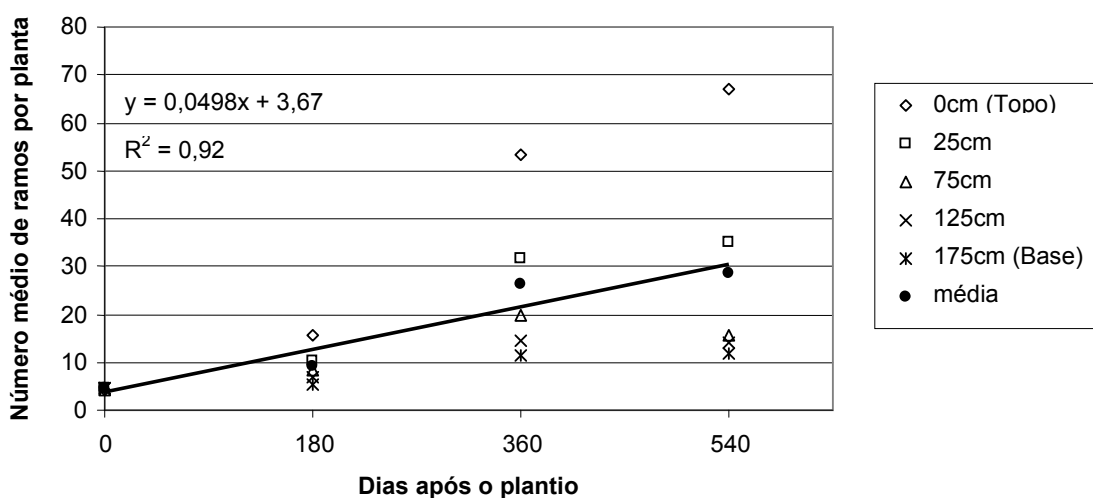


**Figura 57 – Comprimento médio de plantas de *Baccharis trimera*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil.**

A rusticidade de *B. trimera* também pode ser observada no menor comprimento médio das plantas (57,3 cm, aos 540 dias após o plantio), obtido nas parcelas dos níveis inferiores da rampa. Embora este valor esteja dentro da faixa média de altura para espécie (LORENZI, 2008), há potencial de resposta positiva a melhores condições de fertilidade durante o cultivo.

#### 4.3.2.3.2 Número médio de ramos por planta

O comportamento de *B. trimera* em termos de número médio de ramos por planta (Figura 58) apresentou diferença significativa entre os diferentes níveis do perfil do solo. Embora não tenha sido encontrado referencial em pesquisa, este parâmetro foi bastante pertinente e demonstrou maiores diferenças entre os níveis no perfil do solo, embora seja influenciado por aspectos fenológicos da espécie.



Número médio de ramos aos 540 dias	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	(Topo) 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	(Base) 175 cm
Máximo	110,2	54,2	28,3	14,4	14,6
Médio	66,9 a A	35,0 ab AB	15,7 b BC	14,1 b BC	11,7 b C
Mínimo	36,6	21,0	5,1	7,3	5,1

Varição entre blocos significativa ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ); CV(%) = 19,46; Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade (maiúscula) e de 1% de probabilidade (minúscula);

**Figura 58 – Número médio de ramos por planta de *Baccharis trimera*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

O fato do plantio das mudas de carqueja ser realizado no outono e coincidir com o início da floração, influenciou negativamente no desenvolvimento vegetativo inicial das plantas. Diferentemente de *Ateleia glazioveana* e *Pyrostegia venusta*, espécies de maior período juvenil, *Baccharis trimera* apresentou dois estágios reprodutivos nos primeiros 540 dias após o plantio. Neste caso, deve-se considerar que houve certa redução no número de ramos após este período, haja vista que muitos ramos reprodutivos morreram após a frutificação e durante o inverno, havendo nova rebrota na primavera. Relacionado com estes aspectos, os níveis de menor fertilidade parecem ter demonstrado seu máximo potencial de desenvolvimento, principalmente quanto ao número de ramos por planta, conforme pode ser observado na Figura 58.

Verificou-se a ocorrência de revegetação espontânea de *B. trimera*, originadas das sementes dispersas na área do experimento e entorno. A emergência destas plantas iniciou ainda no inverno, em pequeno número após o plantio, mas em número maior após o segundo ciclo, quando a floração foi bem mais intensa. Embora não tenham sido computadas, estas plantas deverão influenciar positivamente o desempenho desta espécie após o seu desenvolvimento vegetativo. Este mecanismo é muito importante no sentido de garantir a permanência desta espécie após a morte das “plantas-mãe”.

#### 4.3.2.4 *Cynodom plectostachyus*

##### 4.3.2.4.1 Altura média do relvado de plantas

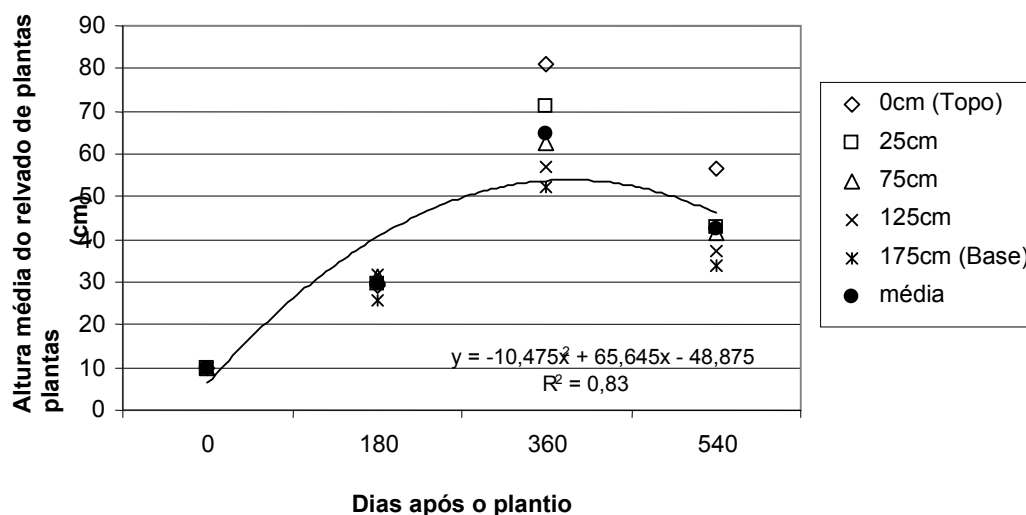
O crescimento de *Cynodom plectostachyus* em altura, observado no experimento, está de acordo com a média da espécie, que segundo Lorenzi (2008), é de 40 a 80 cm. Esta altura corresponde à distância vertical entre a superfície do solo na linha de plantio, e a extremidade dos brotos. Conforme os resultados, houve diferença significativa no crescimento em altura de plantas de *Cynodom plectostachyus* entre os diferentes níveis do perfil do talude (Tabela 6; Figura 59). O maior crescimento em altura, obtido nos níveis de maior fertilidade do solo, demonstra a resposta desta espécie à fertilidade, de acordo com Pereira (2006), que indica *C. plectostachyus* para uso em solos férteis.

**Tabela 6 – Altura média do relvado de plantas de *Cynodom plectostachyus*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Nível no perfil do talude		Dias após o plantio		
		180 (ns; <sup>1</sup> )	360 (**; <sup>2</sup> )	540 (*)
0 cm (Topo)	Máxima	43,7	96,0	62,3
	Média	29,2 a	81,2 a	56,7 a
	Mínima	19,4	72,0	53,7
25 cm	Máxima	46,3	86,0	52,3
	Média	29,4 a	71,3 ab	42,6 ab
	Mínima	17,8	55,3	34,3
75 cm	Máxima	41,6	81,3	52,3
	Média	31,2 a	62,7 ab	41,6 ab
	Mínima	23,2	53,3	32,0
125 cm	Máxima	45,4	83,3	51,7
	Média	31,6 a	56,8 ab	37,1 b
	Mínima	23,2	35,7	29,0
175 cm (Base)	Máxima	37,5	71,0	48,3
	Média	25,7 a	52,4 b	33,7 b
	Mínima	16,0	37,7	21,7
CV (%) entre subparcelas		15,23	15,23	18,56

Média seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% (\*\*) e/ou 5% (\*) de probabilidade;

<sup>1</sup> = Variação entre blocos significativa ao nível de 1% de probabilidade; <sup>2</sup> = Variação entre blocos significativa ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 59 – Altura média do relvado de plantas de *Cynodom plectostachyus*, em diferentes dias após o plantio e níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

As plantas de *C. plectostachyus* localizadas nos níveis de menor fertilidade apresentaram sintomas visuais típicos de deficiência nutricional de elementos como o fósforo e nitrogênio, que apresentaram baixos teores no solo. De acordo com os

resultados, esta espécie também respondeu significativamente ao bloqueamento das parcelas. Neste caso, as plantas dos blocos com arborização à montante, que possuíam maiores níveis de fertilidade, tiveram crescimento em altura maior nas avaliações aos 180 e 360 dias após o plantio, bem como menores sintomas de deficiência nutricional, o que ratifica sua sensibilidade a baixa fertilidade do solo.

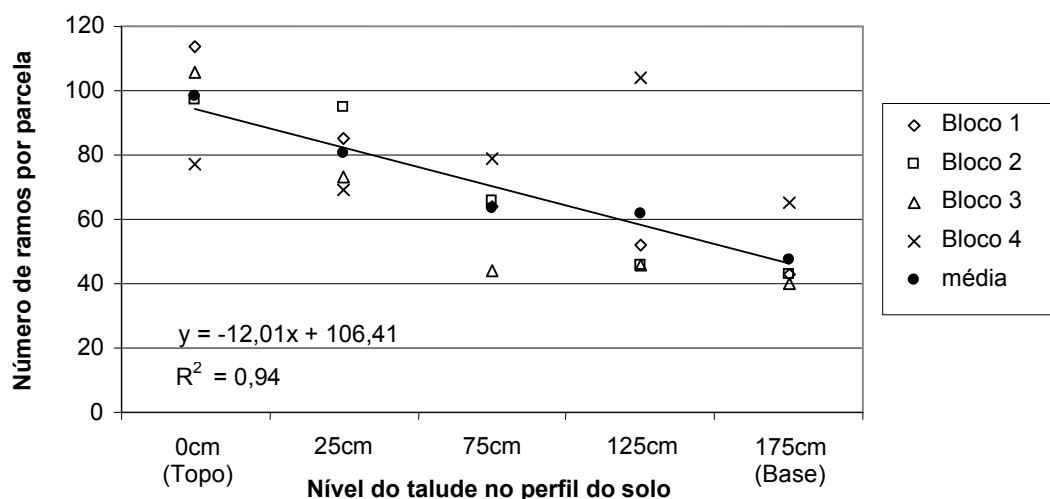
Esta resposta não se repetiu na avaliação final, aos 540 após o plantio. Isto provavelmente ocorreu devido à dispersão de ramos de estolões, ligados a plantas de níveis mais férteis, sobre áreas de menor fertilidade do talude. Neste caso, observa-se que este parâmetro pode superestimar o desempenho das plantas, visto que, nos níveis de menor fertilidade, a vegetação predominante não foi de ramos oriundos das mudas originais plantadas na subparcela, mas de mudas cultivadas nas áreas de maior fertilidade, nos níveis superiores do talude.

A redução na altura do relvado de plantas na avaliação realizada aos 540 dias (primavera), em relação à avaliação aos 360 dias (outono) deve-se a fatores fenológicos e de adaptação climática. Neste sentido, *C. plectostachyus* apresentou menor crescimento no inverno, não tolerando geadas fortes, que resultaram na morte dos ramos e folhas. Em consequência, houve redução na altura do relvado e a biomassa seca resultante ofereceu risco de ocorrência de queimada, o que é uma característica inadequada.

#### 4.3.2.4.2 Número de brotos por área

Observou-se diferença significativa no número de brotos de *C. plectostachyus*, entre os níveis, no perfil do talude (Figura 60). Estes resultados confirmam sua resposta à fertilidade do solo, apesar do hábito estolonífero, que possibilitou a ocorrência de brotos oriundos de outras parcelas, conforme explicado na seção anterior. Em média, os brotos oriundos de estolões originados de plantas de regiões mais férteis não foram em número suficiente para manter o mesmo número de brotos por área nas subparcelas localizadas nas áreas de menos férteis do perfil do talude. Neste sentido, o Bloco 4 apresentou um resultado mais uniforme no número de brotos entre as subparcelas do talude, dando indícios de que pode-se obter melhor desempenho neste quesito pelo manejo destas áreas.





Número de ramos por parcela	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	(Topo) 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	(Base) 175 cm
Máximo	114,0	95,0	79,0	104,0	65,0
Médio	98,5 a	80,5 ab	63,2 ab	62,0 ab	47,8 b
Mínimo	77,0	69,0	44,0	46,0	40,0

Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade. Variação entre blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; CV(%)=25,45;

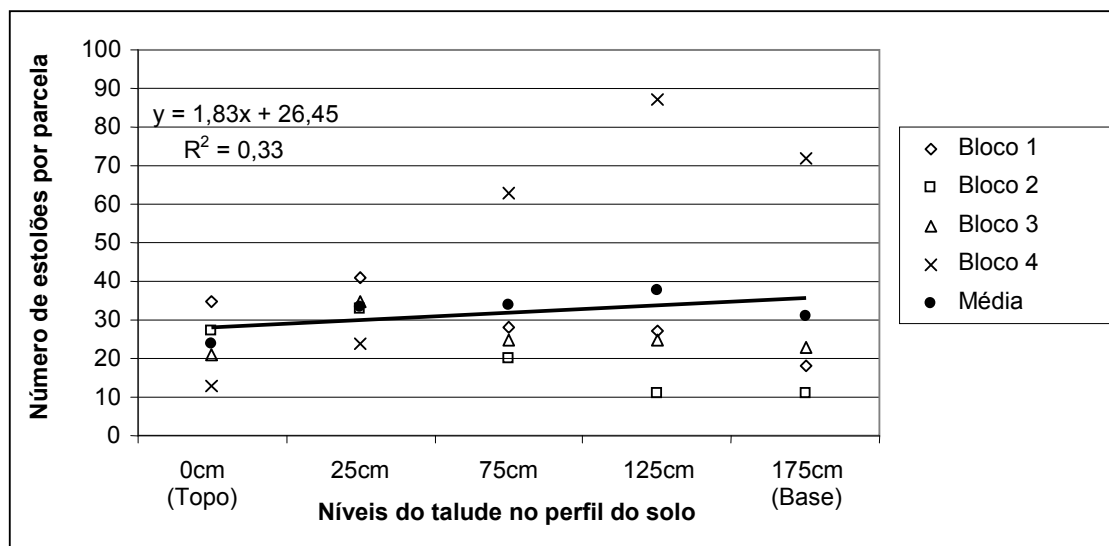
**Figura 60 – Número de brotações de *Cynodom plectostachyus*, aos 540 dias após o plantio, em diferentes níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Estes resultados sugerem ainda que estratégias de plantio com fertilização em núcleos de dispersão ou em faixas em banquetas de taludes seriam indicadas para o emprego de *C. plectostachyus* em áreas de menor fertilidade em taludes.

#### 4.3.2.4.3 Número de estolões por área

De acordo com os resultados mostrados na Figura 61, não houve diferença estatística significativa no número de estolões emitidos por *C. plectostachyus* ao longo do perfil do talude. Este resultado está relacionado ao elevado coeficiente de variação (54,12%, para dados transformados). Durante o desenvolvimento das plantas, foram observadas duas tendências: a primeira, que nas subparcelas localizadas na rampa, a emissão de estolões foi no sentido descendente da mesma; e a segunda, que as subparcelas de menor fertilidade emitiram estolões pequenos e em menor número, no sentido descendente. Devido ao acúmulo de biomassa,

cruzamento e sobreposição dos estolões nas subparcelas de maior fertilidade, a determinação das plantas de origem de cada estolão não foi possível.



Número de estolões por parcela (ns)	Nível do perfil do talude em relação à superfície do solo				
	(Topo) 0 cm	25 cm	75 cm	125 cm	(Base) 175 cm
Máximo	35,0	41,0	63,0	87,0	72,0
Médio	24,0 a	33,2 a	34,0 a	37,5 a	31,0 a
Mínimo	13,0	24,0	20,0	11,0	11,0

(ns) = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Variação entre blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Dados Transformados em "1/x"; C.V. = 54,12%.

**Figura 61 – Número de estolões de *Cynodom plectostachyus*, em diferentes níveis no perfil de talude, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Este fato demonstra que o hábito de crescimento estolonífero desta espécie constitui-se em um diferencial relevante, no sentido de permitir seu desenvolvimento em áreas do talude onde a fertilidade do solo poderia constituir-se em um fator limitante. De modo similar à trepadeira *Pyrostegia venusta*, o hábito estolonífero possibilita que *C. plectostachyus* seja cultivado em núcleos ou faixas de dispersão. Entretanto, o posicionamento dos locais de plantio deve considerar o fato de que, no experimento em talude, foi verificada a predominância do crescimento estolonífero descendente, ao contrário de *P. venusta*.

Outra característica considerada relevante foi a emissão de raízes em cada nó do estolão. Isto permitiu seu posicionamento e sua fixação rente à superfície do

solo. Nas regiões de melhor fertilidade, os estolões emitidos formaram uma densa e imbricada “rede de biomassa” fixada na superfície do talude, o que certamente resulta em ação protetora contra o processo erosivo.

#### 4.3.3 Cobertura vegetal do talude

O desenvolvimento aéreo de *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus* nas parcelas amostrais aos 180, 360 e 540 dias após o plantio, incluindo o tratamento testemunha, e a respectiva cobertura vegetal da rampa do talude podem ser visualizados na Figura 62. De acordo com as imagens, podem ser verificados os diferentes hábitos e estimados os ritmos de crescimento das espécies, seu comportamento nos diferentes níveis da rampa do talude, bem como visualizados os demais parâmetros analisados e discutidos anteriormente.

Pode-se destacar, no desenvolvimento das espécies, a capacidade de dispersão de *C. plectostachyus* sobre a superfície do talude. Verifica-se que esta espécie ultrapassou as áreas das parcelas experimentais, chegando a recobrir totalmente a calha coletora na parcela do Bloco 4 (última, da esquerda para a direita) aos 360 dias após o plantio. Entretanto, como discutido anteriormente, este avanço ocorreu através de estolões originários das mudas plantadas nas subparcelas superiores, de maior fertilidade.

Observa-se nas imagens do Bloco 3, aos 180 e 360 dias após o plantio, a ocorrência de líquens junto a superfície do solo. Estes líquens podem ser identificados na figura como manchas claras e dispersas, principalmente sobre a primeira e terceira parcelas do bloco, da esquerda para a direita, onde estão *P. venusta* e *A. glazioveana*, respectivamente.

O surgimento de líquens ocorreu pouco depois do plantio e parece estar associado ao tipo de ambiente proporcionado pela vegetação arbórea à montante e à deposição de excrementos pela avifauna. O desenvolvimento dos líquens proporcionou um efeito de capa protetora contra o processo erosivo. Entretanto, pode-se observar, em alguns pontos, a deterioração progressiva desta camada em decorrência da desagregação do solo pelo ressecamento da camada superficial, com formação de trincas e pela incidência direta de gotas de chuva.

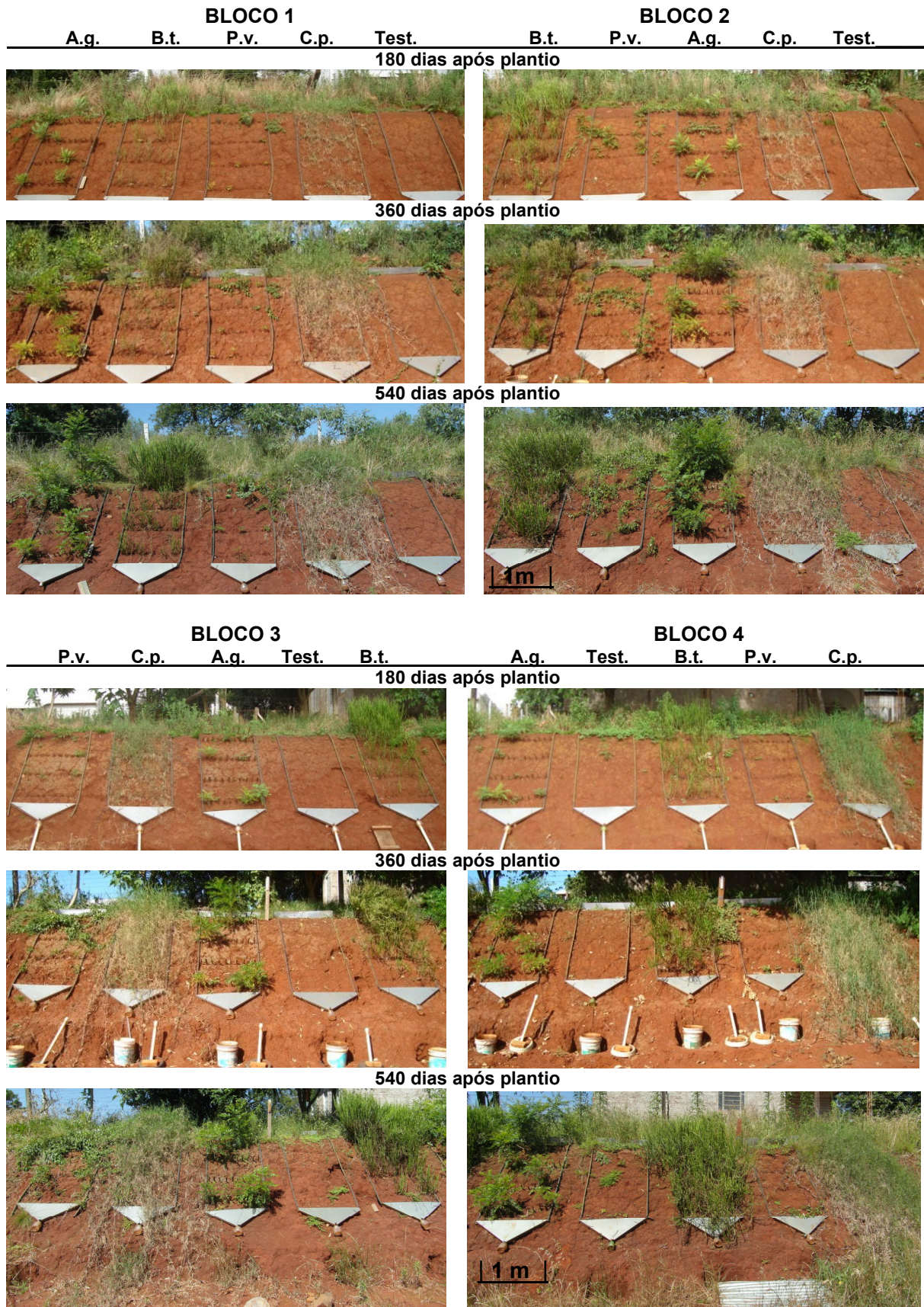


Figura 62 – Cobertura vegetal de *Ateleia glazioveana* (A.g.), *Baccharis trimera* (B.t.), *Pyrostegia venusta* (P.v.), *Cynodom plectostachyus* (C.p.) e tratamento testemunha (Test.) aos 180, 360 e 540 dias após o plantio em talude. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).

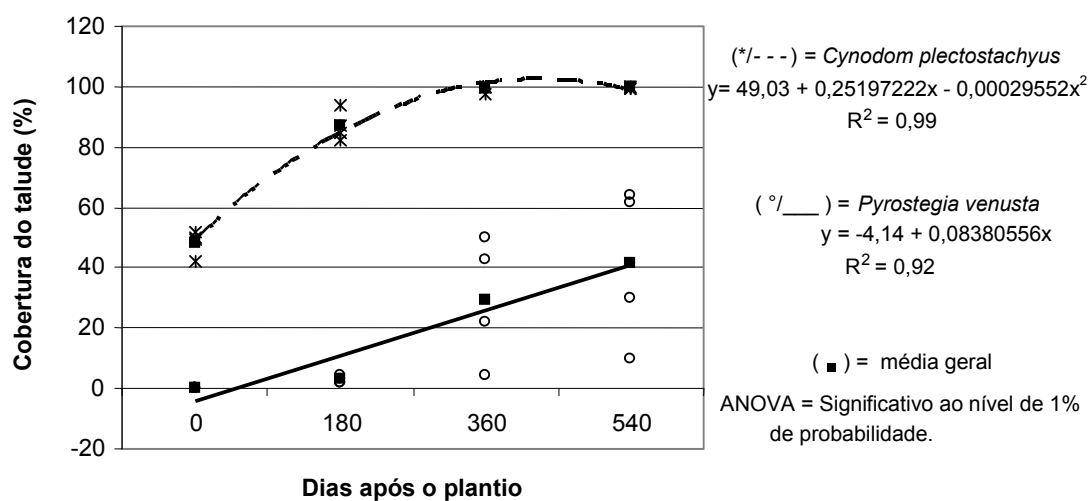
As regiões dos taludes cobertas por líquens conservaram a superfície do solo, não demonstrando ocorrência de processo erosivo por arraste de partículas. Esta observação confirma os relatos de Trichês e Thives (2010), sobre o efeito da cobertura de musgos e líquens na interceptação das gotas de chuva e proteção do solo. Na região de Cruz Alta-RS, é bastante comum a ocorrência de musgos e líquens, principalmente em taludes de orientação geográfica Sul, pouco ensolarados e desprovidos de vegetação. No âmbito de uma abordagem considerada por Araújo et al. (2005) como nova e promissora para a engenharia natural, o autor destaca a utilização de organismos biológicos como fungos e bactérias para fins de estabilização. Neste mesmo sentido, pelo efeito protetor observado, sugerem-se maiores estudos sobre a ecologia das espécies de líquens e musgos ocorrentes na região, bem como sobre o seu potencial de uso para proteção do solo em taludes.

Em virtude da especificidade dos diferentes métodos de determinação da cobertura do solo em função do hábito e morfologia das espécies, conforme estudo de Mantovani e Martins (1990), bem como da topografia do terreno, os resultados da cobertura vegetal do experimento foram abordados em três seções distintas: na primeira, seção 4.3.3.1, apresenta-se os resultados e discussão da cobertura vertical do talude para as espécies *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus*, por estas apresentarem hábito de crescimento rasteiro; na segunda, seção 4.3.3.2, é utilizada a cobertura em vista frontal, na tentativa de demonstrar, comparativamente, a cobertura vegetal das quatro espécies e testemunha, apesar da diferença entre hábitos de crescimento das mesmas; e na terceira, seção 4.3.3.3, é comparada, entre todos os tratamentos, a cobertura vertical na área da região do topo do talude.

#### 4.3.3.1 Cobertura vertical do talude

Os resultados da cobertura vertical do solo apresentados na Figura 63, demonstram melhor desempenho para *Cynodom plectostachyus* durante o período. Observa-se que *C. plectostachyus* obteve um desenvolvimento vegetativo mais rápido e uniforme entre as diferentes parcelas amostrais, comparado à *Pyrostegia venusta*. Esta rapidez está atrelada ao método de propagação por mudas, ao elevado percentual de pegamento e sobrevivência das mesmas e ao hábito estolonífero da espécie, o principal responsável pela uniformidade da cobertura entre as diferentes parcelas e subparcelas nos diferentes níveis do perfil do talude.

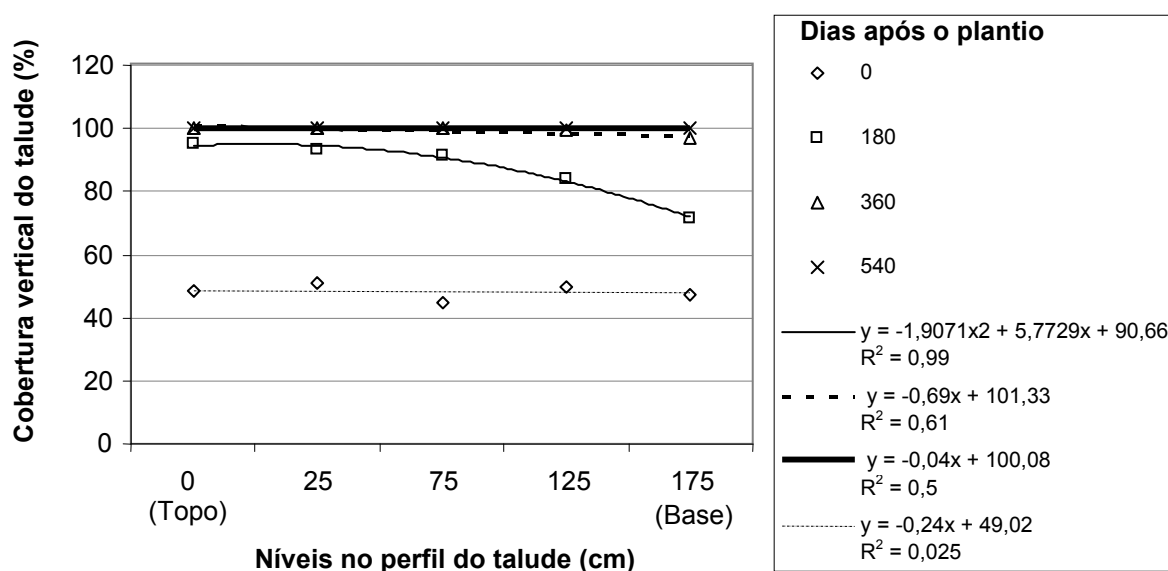
Em análise do desempenho de *P. venusta*, deve-se considerar fatores como: a propagação por estaquia obteve baixo percentual de sobrevivência de plantas e um atraso no desenvolvimento inicial; o hábito de trepadeira conferiu uma tendência de crescimento talude acima, com sobreposição de ramos e o desenvolvimento fora da área das parcelas; a maior variação de crescimento entre as diferentes parcelas e subparcelas, neste caso atrelado às exigências em luminosidade e fertilidade do solo; e o elevado vigor de crescimento apresentado por algumas plantas.



**Figura 63 – Cobertura vertical do talude em latossolo aos 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio de *Cynodom plectostachyus* (linha tracejada) e *Pyrostegia venusta* (linha contínua), em porcentagem da área das parcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

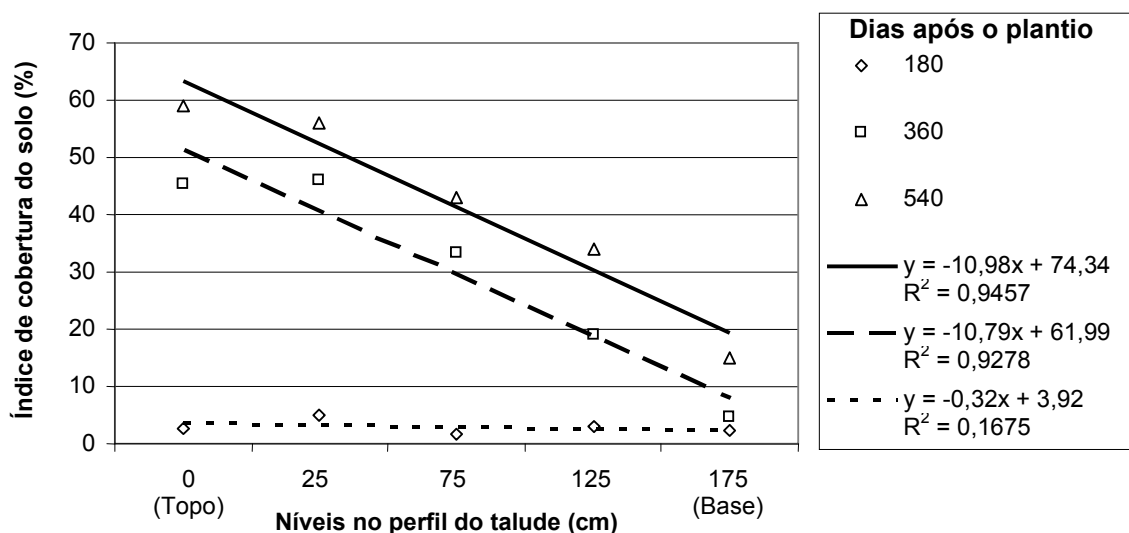
Deduz-se que, se corrigidos os problemas decorrentes da baixa sobrevivência, utilizando-se o plantio de mudas ao invés de estacas, em não havendo cultivo em locais sombreados (devido arborização à montante do talude) e com a fertilização das covas de plantio, haveria melhor desempenho para *P. venusta*. As características morfológicas e fenológicas indicam que *P. venusta* deva continuar o seu desenvolvimento, elevando a cobertura do talude, no decorrer de um maior período de tempo. O desempenho de *C. plectostachyus* nos diferentes níveis do perfil do talude pode ser observado na Figura 64. A cobertura vertical do talude alcançada por *C. plectostachyus* (100% aos 540 dias após o plantio) foram superiores ao das braquiárias *B. brizanta*, *B. decumbens* e *B. ruzizensis*, em experimento de Einloft et al. (2009), quando foram cultivadas em consórcio com

leguminosas em talude de corte, em latossolo no Estado de Minas Gerais, que obtiveram percentuais de cobertura entre 54% e 81% após quatro anos do plantio. Destaca-se, ainda, que no estudo de Einloft et al. (2009) houve a correção e adubação do solo do talude com adição de calário, adubo a base de NPK e esterco bovino na cova de plantio.



**Figura 64 – Cobertura vertical do talude nos diferentes dias após plantio e níveis no perfil de talude aos 0\*, 180, 360 e 540 dias após o plantio de *Cynodom plectostachyus*, em porcentagem da área das subparcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012). (\* = avaliação após o replantio)**

A cobertura vertical do talude confirma a indicação de *C. plectostachyus* por Pereira (2006) para uso em áreas degradadas e ultrapassa o limite de 70% de recobrimento, a partir do qual, segundo Trichês e Thives (2010), inicia-se a eficiência da cobertura vegetal. No caso de *P. venusta* (Figura 65), apesar do menor desempenho na cobertura vertical do talude, o desenvolvimento apresentado por alguns indivíduos demonstra o grande potencial de uso da espécie, o que é comentado por Lorenzi e Souza (2008). Em duas parcelas amostrais *P. venusta* alcançou percentuais de cobertura do solo superiores a 60% aos 540 dias após o plantio. Pode-se afirmar que *P. venusta* possui potencial promissor para cobertura do solo, respeitadas as limitações da comparação deste resultado com os obtidos no estudo de Einloft et al. (2009), e as condições bastante adversas deste experimento em talude em Cruz Alta, RS,



**Figura 65 – Cobertura vertical do talude nos diferentes níveis no perfil de talude aos 0, 180, 360 e 540 dias após o plantio de *Pyrostegia venusta*, em porcentagem da área das subparcelas experimentais. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

O diferente comportamento destas espécies aponta para diferentes estratégias de uso no manejo biotécnico, relacionadas principalmente ao diferente ritmo e direção de crescimento, ascendente para *P. venusta* e descendente para *C. plectostachyus*.

Apesar das espécies não apresentarem crescimento satisfatório nas regiões de menor fertilidade do talude, os hábitos de crescimento permitem compensar de certa forma esta limitação. O hábito estolonífero de *C. plectostachyus* mostrou-se superior, no sentido de permitir uma cobertura rente ao solo, com o enraizamento a cada nó dos colmos dos estolões. Esta característica é muito importante e segundo Trichês e Thives (2010) conferem uma proteção mais efetiva contra a erosão, quando comparada a cobertura vegetal que recobre o solo sem estar intimamente fixada e/ou posicionada junto a sua superfície.

#### 4.3.3.2 Cobertura frontal do talude

Para facilitar a comparação da cobertura vegetal sobre a rampa do talude, do ponto de observação das imagens da Figura 62, a mesma foi quantificada através da determinação da cobertura frontal do talude (%). A escolha deste parâmetro deve-se às limitações dos métodos convencionais em comparar espécies de diferentes hábitos de crescimento (MANTOVANI; MARTINS, 1990).



A cobertura frontal do talude mostrou ser um método de fácil execução, que retrata e permite quantificar a cobertura vegetal de um ponto de observação bastante prático, que coincide com a visualização natural da rampa do talude pelos observadores. Os resultados para a rampa do talude estão na Tabela 7 e Figura 66.

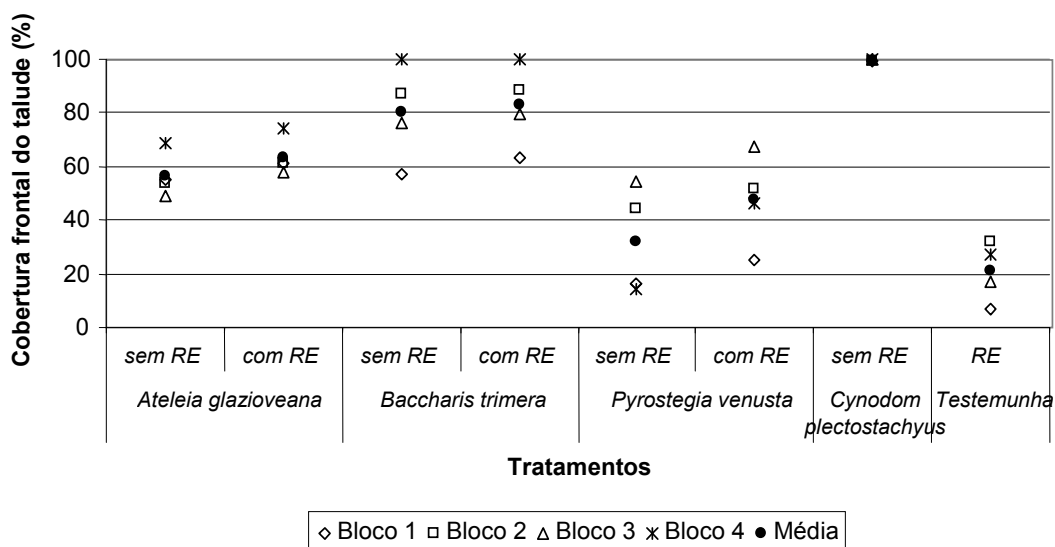
**Tabela 7 – Cobertura frontal do talude para *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta*, *Cynodom plectostachyus* e testemunha em talude, aos 540 dias após o plantio, na área da rampa. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Composição do índice de cobertura		Cobertura frontal do talude aos 540 dias após o plantio				
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Sem Revegetação Espontânea	Máximo	68,5	100,0	54,5	100,0	32,0
	Média	56,6 bc	80,0 ab	32,2 cd	99,6 a	20,8 d
	Mínimo	49,0	57,0	14,0	99,2	17,0
Com Revegetação Espontânea	Máximo	74,0	100,0	67,5	100,0	32,0
	Média	63,6 bc	82,9 ab	47,6 cd	99,6 a	20,8 d
	Mínimo	61,5	63,5	25,0	99,2	17,0

RE = revegetação espontânea; Médias transformadas em arco seno  $\sqrt{x}/100$ ; Variação devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; Coeficiente de variação (CV) = 18,8% entre tratamentos sem RE; CV = 14,9% entre tratamentos + RE; Média seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1 % de probabilidade.

Como pode ser observado, houve diferença significativa de cobertura vegetal em vista frontal da rampa do talude entre os diferentes tratamentos, aos 540 dias após o plantio, indiferentemente do cômputo da revegetação natural. *C. plectostachyus* e *B. trimera* apresentaram as melhores médias de cobertura, com 99,6% e 80,0% respectivamente.

A menor sobrevivência de mudas das espécies propagadas por estacas (*A. glazioveana*, com 56,6%; e *P. venusta*, com 32,2%) foi um fator determinante para a menor cobertura vegetal obtida por estas espécies. Apesar da menor sobrevivência de plantas, o percentual de cobertura de *A. glazioveana* não diferenciou-se significativamente de *B. trimera*, propagada por mudas. Considerando o maior ciclo e o porte arbóreo de *A. glazioveana* pode-se considerar bastante satisfatório o seu desempenho neste parâmetro.



**Figura 66 – Cobertura frontal do talude para *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta*, *Cynodom plectostachyus* e testemunha em talude, aos 540 dias após o plantio, na área da rampa. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Apesar de não haver diferença estatística entre os resultados dos tratamentos com *P. venusta* e testemunha, a cobertura vegetal em vista frontal obteve um incremento na ordem de 50% sem considerar a revegetação espontânea, e superior a 120% considerando-se a revegetação espontânea. Nas condições deste experimento, este resultado também pode ser considerado relevante.

#### 4.3.3.3 Cobertura da região do topo

A região do topo do talude, em termos gerais, foi a que apresentou maior cobertura vertical aos 540 dias após o plantio (Tabela 9; Figura 67). A primeira subparcela, localizada no topo do talude em superfície horizontal, com exceção para as parcelas com *P. venusta*, apresentou 100% de cobertura vertical mesmo para a testemunha. Considerando a revegetação espontânea, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Estes resultados estão relacionados à topografia plana da região acima da crista do talude, o que favorece o estabelecimento de sementes, bem como a maior fertilidade do solo em seu horizonte superior, o que permite maior desenvolvimento das plantas.

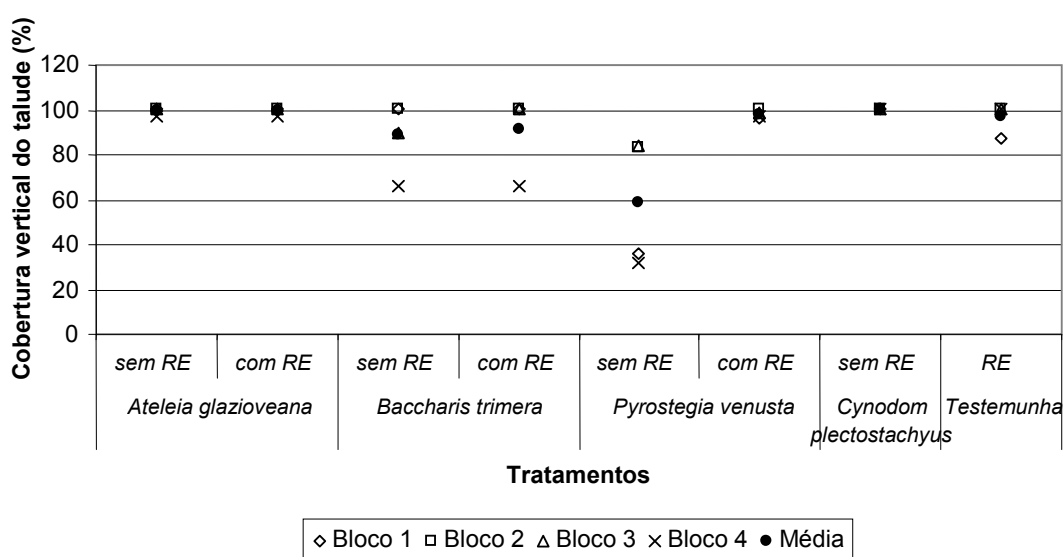
O menor desempenho de *Baccharis trimera* está relacionado à morte de três plantas na subparcela do topo do Bloco 4. A perda destas plantas está atrelada a problemas fitossanitários. Foram encontradas cochonilhas brancas (não

identificadas), e podridão no sistema radicular, principalmente na raiz principal, logo abaixo do colo da planta. Como estas plantas estavam em sequência e não houve a disseminação e o ataque em plantas vizinhas, parece não se tratar de um problema relevante para a cultura. Entretanto, sugerem-se maiores estudos sobre o assunto.

**Tabela 8 – Cobertura vertical do talude para *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta*, *Cynodom plectostachyus* e testemunha na região do topo de talude, aos 540 dias após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Composição da cobertura vertical		Cobertura vertical (%) da região do topo do talude aos 540 dias após o plantio				
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Sem revegetação espontânea	Máximo	100,0	100,0	84,0	100,0	100,0*
	Média	99,2 a	89,5 ab	58,8 b	100,0 a	96,9* a
	Mínimo	97,0	66,0	32,0	100,0	87,5*
Com revegetação espontânea	Máximo	100,0	100,0	97,0	100,0	100,0
	Média	99,2 ns	91,5 ns	98,0 ns	100,0 ns	96,9 ns
	Mínimo	97,0	66,0	67,5	100,0	87,5

RE = revegetação espontânea; ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade; \* = valores relativos a revegetação espontânea; Variação devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; Média seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1 % de probabilidade; Médias transformadas em arco seno  $\sqrt{x/100}$ ; Coeficiente de variação (CV) = 14,37% entre tratamentos sem RE; CV = 8,36% entre tratamentos + RE.



**Figura 67 – Cobertura vertical do talude para *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta*, *Cynodom plectostachyus* e testemunha na região do topo de talude, aos 540 dias após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Apesar de *Pyrostegia venusta* ter apresentado a menor cobertura vertical (58,8% em média) entre os tratamentos, a região do topo foi a de melhor desempenho para a espécie, em comparação com a rampa (Figura 65). Isto está relacionado ao hábito de crescimento ascendente desta trepadeira.

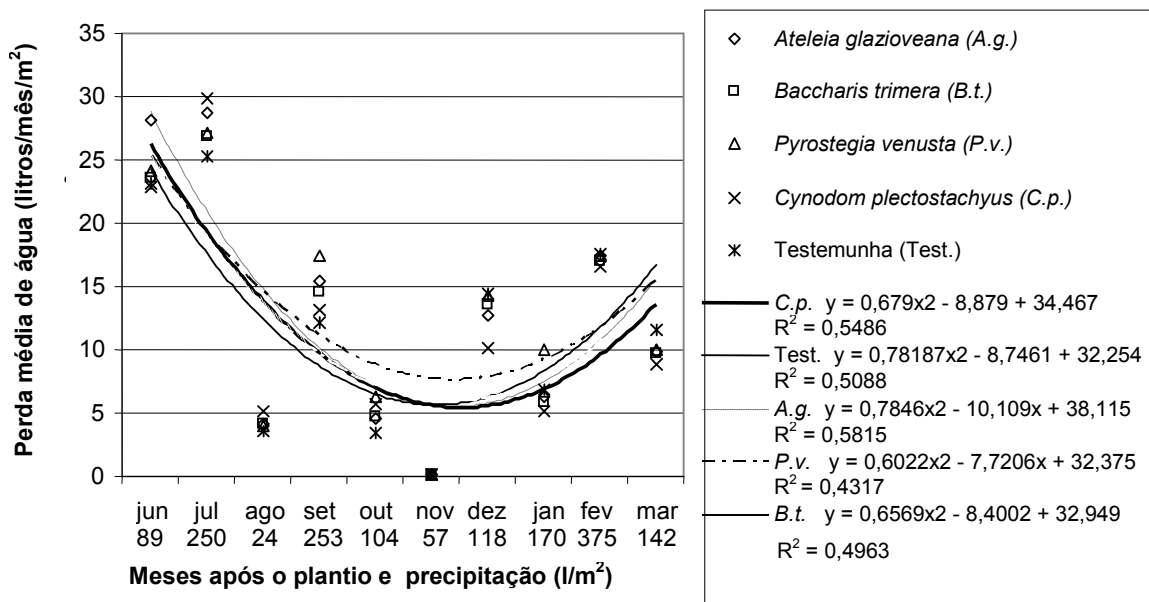
Cabe destacar ainda, o fato de que o desenvolvimento vegetativo de *B. trimera*, *P. venusta* e *C. plectostachyus*, respeitados os diferentes hábitos de crescimento ultrapassou, em algumas repetições, os limites das parcelas amostrais. Neste caso, os parâmetros apresentados subestimam, de certa forma e em termos absolutos, o potencial de cobertura destas espécies.

#### 4.3.4 Escoamento superficial

As perdas de água por escoamento superficial mostraram-se bastante variadas em relação a algumas parcelas amostrais independentemente das precipitações e ao longo do período. A observação destes valores discrepantes levou ao estudo da influência da vegetação arbórea à montante das parcelas, principalmente nos Blocos 3 e 4, conforme dados apresentados e discutidos anteriormente. Além da variação entre as parcelas, causada pelo efeito da copa das árvores, denominado “rede-tributária-convergente”, a ocorrência de ventos e o ângulo de incidência das gotas de chuva sobre o solo, de acordo com a orientação geográfica e a inclinação do talude, também interferiram na precipitação sobre o mesmo. Os resultados de perda de água por escoamento superficial nas parcelas do talude estão apresentados em valores médios mensais e acumulados, nas Figuras 68 e 69.

Apesar dos valores médios mensais do escoamento superficial não mostrarem-se nitidamente relacionados com a precipitação do período, observa-se uma tendência de redução destas perdas com o passar do tempo. Este fato deve-se, possivelmente, ao crescimento da vegetação na superfície do talude. Diversos outros fatores também estão relacionados à perda de água por escoamento superficial podendo-se destacar a intensidade da precipitação e o nível de saturação de água do solo. Assim, para um mesmo volume de precipitação, quanto mais lenta a chuva e/ou menor o teor de umidade inicial do solo, menor deverá ser o volume escoado.

Meses 2010/11		jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar
Precipitação (mm)	Máxima diária	28	100	22	110	35	20	67	68	90	115*
	no mês	89	250	24	253	104	57	118	170	375	142



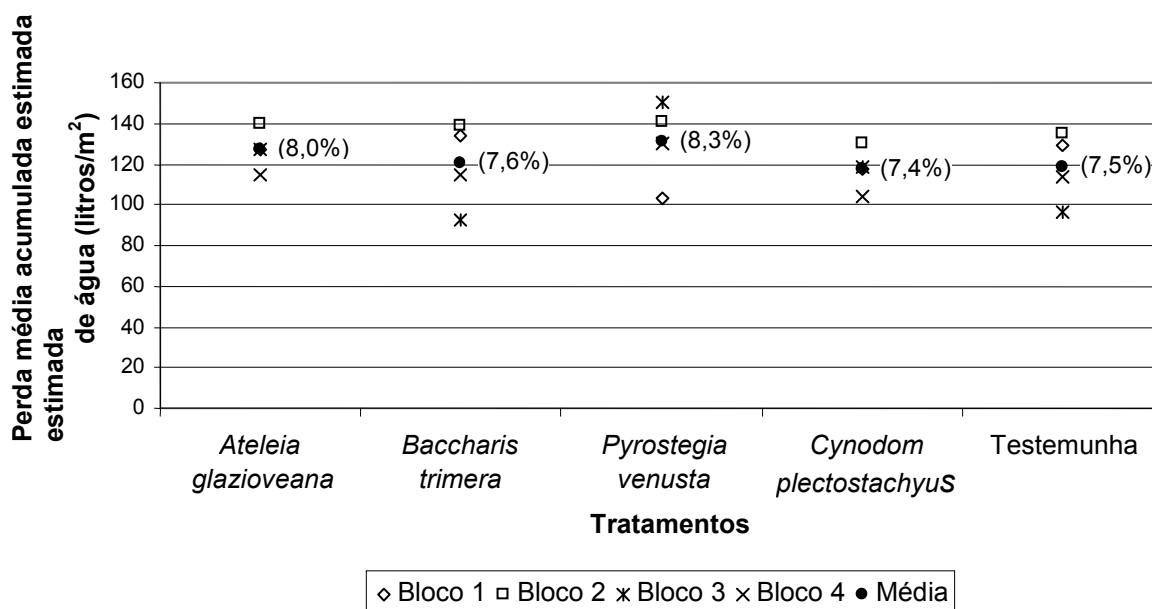
(\*) = Referente ao período de dois dias.

**Figura 68 – Efeito de diferentes espécies na perda média mensal de água em talude de corte em latossolo, durante o período de 3 a 12 meses após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

As maiores perdas iniciais também podem ter sido influenciadas pelo período da estação de inverno, onde as perdas por evapotranspiração são menores, permanecendo o solo com maior teor de água, o que reduz a capacidade de infiltração do volume precipitado, bem como pelo menor porte da vegetação, que assim retém menor volume de água aderido à sua parte aérea. A determinação efetiva dos principais fatores envolvidos na perda de água por escoamento superficial e o respectivo nível de correlação necessitaria de um maior número de parâmetros e período de tempo de acompanhamento.

De acordo com os resultados da perda média acumulada de água por escoamento superficial (Figura 69), não houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos para o período. Isto também se deve aos diferentes fatores envolvidos, sobretudo pelo período inicial do desenvolvimento das diferentes

espécies, que ainda não haviam expressado todo o seu potencial de crescimento e cobertura.



Perda média acumulada estimada de água (l/m <sup>2</sup> )	Tratamentos				
	<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Máximo	139,80	138,78	149,88	130,27	134,67
Média	127,28	114,67	130,96	117,60	118,20
Mínimo	114,63	92,48	103,20	103,79	96,11
Média estimada do percentual de precipitação perdido	8,0%	7,6%	8,3%	7,4%	7,5%

Varição devido aos blocos e tratamentos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; Coeficiente de variação = 12,17%; Precipitação acumulada para o período = 1.582 mm (equivalente a 1.582 litros/m<sup>2</sup>). Em parênteses, no gráfico, a estimativa do percentual da precipitação média, de cada tratamento, perdida por escoamento superficial.

**Figura 69 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média acumulada estimada de água por escoamento superficial em talude, no período do 3º ao 10º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

O hábito, a massa foliar, o formato e a dimensão das folhas das diferentes espécies vegetais sobre o talude resultam em diferenças na capacidade de retenção d'água na biomassa aérea. Esta tendência pode ser verificada na perda de água por escoamento superficial ocorrente no 11º mês (fevereiro, o de maior precipitação) após o plantio (Tabela 9), onde houve diferença significativa na perda de água por escoamento superficial entre os tratamentos. Neste caso, observa-se que o cultivo de *Cynodom plectostachyus* reduziu em 24% (passando de 8,1% para 6,1%) o

volume médio de perda de água por escoamento superficial, em comparação ao tratamento testemunha, dado considerado significativo.

**Tabela 9 – Efeito de diferentes espécies na perda média estimada de água por escoamento superficial em talude de corte em latossolo, durante o 11º mês após o plantio (fevereiro/2011). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Perda de água no 11º mês após o plantio (Litros/m <sup>2</sup> )	Tratamentos				
	<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Máximo	10,85	11,46	11,60	9,21	12,46
Média	9,92 ab	9,38 ab	10,04 ab	8,72 a	11,56 b
Mínimo	9,25	8,42	8,57	8,18	10,18
Média estimada do percentual de precipitação perdido	7,0%	6,6%	7,1%	6,1%	8,1%

Avaliação realizada no mês de março de 2011; Precipitação máxima diária do período, 115mm e acumulada no mês, 142mm (= estimativa de 142 litros/m<sup>2</sup>);

Varição devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Varição devido aos tratamentos, significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Média seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação = 10,83%;

Verifica-se uma tendência de redução nas perdas de água por escoamento superficial, na medida em que há certo incremento na cobertura vegetal. Esta redução deve estar relacionada tanto com a quantidade de biomassa e extensão da cobertura aérea sobre as parcelas, como também com as características morfológicas e do hábito da planta. Neste caso, o hábito estolonífero e o ritmo de crescimento mais acelerado de *C. plectostachyus*, em relação às outras espécies, certamente foram características determinantes para os resultados obtidos.

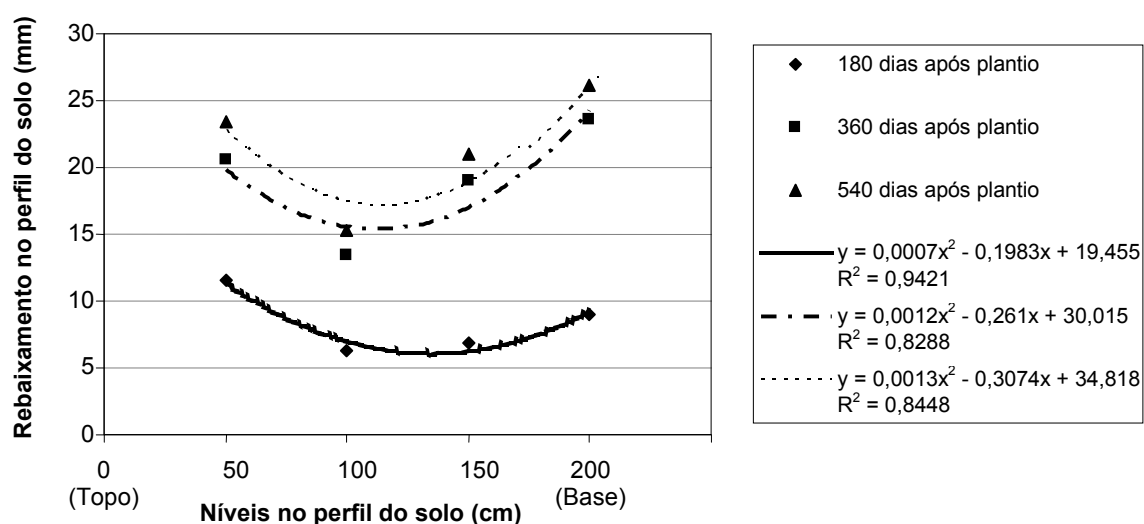
#### 4.3.5 Perda de solo

A perda de solo no talude foi avaliada por dois diferentes métodos: de rebaixamento do perfil do solo e por gravimetria do material erodido.

##### 4.3.5.1 Rebaixamento do perfil do solo

O rebaixamento no perfil do solo do talude foi analisado sob três aspectos: o primeiro, da sua evolução ao longo do tempo; o segundo, do comportamento em

diferentes níveis do perfil do talude; e o terceiro, do potencial das espécies em proteger o talude desta perda. Como pode ser observado na Figura 70, os resultados demonstram um comportamento distinto no rebaixamento do perfil do solo nos diferentes níveis do talude.



**Figura 70 – Evolução do rebaixamento médio do perfil do solo em diferentes níveis do talude, independente dos tratamentos de revegetação, Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Entre os níveis das parcelas de talude observadas, o nível de 50 cm, equivalente à região do topo do talude, foi a que apresentou o maior rebaixamento médio nos seis meses iniciais. Seu comportamento demonstra a importância desta região. Neste caso, a maior perda deve-se ao fato do topo apresentar uma maior friabilidade e exposição às gotas da chuva, associada à declividade crescente à jusante, considerando-se que, quanto maior a perpendicularidade da superfície do solo à queda das gotas da chuva, maior a sua exposição e impacto, e quanto maior a declividade, maior o arraste de partículas desagregadas.

Visualmente pode-se observar que a região de transição, no topo do talude, a partir da qual inicia a declividade em direção a rampa, foi a mais afetada em perda de solo por erosão; e que, à medida do aumento do rebaixamento de sua superfície pela perda de solo, ampliava-se o raio da sua curvatura vertical e inversamente a este, reduzia-se a velocidade da perda de solo. Esta observação confirma a de Animoto (1978 apud DURLO; SUTILI, 2005), que recomendam o arredondamento



desta região do talude; e o efeito da mudança de geometria, de acordo com Guidicini e Nieble (1983 apud MACIEL FILHO, 2008).

Nos níveis subsequentes, aos 100, 150 e 200 cm do limite superior da parcela, na face inclinada do talude, o comportamento foi de acordo com o preconizado por Wischmeier e Smith (1978 apud MACIEL FILHO, 2008), decorrente do fator comprimento de rampa de escoamento, na equação de perda de solo, ou seja, quanto maior o comprimento da rampa, maior foi o rebaixamento do solo. Observa-se ainda que, após 360 dias do plantio, o nível de 200 cm apresentou as maiores perdas, ultrapassando inclusive às do topo do talude.

Na avaliação aos 540 dias após o plantio, em todos os níveis do perfil do talude avaliados, houve grande redução na intensidade do rebaixamento médio do perfil do solo (Figura 71). Isto deve estar relacionado, ao efeito da revegetação, implantada e espontânea, bem como a maior estabilidade dos agregados remanescentes e muito possivelmente, ainda, à quebra do efeito do comprimento de rampa, decorrente do desenvolvimento de canais de escoamento da água no microrelevo do talude.

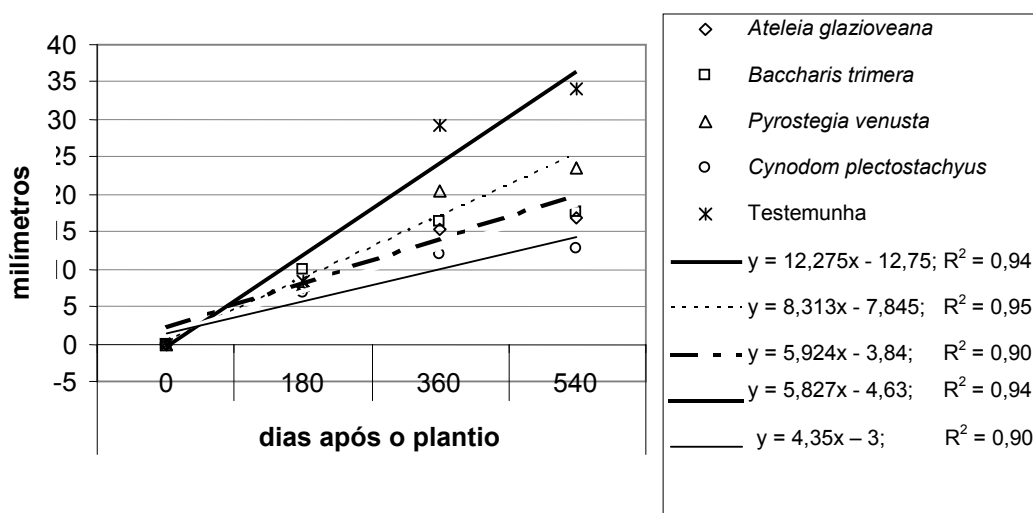


Figura 71 – Efeito de diferentes espécies no rebaixamento médio no perfil do solo em taludes de corte, em função do tempo, em latossolo no sul do Brasil. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).

O efeito protetor das diferentes espécies estudadas, contra o rebaixamento do perfil de taludes pela perda de solo pode ser observado na. De acordo com os resultados obtidos, nas avaliações aos 360 e 540 dias, as espécies implantadas reduziram significativamente o rebaixamento médio do perfil do solo. Estes

resultados vão ao encontro dos resultados de perda média mensal de água, onde se observa, na Figura 68, uma tendência de redução no volume perdido de água com o passar do tempo.

Observa-se entre as diferentes espécies, assim como na perda de água, que *C. plectostachyus* apresentou o melhor desempenho aos 360 dias após o plantio, e a testemunha, o pior. Estes resultados estão de acordo com o comportamento da perda de água nos diferentes tratamentos, o que indica uma relação, no processo erosivo do talude, entre o escoamento superficial de água e o rebaixamento médio do perfil do solo.

Percebe-se ainda, que entre as espécies utilizadas, *Cynodom plectostachyus*, pertencente ao grupo das gramíneas, foi a que apresentou os melhores resultados, seguida de *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera* e *Pyrostegia venusta*, respectivamente, o que ratifica o potencial protetor das gramíneas (PEREIRA, 2006) e demonstra haver um efeito das características morfológicas relacionado à aptidão biotécnica das espécies, de acordo com Gray e Sotir (1996 apud ARAÚJO et al., 2005). Na Figura 72, pode-se observar o efeito protetor das diferentes espécies contra o rebaixamento do perfil do solo, ao longo do tempo e níveis do talude.

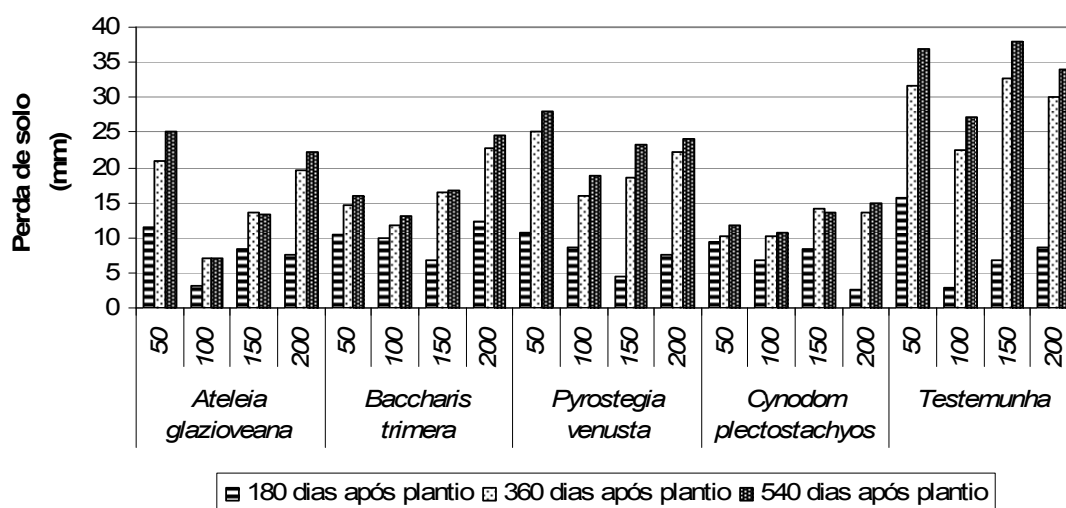


Figura 72 – Rebaixamento médio do perfil do solo em diferentes dias após o plantio e níveis do talude (50, 100, 150 e 200cm a partir do topo), submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).

Verifica-se na Figura 72 e nas Tabelas 10, 11 e 12, que as diferentes espécies apresentaram semelhante comportamento ao longo dos níveis, tendo os

níveis do topo e os de maior comprimento de rampa, situados mais abaixo, como mais críticos. Destaca-se que *Cynodom plectostachyus*, além de apresentar melhor desempenho protetor em todos os níveis avaliados, diferencia-se também pelo rebaixamento ser mais equânime entre os níveis.

**Tabela 10 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 180 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Nível no perfil do talude		Média de rebaixamento de solo (mm/parcela)				
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
50 cm	Máximo	16,0	18,0	17,0	16,0	26,0
	Média 11,6 a	11,5	10,5	10,8	9,5	15,8
	Mínimo	4,0	2,0	6,0	2,0	2,0
100 cm	Máximo	9,0	15,0	14,0	14,0	10,0
	Média 6,3 b	3,2	10,0	8,5	6,8	3,0
	Mínimo	0,0	6,0	1,0	0,0	0,0
150 cm	Máximo	11,0	18,0	13,0	19,0	13,0
	Média 6,9 b	8,2	6,8	4,5	8,2	6,8
	Mínimo	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200 cm	Máximo	14,0	21,0	12,0	4,0	23,0
	Média 7,6 b	7,5	12,2	7,5	2,5	8,5
	Mínimo	2,0	5,0	1,0	0,0	0,0
Média Tratamentos		7,6 a	9,8 a	7,8 a	6,8 a	8,5 a

Coefficiente de variação: 94,88%, entre espécies; e 58,47%, entre níveis no perfil do talude;

Média seguidas de mesma letra, na linha ou na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; Variação devido aos blocos significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Interação Espécies x Regiões não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 11 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 360 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Nível no perfil do talude		Média de rebaixamento de solo (mm/parcela)				
		<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
50 cm	Máximo	26,0	27,0	28,0	17,0	40,0
	Média 20,6 a	21,0	14,8	25,0	10,2	31,8
	Mínimo	11,0	4,0	19,0	1,0	21,0
100 cm	Máximo	11,0	19,0	28,0	16,0	31,0
	Média 13,5 b	7,0	11,8	16,0	10,2	22,5
	Mínimo	0,0	0,0	4,0	2,0	16,0
150 cm	Máximo	15,0	37,0	39,0	19,0	36,0
	Média 19,0 ab	13,5	16,5	18,5	14,0	32,8
	Mínimo	11,0	7,0	5,0	9,0	28,0
200 cm	Máximo	30,0	33,0	40,0	23,0	45,0
	Média 21,6 a	19,5	22,8	22,2	13,5	30,0
	Mínimo	4,0	10,0	7,0	3,0	17,0
Média Tratamentos (*)		15,2 ab	16,4 ab	20,4 ab	12,0 b	29,2 a

Coefficiente de variação: 71,72%, entre espécies; e 40,19%, entre níveis no perfil do talude;

Média seguidas de mesma letra, na linha ou na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade; Variação devido aos blocos significativa ao nível de 5% de probabilidade;

(\*) = significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Interação Espécies x Regiões não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 12 – Rebaixamento médio do perfil do solo, aos 540 dias, em diferentes níveis do talude, submetido a diferentes tratamentos de revegetação. Cruz Alta, RS, Brasil (2012).**

Nível no perfil do talude (*)	Média de rebaixamento de solo (mm/parcela)					
	<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha	
50 cm Média 23,5 a	Máximo	35,0	25,0	35,0	22,0	53,0
	Mínimo	14,0	5,0	21,0	6,0	28,0
100 cm Média 15,4 b	Máximo	10,0	25,0	31,0	16,0	38,0
	Mínimo	7,0 a B	13,0 a A	18,8 a A	10,8 a A	27,2 a A
150 cm Média 20,9 ab	Máximo	16,0	39,0	37,0	17,0	47,0
	Mínimo	13,2 b AB	16,8 b A	23,2 ab A	13,5 b A	38,0 a A
200 cm Média 23,9 a	Máximo	30,0	34,0	40,0	25,0	51,0
	Mínimo	22,2 a A	24,5 a A	24,0 a A	15,0 a A	34,0 a A
Média Tratamentos (**)	Máximo	5,0	10,0	6,0	11,0	18,0
	Mínimo	16,9 b	17,6 ab	23,5 ab	12,8 b	34,0 a

Coefficiente de variação: 71,29%, entre espécies; e 37,59%, entre níveis no perfil do talude;

Média seguidas de mesma letra, na linha (minúsculo) ou na coluna (maiúsculo), não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade (em *Itálico*, referentes à interação Espécies x Níveis no perfil do talude);

Variação devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

(\*) = Significativo ao nível de 5% de probabilidade; (\*\*) = Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

Interação Espécies x Regiões não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados mostram que o período inicial foi o mais crítico e de maior vulnerabilidade, o que caracteriza o mesmo comportamento previsto por Araújo et al. (2005), para recuperação de áreas degradadas onde, segundo o autor, o estágio inicial é o mais vulnerável e merece bastante atenção nos sistemas de engenharia natural. Ratifica-se, neste sentido, a importância da escolha de espécies de rápido crescimento, de modo oferecer proteção nos períodos de maior vulnerabilidade.

#### 4.3.5.2 Gravimetria do material erodido

O efeito da vegetação contra a perda de solo por escoamento superficial pôde ser observado, em um primeiro momento, durante a coleta, pela turbidez da água de escoamento superficial das parcelas, provocada pela presença de partículas de solo em suspensão. De acordo com o material coletado em uma das avaliações, demonstrado na Figura 73, verifica-se que os blocos 3 e 4, com vegetação arbórea à montante, tendem à apresentar menor turbidez para a maioria das parcelas, exceto

àquelas em que as árvores à montante, pela sua arquitetura e posicionamento, afetaram o processo erosivo, de acordo com Durlo e Sutili (2005) e, por conseguinte, a turbidez da água, conforme discutido anteriormente.

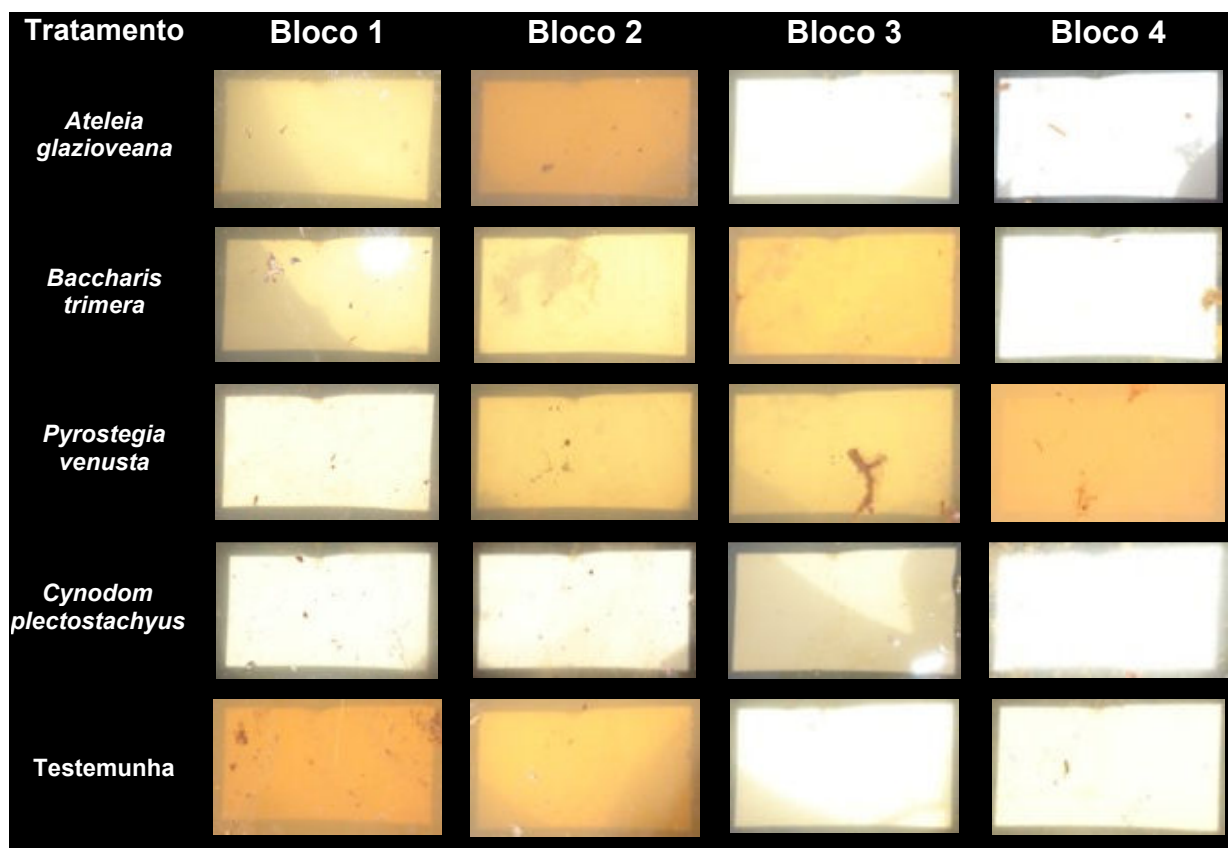
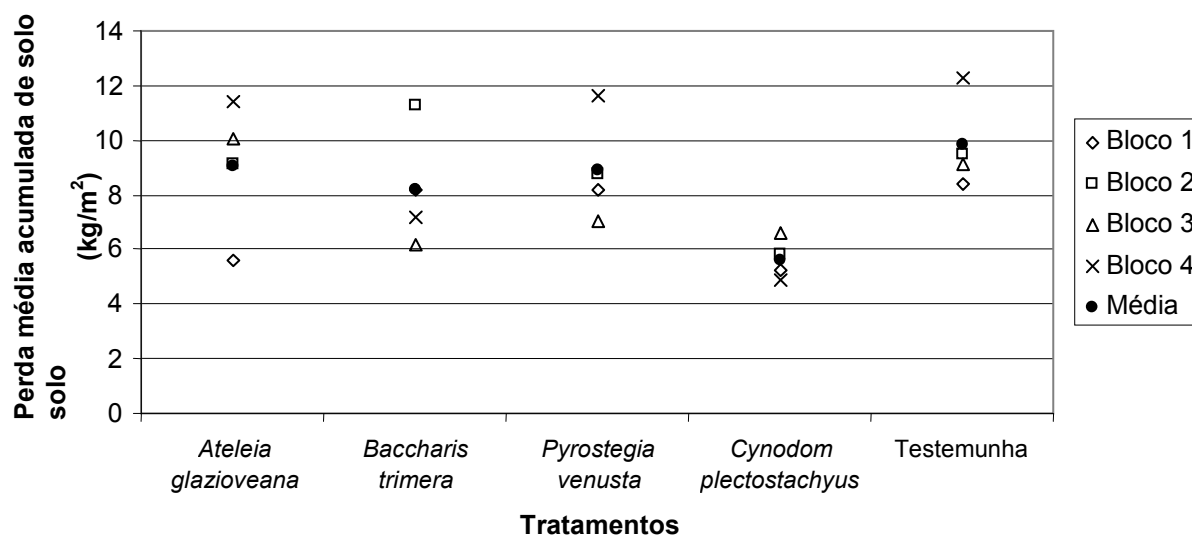


Figura 73 – Turbidez causada por perda de solo em água de escoamento superficial em talude submetido a diferentes tratamentos. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).

Em um segundo momento percebe-se nitidamente o efeito protetor de *Cynodom plectostachyus*, visto que a água de escoamento superficial coletada de suas parcelas, invariavelmente, apresentou-se com menor turbidez do que as demais, corroborando os resultados anteriores desta gramínea, na proteção contra o rebaixamento do perfil do talude.

No âmbito da recuperação de áreas degradadas, a proteção do solo figura entre as principais características das espécies empregadas. Neste sentido, a quantificação da perda de solo consiste em um dos principais parâmetros de análise da aptidão biotécnica das espécies empregadas. Na Figura 74 pode-se observar o efeito das espécies estudadas quanto à proteção do talude à perda de solo.



Perda média acumulada estimada de solo (kg/m <sup>2</sup> )	Tratamentos				
	<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Máximo	11,43	11,27	11,61	6,60	12,29
Média	9,05 ab	8,19 ab	8,91 ab	5,62 b	9,82 a
Mínimo	5,61	6,14	7,04	4,85	8,38

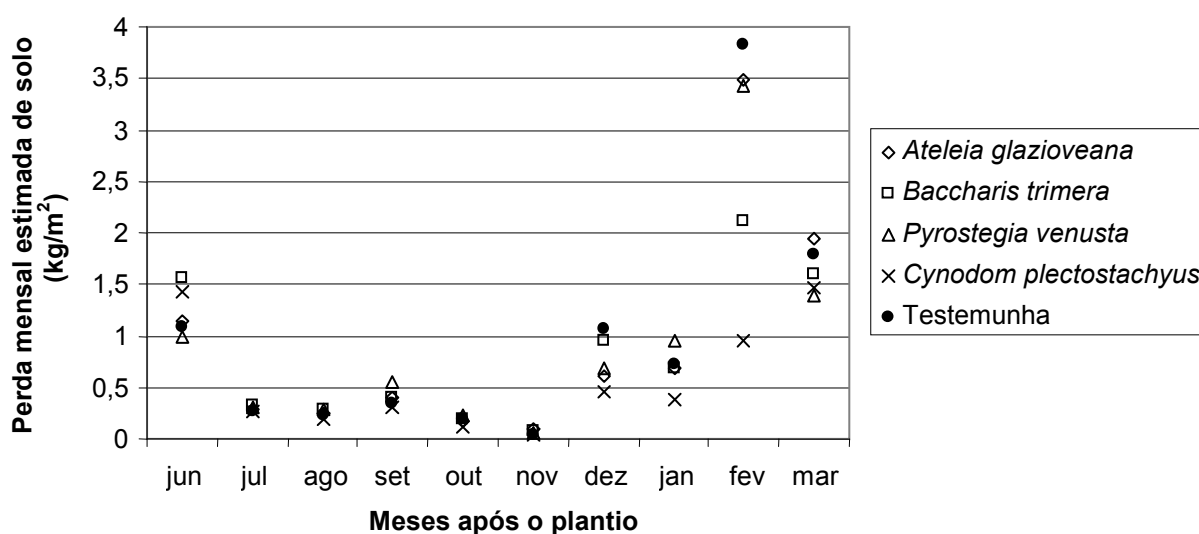
Varição devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade;

Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação = 21,46%

**Figura 74 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média acumulada de solo em talude, no período do 3º ao 12º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

De acordo com os resultados obtidos, *Cynodom plectostachyus* foi a espécie que apresentou melhor desempenho na proteção do talude contra a perda de solo por escoamento superficial. Estes dados seguem a mesma tendência dos resultados de perda de água obtidos entre os tratamentos. Apesar das outras espécies não diferirem estatisticamente do tratamento testemunha nos resultados para o período, observa-se, em média, um melhor desempenho destas, com vantagem para *Baccharis trimera*.

Os resultados de perda de solo mensal podem ser observados na Figura 75, que permite visualizar o nível de variação deste parâmetro no período entre o 3º e o 12º mês após o plantio. Da mesma forma discutida na perda de água por escoamento superficial, estes resultados obtidos estão relacionados a uma série de fatores ambientais que demandariam, para aprofundar a discussão, de um período mais prolongado e de um maior número de parâmetros estudados.



**Figura 75 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média mensal de solo em talude, no período do 3º ao 12º mês após o plantio. Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Observa-se que o maior desenvolvimento da cobertura vegetal no final deste período não foi suficiente para manter os mesmos níveis de perda de solo dos meses iniciais. Embora em menor intensidade, esta tendência também ocorreu na média das parcelas com *Cynodom plectostachyus*, tratamento que obteve o melhor desempenho em cobertura vegetal e que apresentou a maior redução na perda média acumulada de solo por escoamento superficial (aproximadamente 43%). Este aumento no processo erosivo parece estar mais relacionado às variáveis ambientais ligadas ao regime hídrico, apesar dos níveis de perda de água (Figura 68), não apresentarem a mesma tendência. O 11º mês após o plantio (fevereiro/2011) foi o período de maior precipitação mensal (375 mm) durante o experimento, com condições mais favoráveis ao processo erosivo, e que apresentou a maior diferença de perda de solo entre os tratamentos (Figura 75; Tabela 13).

Verifica-se que sob condições favoráveis à erosão, houve uma resposta significativa da revegetação do talude com *C. plectostachyus*, com redução de 75,5% na média de perda de solo, em comparação à testemunha. No caso dos outros tratamentos, *B. trimera* reduziu, em média, 44,8%; *P. venusta*, 10,2%; e *A. glazioveana*, 8,6% (Tabela 13). O menor desempenho de *A. glazioveana* e *P. venusta* deve estar atrelado principalmente ao menor índice de sobrevivência e baixo crescimento durante o período. Observando o desenvolvimento de alguns

indivíduos destas duas espécies acredita-se que a utilização de técnicas de cultivo que melhorem a sobrevivência e as condições de fertilidade deve resultar em melhoras significativas nos seus desempenhos e na redução da perda de solo.

**Tabela 13 – Efeito do cultivo de diferentes espécies na perda média estimada de solo em talude, durante o 11º mês após o plantio (fevereiro/2011). Cruz Alta, RS, Brasil (2011).**

Perda média estimada de solo (kg/m <sup>2</sup> )	Tratamentos				
	<i>Ateleia glazioveana</i>	<i>Baccharis trimera</i>	<i>Pyrostegia venusta</i>	<i>Cynodom plectostachyus</i>	Testemunha
Máximo	4,73	2,61	5,40	1,70	6,67
Média	3,49 a	2,11 ab	3,43 a	1,05 b	3,82 a
Mínimo	1,62	1,23	2,13	0,53	1,86

Referente ao mês de fevereiro de 2011; Precipitação: máxima diária, 90mm; e acumulada no mês, 375mm; Coeficiente de variação = 25,53%; Variação devido aos blocos não significativa ao nível de 5% de probabilidade; Média seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade; Análise estatística com dados transformados em "Log x" na base 10.

Considerando todo o período do experimento, de acordo com as perdas médias de solo obtidas nas parcelas experimentais, acumuladas nos 10 meses finais do primeiro ano de cultivo, pode-se fazer a seguinte estimativa de perda de solo e percentual de redução, em comparação à testemunha: Testemunha, 127,9 t/ha/ano; *Ateleia glazioveana*, 117,9 t/ha/ano (-8%); *Pyrostegia venusta*, 116,3 t/ha/ano (-9%); *Baccharis trimera*, 106,7 t/ha/ano (-17%); e *Cynodom plectostachyus*, 73,2 t/ha/ano (-43%).

Verifica-se que estes valores estão muito acima dos encontrados por Bertoni e Lombardi Neto (1999) que consideram, em geral, 12,5 t/ha/ano de tolerância de perda em solos profundos e bem drenados. Entretanto, para a condição de talude, os valores obtidos foram aproximados às perdas de solo encontradas por Fernandes (2004), em solo profundo, desnudo, em talude de corte em estrada, em condições similares de declividade e precipitação.

Neste caso, a perda média de solo da testemunha, nos três primeiros meses de avaliação, chegou à estimativa de 4,39 t/ha, valor inferior aos obtidos em igual período inicial por Fernandes (2004), que corresponderam a 5,89 t/ha em talude desnudo e 5,38 t/ha para um tratamento com manta comercial.

Torna-se oportuno destacar que, considerando a evolução deste processo erosivo ao longo do tempo, deve-se ter muito cuidado em estimativas temporais para



a comparação de resultados, pois podem não corresponder à dinâmica real do processo erosivo. Por exemplo, se a perda média obtida nos três primeiros meses (4,39 t/ha) para a parcela testemunha, sem vegetação, fosse estimada para o período de 12 meses, resultaria em um valor estimado de 17,56 t/ha/ano. Este valor, considerado moderado, de acordo com a classificação de Wall (1997) apud Trichês e Thives (2010), corresponde a apenas cerca de 13,7% do valor real obtido, classificado como severo, que foi na ordem de 127,90 t/ha/ano.

Apesar de não ter sido realizada a determinação no período entre os 360 e 540 dias após o plantio, espera-se uma tendência de redução nos níveis de perda de solo por escoamento superficial no período posterior aos 360 dias após o plantio, seguindo assim os resultados obtidos na determinação do rebaixamento do perfil do solo. Isto deve estar relacionado principalmente com o maior desenvolvimento da cobertura vegetal sobre o talude.

#### **4.4 Considerações sobre a aptidão biotécnica das espécies**

A análise da aptidão biotécnica das espécies estudadas deve ser realizada, em parte, de maneira distinta, devido às diferenças de hábitos de crescimento, fenologia e morfologia. O efeito das condições edafoclimáticas bastante adversas às quais estas espécies foram submetidas, principalmente durante o período de plantio, também deve ser destacado. Lembre-se ainda, que estudos desta natureza, na área da engenharia natural, devem assim ser conduzidos, de acordo com o preconizado por Schiechtl (1973 apud SUTILI, 2007).

##### **4.4.1 *Ateleia glazioveana***

Esta espécie apresentou resultados bastante promissores. Como espécie de hábito arbóreo, deve ser analisada de maneira diferenciada, principalmente em relação ao seu maior tempo de crescimento, o que impede uma análise completa e mais consistente da sua aptidão biotécnica. Seu uso deve ser criterioso, pois o porte arbóreo pode afetar as incidências de precipitação e luz solar diretas sobre o talude, o que pode comprometer o desenvolvimento de espécies rasteiras, além de potencializar o processo erosivo pelo efeito “rede-tributária-convergente”. A localização do plantio em arranjos adequados pode evitar estes efeitos indesejáveis

e inclusive proteger o talude e favorecer certas condições de microclima no talude. Recomenda-se que no cultivo de espécies arbóreas isoladas, em faixas ou grupamentos, a projeção da linha externa da(s) copa(s) não se localize sobre a rampa do talude.

Como leguminosa, apresenta grande potencial na recuperação da fertilidade do solo pelo aporte de nitrogênio e ciclagem de nutrientes. Considerando seu sistema radicular profundo pode proporcionar um efeito de ancoramento contra o movimento de massa de solo. A facilidade da rebrota possibilita o corte da parte aérea, o que evita que eventuais sobrecargas comprometam a estabilidade do talude.

Além da sua aptidão biotécnica, esta espécie possibilita a produção de lenha e biomassa para fertilizar solos agrícolas, possibilitando inserir as áreas de talude na geração de recursos econômicos, principalmente em pequenas propriedades. No caso da produção de biomassa, o que inclui folhas e galhos de pequeno calibre, os mesmos podem ser utilizados na proteção e fertilização do próprio talude.

Quanto ao estabelecimento inicial proporcionou índice de pegamento de estacas de 23%, considerado baixo a médio. Entretanto, pelas condições adversas, o mesmo pode ser visto como razoável. O uso de um melhor substrato e a escolha de uma melhor época (final de inverno) para o plantio provavelmente possam melhorar os resultados obtidos, que chegou a 40% em seu valor máximo. Acredita-se que a utilização de mudas seja a melhor alternativa, e que resulte em maior eficiência no estabelecimento e desenvolvimento inicial das plantas.

O comportamento caducifólio, considerando a época de plantio, interferiu negativamente na velocidade do desenvolvimento inicial das plantas. Entretanto, não evitou que as mesmas apresentassem o maior crescimento em altura entre as espécies para o período, e boa distribuição horizontal, com o desenvolvimento de diversos brotos por estaca. Apesar disto, seu hábito arbóreo resulta em biomassa aérea com arquitetura afastada da superfície do solo, o que a torna menos eficiente no controle da erosão superficial, se comparado às gramíneas.

A pequena redução (8%) na perda média de solo por escoamento superficial, comparada a do tratamento testemunha, foi influenciada pelo baixo percentual de pegamento de estacas e poderia ter atingido melhores resultados, no caso de melhor sobrevivência de plantas e cobertura vegetal. Em sua melhor parcela, esta

redução chegou a aproximadamente 43%, mesmo valor médio obtido nas parcelas de *Cynodom plectostachyus*, que foi a espécie de melhor desempenho médio.

Observou-se que a biomassa de desfolha teve rápida decomposição sobre o solo, o que reduziu sua persistência e o seu potencial de proteção contra a erosão. Por outro lado, este hábito caducifólio parece facilitar o estabelecimento de vegetação espontânea durante o inverno e primavera, o que, em parte, atenua esta deficiência.

As plantas estabelecidas mostraram-se responsivas à fertilidade do solo. Os indivíduos localizados nos níveis de menor fertilidade apresentaram sintomas de deficiência nutricional e desenvolvimento aéreo pouco desenvolvido durante o primeiro ciclo de crescimento. A partir da rebrota do segundo ciclo vegetativo, estes indivíduos apresentaram diminuição nos sintomas de amarelecimento e um significativo aumento no incremento da sua parte aérea, possivelmente relacionado ao desenvolvimento do sistema de raízes, da microbiota do solo e à simbiose com bactérias nitrificadoras, haja vista ser uma espécie leguminosa.

Durante a ocorrência de estiagem observou-se desfolha natural, o que reduziu o efeito de cobertura do solo resultando na maior incidência direta dos raios solares e consequente aquecimento do mesmo; entretanto, sem comprometer a sobrevivência das plantas que retomaram seu crescimento com a regularização das chuvas.

Pela evolução destas plantas, respeitada a necessidade do maior tempo de resposta, observa-se que foram, entre as espécies testadas a campo, a que apresentou a melhor adaptação aos baixos níveis de fertilidade das regiões inferiores do talude. Neste caso, o uso de mudas em substrato pré-inoculado poderia favorecer significativamente o desenvolvimento inicial nestas condições.

#### 4.4.2 *Baccharis trimera*

O estabelecimento inicial de *Baccharis trimera* foi considerado bastante satisfatório, com média de sobrevivência de 78,5%. Apesar do replantio demandado, o mesmo poderia ser reduzido ou evitado se o plantio fosse realizado em melhor época. No caso desta espécie, além das condições adversas, houve dois fatores que podem ser considerados agravantes: o fato das plantas estarem em fase final de floração quando da divisão das touceiras; e de não ter sido realizada poda aérea,

apenas realizado no sistema radicular das mudas, o que gera desequilíbrio entre a absorção de água e a perda por evapotranspiração.

Face o trabalho de preparação das mudas em raiz nua e os cuidados despendidos durante o seu manuseio, o emprego de mudas com substrato (produzidas em recipientes) pode ser uma opção interessante e que deve melhorar o percentual de pegamento e reduzindo os gastos de replantio.

Em talude, esta espécie apresentou hábito de crescimento ereto a semiprostrado, com forte heliotropismo nas parcelas com arborização à montante. Apesar do bom percentual de estabelecimento, seu desenvolvimento foi comprometido nos níveis de menor fertilidade do talude. Isto demonstra que, apesar de ser uma espécie nativa, está adaptada às condições de fertilidade natural da camada superior do latossolo, e que no caso das camadas mais profundas, em níveis inferiores no perfil do talude, necessita de fertilização para um bom desenvolvimento.

Um aspecto bastante positivo foi a intensa floração e boa dispersão das sementes, característica comum nas plantas do gênero *Baccharis* spp.. Decorrente disto houve efetiva revegetação natural desta espécie na área do experimento desde o primeiro ano, embora de forma bastante reduzida, através da dispersão de sementes das mudas. A partir da segunda floração houve uma maior revegetação natural de plantas, inclusive dentro de parcelas amostrais. Isto possibilita, por exemplo, o emprego desta espécie em áreas reduzidas, na forma de núcleos de dispersão.

Entre as espécies estudadas, esta apresentou visível interação com a fauna de insetos, como pulgões, cochonilhas, cigarrinhas e formigas. Apesar de muitos destes insetos serem considerados pragas e do considerável nível de ocorrência, o vigor demonstrado pelas plantas não justificaria o seu controle. Nos períodos de floração foi muito grande a presença de diversas espécies de abelhas, haja vista ser uma planta melífera, bem como de coleópteros. Estas características conferem à *B. trimera* um importante atributo ambiental, face à ação sistêmica destes elementos da fauna no processo de recuperação de áreas degradadas.

Apesar de seu sistema radicular ser pouco profundo o mesmo mostrou-se bastante ramificado e coeso, o que permite melhor agregação do solo nas camadas subsuperficiais colaborando contra o processo erosivo desta região. Entretanto, sua arquitetura aérea, embora densa e bem distribuída, não apresenta um contato íntimo

com o solo, o que confere uma menor eficiência no controle da erosão por escoamento superficial. Neste sentido, foi observado que os ramos mortos após a floração e que se desprendem da planta, acabam retidos sobre o solo formando barreiras junto as linhas de plantio, o que colabora contra o arraste de partículas do solo.

Esta espécie obteve o segundo melhor desempenho na perda média de solo entre os tratamentos, com redução de 17% em relação à testemunha, o que em termos absolutos equivale a consideráveis 21,2 toneladas de solo por hectare por ano. Nas parcelas dos blocos 3 e 4, de melhor fertilidade, *B. trimera* reduziu a perda de solo em relação à média da testemunha, em 38% e 27%, respectivamente. Acredita-se que o uso de fertilizantes no plantio poderia melhorar a sobrevivência e o desenvolvimento aéreo, além de ter reduzido ainda mais a perda de solo.

Observou-se, ainda, nas parcelas vegetadas com *B. trimera*, principalmente nas regiões de maior fertilidade e com maior biomassa aérea, uma inibição na revegetação espontânea, inclusive da própria espécie. Este efeito parece resultante da densa ramificação aérea, associada a um possível efeito alelopático do sistema radicular.

#### 4.4.3 *Pyrostegia venusta*

*Pyrostegia venusta* foi a espécie estudada que apresentou maior dificuldade no estabelecimento. Apesar do grande percentual de brotação obtido nas estacas, apresentou, em média, apenas 15,0% de estacas efetivamente pegadas. Isto ocorreu, possivelmente, pela falta de desenvolvimento do sistema radicular, que inviabilizou o estabelecimento definitivo. Uma das possíveis causas deste baixo desempenho, além das condições ambientais de temperatura, umidade e do leito de cultivo adversas, pode ser atribuída ao menor tamanho das estacas, ao reduzido número de gemas e a questões de natureza fisiológica da planta matriz, como o balanço hormonal, idade e época do ano.

Considerando os baixos percentuais de pegamento de estacas obtidos faz-se necessário o estudo de outras formas de propagação. Neste sentido, esta espécie apresenta boa produção de sementes, de fácil coleta e manipulação, e que notoriamente apresentam grande facilidade em germinar. Portanto, a semeadura direta ou a propagação por mudas parecem ser boas alternativas. Outro aspecto

adverso à sua propagação por estacas é o difícil manuseio das mesmas, devido à forma e disposição “emaranhada” dos ramos de plantas adultas no ambiente natural. Os ramos são bastante frágeis, de pouca flexibilidade e quebradiços, e requerem um manuseio cuidadoso. Também, é muito difícil distinguir a porção basal da estaca, sendo bastante fácil confundir-se durante a coleta e preparo das mesmas.

Esta espécie apresentou fraco desenvolvimento vegetativo nas áreas de menor fertilidade do talude, porém muito boa resposta nas plantas efetivamente pegadas nas áreas mais férteis. Entretanto, o tempo desta resposta foi mais longo, quando comparado ao das demais espécies estudadas. Sendo um cipó, de natureza heliófila, teve o desenvolvimento bastante reduzido na parcela sombreada por vegetação arbórea à montante, mesmo em melhores condições de fertilidade.

Como liana, apesar da ação gravitacional, esta espécie tende a crescer em direção à montante do talude. Mesmo em ramos inicialmente descendentes, pela falta de ponto de apoio, observa-se forte curvatura em até 180 graus, passando os mesmos a desenvolverem-se talude acima. Quando bem estabelecidas, as plantas apresentaram espessa folhagem, estendendo seus ramos e formando um emaranhado, inclusive invadindo parcelas vizinhas, onde passaram a se desenvolver sobre plantas de *Ateleia glazioveana*, *Baccharis trimera* e *Cynodom plectostachyus*, em áreas adjacentes. Entretanto, seu caule solto sobre o solo, requer pontos de fixação e apoio e nem sempre se desenvolveu em estreito contato com a sua superfície, o que pode reduzir seu efeito protetor contra o arraste de partículas de solo por escoamento superficial.

Os ramos mais finos e jovens foram afetados pela ocorrência de geadas severas; posteriormente, a planta retomou forte brotação substituta e sua folhagem bem desenvolvida não foi afetada pelas mesmas. Durante estiagens, também apresentou sintomas de murcha e desfolha parcial. Observou-se, ainda, que as áreas de cultivo ou onde esta espécie vegeta espontaneamente, inclusive em taludes à beira de rodovias, parecem não apresentar maiores riscos ou potencial de incêndio.

A baixa eficiência no controle da erosão por escoamento superficial, observada neste trabalho, deve-se basicamente ao reduzido número de plantas estabelecidas e ao baixo desenvolvimento nos níveis de menor fertilidade e áreas sombreadas do talude. Em média, reduziu a perda de solo por escoamento superficial, em comparação à testemunha, em 9%, semelhante à *Ateleia glazioveana*

(8%). Considerando que *Pyrostegia venusta* foi a espécie que apresentou os piores desempenhos, com 15% de média de sobrevivência de plantas e 32,2% média de cobertura vegetal sobre a rampa do talude, quando comparadas com *Ateleia glazioveana*, que obtiveram médias de 23% e 56,6%, respectivamente, observa-se que sua arquitetura foi mais eficiente na proteção do solo.

Em sua parcela de melhor desempenho, *Pyrostegia venusta* chegou a apresentar redução de até 28% na perda de solo. Estas características de desenvolvimento potencial e o desempenho obtido demonstram que *Pyrostegia venusta* apresenta aptidão para cobertura em taludes, inclusive em áreas de difícil estabelecimento da vegetação. Apesar de requerer maior fertilidade para seu pleno desenvolvimento, o grande vigor e dimensão de seus ramos permitem que seu cultivo seja realizado em núcleos ou faixas, localizadas na base, rampa ou topo do talude, em áreas mais férteis ou fertilizadas. A partir destas áreas, as plantas podem se desenvolver e expressar seu vigor sobre as áreas adjacentes de baixa fertilidade, contribuindo para sua proteção e recuperação.

Cabe ainda destacar o potencial ornamental desta espécie, seja pela beleza de sua florada ou pela textura da folhagem, que a fazem extremamente indicada para o paisagismo de taludes. No caso da retirada de ramos para produção de artesanato, o manejo deve ser criterioso para não comprometer o desenvolvimento da planta, nem seu efeito protetor.

#### 4.4.4 *Cynodom plectostachyus*

Entre os diversos parâmetros analisados, *Cynodom plectostachyus* foi a espécie que apresentou os melhores resultados. Esta espécie foi a que obteve o melhor estabelecimento inicial e no decorrer do período, com elevado percentual médio de mudas efetivamente pegadas (92,0% aos 540 dias após o plantio). As más condições edáficas, e principalmente as climáticas, ocorrentes no período de plantio resultaram na morte da parte aérea de boa parte das mudas logo após o plantio. Entretanto, houve rápida recuperação com emissão de rebrota. Observou-se, ainda, que os segmentos de estolões com nós ainda não enraizados apresentaram grande percentual de pegamento, não sendo verificado diferença entre as formas de propagação das mudas utilizadas, por rebentos e por segmentos de estolões.

Esta espécie também foi a mais eficiente no controle da erosão por escoamento superficial, em comparação com o tratamento testemunha, reduzindo em aproximadamente 43% a perda média de solo no período entre o 3º e 12º mês após o plantio. Esta redução oscilou nas parcelas entre 33% e 51%, aproximadamente. Em termos absolutos, a redução da perda média foi equivalente a cerca de 61 toneladas por hectare, no período de 10 meses (equivalentes a 73,2 ton/ha/ano). O desempenho desta espécie na proteção contra a erosão deve-se a sua morfologia, com a emissão de estolões em extensas linhas contínuas, enraizadas a cada nó e fixadas rente ao solo. Além da rapidez e vigor do crescimento destes estolões, sua sobreposição e a emissão de numerosa ramificação aérea (sendo emitida uma a cada nó) também foram importantes.

O hábito de crescimento estolonífero faz com que esta espécie seja apta para ser utilizada em sistemas de núcleos ou faixas de dispersão, que podem ser cultivadas no topo do talude, onde as condições de fertilidade são melhores. Desta forma, após estabelecidas, as plantas passariam a desenvolver-se sobre a rampa, em áreas de menor fertilidade. Em taludes de maior comprimento de rampa, o plantio em faixas de dispersão pode ser realizado em banquetas previamente fertilizadas, localizadas ao longo da rampa.

Esta espécie mostrou-se sensível à baixa fertilidade do solo nos níveis inferiores do talude. As mudas plantadas nestas áreas, apesar do bom percentual de pegamento, apresentaram sintomas de deficiência nutricional e um desenvolvimento aéreo bastante limitado. Neste caso, a cobertura vegetal obtida deve-se principalmente ao seu hábito estolonífero, onde vigorosos estolões oriundos de plantas localizadas nas camadas mais férteis do solo desenvolveram-se sobre estas áreas menos férteis. O melhor vigor e desenvolvimento aéreo dos ramos destes estolões devem-se ao fato de permanecerem ligados à planta-mãe, localizada em camadas mais férteis. Indica-se o uso de fertilizantes nestes casos, o que deve acelerar o crescimento de *C. plectostachyus* e ocasionar uma redução nos níveis de perda de solo por erosão.

Entre as características limitantes ou indesejáveis desta espécie foi observada susceptibilidade à geadas muito severas, onde houve formação e acúmulo de biomassa seca em certos períodos de inverno. A ocorrência de geadas causou a morte da ramificação aérea; entretanto, não chegou a matar as plantas, havendo nova rebrota a partir dos estolões.



A presença de ramos secos também pôde ser observada durante estiagens, mas principalmente nas áreas de menor fertilidade do talude. Apesar do melhor controle da erosão, sua resistência moderada às geadas pode resultar em risco de incêndio da biomassa seca. Desta forma, o risco de acúmulo de biomassa seca faz com que o emprego de *Cynodom plectostachyus*, em taludes localizados em beira de estradas, deva ser bem avaliado, principalmente em regiões de maior altitude (geadas severas) e/ou com regime pluviométrico de duas estações, a das chuvas e a da seca.

Acredita-se que seu comportamento invasor não deve ser considerado problema, haja vista as possibilidades de manejo de controle de invasoras e, principalmente, pelo fato desta planta não se multiplicar por sementes, o que dificulta sua dispersão.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem confirmar a hipótese de que há espécies vegetais no sul do Brasil aptas para o manejo biotécnico e recuperação de áreas degradadas de taludes e que ainda não são convencionalmente utilizadas, bem como outras espécies com potencial de uso, cujo valor de importância ambiental ainda não está completamente conhecido.

De acordo com as condições em que os estudos foram realizados, pode-se concluir:

### **- Quanto ao levantamento diagnóstico de taludes**

A ocorrência de áreas degradadas em taludes latossólicos na região de Cruz Alta, RS, é bastante comum, principalmente junto a estradas e rodovias, tanto em nível de solo como de vegetação. Estas áreas constituem-se em importante passivo ambiental.

Os principais tipos de problemas ocorrentes nos taludes degradados são: erosão laminar e por sulcos, deslizamentos de massas de solo e desmoronamentos na região do topo e da base do talude. Estes problemas são devidos à falta ou precariedade de cobertura vegetal, ao não desvio de águas pluviais, à inclinação excessiva da rampa e à ausência ou emprego insuficiente de técnicas de proteção e/ou estabilização.

A falta de cobertura vegetal nos taludes desta região está atrelada, principalmente, aos seguintes fatores: declividade excessiva e avanço do processo erosivo; baixo nível de fertilidade do solo ao longo do perfil transversal; uso de espécies vegetais e técnicas de manejo inadequadas; ocorrência de queimadas pelo acúmulo de biomassa seca; e dessecação da vegetação natural e cultivo agrícola junto ao talude;

As técnicas utilizadas até o momento, na construção e revegetação de taludes rodoviários na região de Cruz Alta, RS, não foram suficientes para garantir na integralidade do seu espaço e/ou ao longo do tempo, nem a sua estabilidade física, nem o pleno estabelecimento e desenvolvimento da cobertura vegetal.

### **- Quanto aos critérios de seleção de espécies de plantas**

Os critérios de seleção de espécies vegetais para uso no manejo biotécnico de taludes devem envolver, organizadamente, as diferentes áreas de estudo (geologia, biologia, ecologia, agronomia e engenharia) e as diversas características e efeitos das plantas, de modo a observar aspectos biotécnicos, biológicos, ecológicos e socioeconômicos, em uma escala hierárquica de prioridades, que deve ser desenvolvida de acordo com as principais necessidades de cada caso.

*Ipomoea cairica* (L.) Sweet, *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers, *Hedera canariensis* L., *Mikania glomerata* Spreng., *Baccharis trimera* (Lers), *Petunia integrifolia* (Hook.) Schinz et Thellung, *Rhynchosia corylifolia* Mart. Ex Benth., *Acanthospermum australe* (Loefl.) Kuntze, *Sambucus australis* Cham & Schlt., *Ateleia glazioviana* Baill., *Hibiscus rosa-sinensis* L. e *Lagerstroemia indica* L., pelas características apresentadas em ambiente natural, possuem potencial de uso no manejo biotécnico de taludes.

### **- Quanto aos aspectos ambientais relacionados ao manejo biotécnico dos taludes**

A fertilidade do solo em taludes de corte, em latossolo vermelho distrófico típico, apresenta limitações de natureza química, mais especificamente relacionada aos baixos teores de matéria orgânica, pH, fósforo, potássio e cálcio, à baixa saturação de bases e aos altos teores de alumínio. Estas condições tornam-se mais críticas à medida que se distancia do horizonte superficial, nos níveis inferiores do perfil do talude, onde se faz necessária a adição de corretivos e fertilizantes para o melhor desenvolvimento da vegetação.

A orientação geográfica do talude afeta a incidência de luz solar e a temperatura no talude, esta última em níveis bastante elevados e que podem prejudicar o desenvolvimento inicial e o estabelecimento de plantas na revegetação. Os taludes de exposição leste apresentam as piores condições para o estabelecimento vegetal, em função da maior temperatura do solo durante o verão.

Há diferenças de umidade e temperatura do solo entre as diferentes regiões do talude, sendo a região da crista, a que apresenta as piores condições, bem como grande vulnerabilidade à perda de solo devido à incidência direta da chuva.

A arborização exerce grande influência nas condições ambientais do talude, interferindo diretamente na incidência de água da chuva, de luz solar e na temperatura. Dependendo da espécie e/ou localização da mesma em relação ao talude, seus efeitos podem ser benéficos, relacionados à proteção do solo e a melhores condições para o desenvolvimento da revegetação, ou prejudiciais, pela redução do aporte de água e luz, e favorecimento do processo erosivo pelo efeito “rede-tributária-convergente”.

A região do topo do talude, acima da linha da crista, oferece condições que permitem o rápido estabelecimento e vigoroso desenvolvimento de revegetação espontânea, diferentemente da região da rampa, onde as condições de declividade e fertilidade impõem grande dificuldade no estabelecimento e desenvolvimento da mesma, sendo necessário o manejo biotécnico destas áreas, a fim de possibilitar o rápido desenvolvimento da cobertura vegetal e obter melhores níveis de proteção. O coveamento com o cultivo de mudas e estacas constituem-se práticas favorecedoras da revegetação espontânea na região da rampa de taludes.

#### **- Quanto ao desempenho das espécies cultivadas em talude**

Visando o emprego no manejo biotécnico de taludes, em latossolo, verificou-se que *Ateleia glazioviana*, *Baccharis trimera*, *Pyrostegia venusta* e *Cynodom plectostachyus* apresentam tanto características que as tornam aptas, em maior ou menor grau, como limitações. Portanto, o seu emprego deve considerar estas particularidades e as variadas condições ambientais que podem ocorrer entre os diferentes taludes e/ou regiões de um mesmo talude, de modo a explorar ao máximo os benefícios de cada espécie e técnica disponíveis, para a proteção e estabilidade do sistema.

O cultivo isolado de *Cynodom plectostachyus* reduziu significativamente as perdas de solo em talude latossólico. O cultivo das espécies nativas *Ateleia glazioviana*, *Pyrostegia venusta* e *Baccharis trimera*, em talude latossólico, pode resultar em níveis de controle de perda de solo por escoamento superficial comparáveis aos obtidos com *Cynodom plectostachyus*, de reconhecida aptidão.

Apesar dos taludes cultivados com *Cynodom plectostachyus* e com *Baccharis trimera* terem apresentado significativamente melhores índices de cobertura vegetal e sobrevivência, seguidos dos cultivados com *Ateleia glazioveana*, em comparação a *Pyrostegia venusta*, todas as espécies apresentaram potencial para melhorar e

aproximar os seus desempenhos nestes quesitos, através do uso de melhores práticas de cultivo.

## 5.1 Recomendações

A partir dos resultados obtidos, recomenda-se:

- A inclusão das áreas de taludes rodoviários na agenda ambiental das esferas governamentais e instituições públicas, uma vez que não há efetivas medidas de recuperação das mesmas por parte dos órgãos competentes, (exceto quando da eminência de risco ou comprometimento do trânsito de veículos, ou da estabilidade de construções) bem como difundir seu potencial de uso múltiplo, por estarem sendo subutilizadas;

- O desenvolvimento de técnicas de manejo que permitam o uso múltiplo sustentável de áreas de talude e que mantenham os benefícios estáveis ao longo do tempo, sendo este um importante desafio para a pesquisa na área da engenharia natural;

- Que ao cultivar espécies arbóreas isoladas, em faixas ou outras formas de agrupamento em áreas de taludes, a projeção da linha externa da(s) copa(s) não deve se localizar sobre a região da rampa.

A fim de melhorar a eficiência do manejo biotécnico de taludes, sugere-se que sejam realizados maiores estudos sobre:

- o emprego de *Ipomoea cairica* (L.) Sweet, *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers, *Hedera canariensis* L., *Mikania glomerata* Spreng., *Baccharis trimera* (Lers), *Petunia integrifolia* (Hook.) Schinz et Thellung, *Rhynchosia corylifolia* Mart. Ex Benth., *Acanthospermum australe* (Loefl.) Kuntze, *Sambucus australis* Cham & Schl., *Ateleia glazioviana* Baill., *Hibiscus rosa-sinensis* L. e *Lagerstroemia indica* L..

- a orientação geográfica dos taludes e sua influência sobre a incidência de luz solar, temperatura e revegetação destas áreas;

- o desenvolvimento de técnicas que possibilitem melhorar os benefícios da arborização e o seu emprego de forma segura;

- a dinâmica e interação ecológica das espécies nestes ambientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTREITER, W; PLUNGER, K. **Ingenieurbiologische Maßnahmen am Rio Guarda-mor Südbrasilien**. Diplomarbeit der Universität für Bodenkultur, Wien. 2004. 164 f.

ANIMOTO, P.Y. **Erosion and sediment control handbook**. Sacramento, State of California: Department of Conservation, 1978.

ARAÚJO, G. H. et al. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p. : il.

ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. In: **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, V. 7, n.4, p. 463-472, out./dez. 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1009>>. Acesso em: 2 dez. 2012.

BAGGIO, A. J. **Manual prático do Timbó – como alternativa para produção perene de adubo verde**. Colombo: Embrapa Florestas (Circular Técnica n. 68, dez., 2002, 8 p.).

BELTON, W. **Aves silvestres do Rio Grande do Sul**. 4.ed.atual. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2004. 175p., 105 il. (Publicações Avulsas FZB, 6).

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

BONA, C. M. DE et al. Estaquia de três espécies de Baccharis. **Revista Ciência Rural**, v. 35 no. 1, Santa Maria Jan/fev. 2005, p.223.

BRASIL. **Lei 12.727/12**. Altera a Lei 12.651/12 (Novo Código Florestal). Brasília, 2012. Disponível em [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br); acesso em 15/01/13.

BRASIL. **Novo Código Florestal**. Instituído pela Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. Brasília, 2012. Disponível em [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br); acesso em 04/07/12.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988. Disponível em [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br); acesso em 20/11/11.

BRASIL. **Farmacopéia Brasileira**. v. 2, 5. ed. /Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2010. 904p., 2v/il. Disponível em: <[www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br)>. Acesso em: 10 jan. 2012.

BRINGHENTI, A. M. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R. S. de; CONSTANTIN, J. (Coordenadores) **Plantas daninhas e seu manejo**. – Guaíba: Agropecuária, 2001. 362p.

BRODT, A. A. & FORNECK, E. D. **A utilização de poleiros artificiais na recuperação de matas ciliares e como as aves estão envolvidas neste processo.** In: X Salão de Iniciação Científica – PUCRS, 2009. Disponível em: <[http://www.pucrs.br/edipucrs/xsalaolC/Ciências\\_Biologicas/Ecologia/71009\\_ANDRE\\_AUGUSTO\\_BRODT.pdf](http://www.pucrs.br/edipucrs/xsalaolC/Ciências_Biologicas/Ecologia/71009_ANDRE_AUGUSTO_BRODT.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2012.

BURG, I. C. & MAYER, P. H. **Alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças.** 14. ed. Francisco Beltrão: ASSESOAR, 2001. 153 p.

CANTARELLI, E. B. et al., Efeito de diferentes doses do formicida “Citromax” no controle de *Acromyrmex lundii* (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 249-253, 2005.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM - Agri : Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, V.1, N.2, p.18-24. 2001.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos.** 6. ed. revisada e ampliada. V. 1. – Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003a. 234 p. il.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações:** Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra. 6. ed. revisada e ampliada. V. 2. – Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003b. 498 p. : il.

CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M. & PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (editores técnicos) **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso.** Colombo : Embrapa Florestas, 2005. p.27-45.

CARVALHO, P. A. S. de (coord.). **Manual de geotecnia: taludes de rodovias. Orientações para diagnósticos e soluções de seus problemas.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 206 p. (Publicação IPT; n. 1843)

CARVALHO, P. E. R. Técnicas de Recuperação e Manejo de Áreas Degradadas. p. 251-268. In: GALVÃO, A. P. M. & PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (editores técnicos) **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso.** Colombo : Embrapa Florestas, 2000. 351p.; il.

CARVALHO, P. E. R. **Timbó.** Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 7 p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 57).

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul.** – Brasília: MMA, 2011. 934p. : il. color.

CORRÊA JÚNIOR, C.; GRAÇA, L. R.; SCHEFFER, M. C. (Org.) **Complexo agroindustrial das plantas medicinais, aromáticas e condimentares no Estado**

**do Paraná: diagnóstico e perspectivas.** Curitiba: Sociedade Paranaense de Plantas Medicinais: EMATER-PR; [Colombo] : Embrapa Florestas, 2004. 272 p.

CORRÊA JÚNIOR, C.; MING, L.C.; SCHEFFER, M. C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas.** 2. ed., Jaboticabal, FUNEP, 1994. 162 p. : il.

COUTO, L. et al. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil,** Viçosa, MG: CBCN, 2010. 118p. : il. (Boletim técnico CBCN n. 1).

CRAIG, R. F. **Graig's soil mechanics.** 7. ed. – London: SPON PRESS, 2005. 447 p. il.

DA SILVA, M. O. C. C. B. da. **Estaquia caulinar de ateleia glazioveana Baillon, Leguminosae – Papilionoideae.** 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DAER. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul. **Instruções para sinalização viva das rodovias estaduais.** Porto Alegre: GRAFOSUL, 1976. 40p.

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

DISARZ, R. **Desenvolvimento tecnológico em bioengenharia de solos aplicável a programas de restauração ecológica.** 2011. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2011.

DURIGAN, G. Restauração da cobertura vegetal em região de domínio do cerrado. *In:* GALVÃO, A. P. M. & PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (editores técnicos) **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso.** Colombo : Embrapa Florestas, 2005. p. 103-118.

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

EINLOFT, R. et al. Índice de priorização para avaliar a contenção vegetativa em talude rodoviário de saprolito de gnaiss, na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Bragantia.** Campinas : V. 68, n.1, p.205-214, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS FLORESTAIS (EMBRAPA-CNPQ). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina,** por Antonio Aparecido Carpanezzi e outros. Curitiba, EMBRAPA\_CNPQ, 1988. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** – Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 412p. : il.



FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C. **Propagação de plantas frutíferas**. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 221 p. ; il.

FARIAS, J. G. **O reflorestamento como reparação de dano ambiental na Região do Alto-Jacuí, RS**. Cruz Alta: UNICRUZ, 2005. (Monografia em Ciências Biológicas) 45p.

FERNANDES, L.S. **Avaliação de mantas comerciais na vegetação de talude em corte de estrada**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FLORA-RS. **Flora Digital**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2011. Disponível em: <[www.ufrgs.br/fitoecologia/florars](http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars)>. Acesso em: 11 dez. 2011.

GAVA, A. *et al.* Intoxicação por *Ateleia glazioviana* (Leg. Papilionoideae) em Bovinos. **Revista Pesquisa Veterinária Brasileira**. [S.l.]: v. 21, n. 2, p. 49-59, abr./jun., 2001.

GERRARD, J. **Fundamentals of soils**. – New York : ROUTLEDGE, 2000. 230 p.: il.

GLUFKE, C. **Espécies florestais recomendadas para recuperação de áreas degradadas**. Porto Alegre: FZB. Jardim Botânico, 1999. 48p. il. (Publicações Avulsas FZB, 8)

GRIME, J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Amer. Nat.* 111 : 1169-1195 (1977)

GROVER, J. P. **Resource competition**. 1<sup>st</sup> Edition – London : Chapman & Hall, 1997. (Population and Community Biology Series). Disponível em: <<http://www.books.google.com.br>>. Acesso em 4 abr. 2013.

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

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgar Blucher, 1983.

GUSTMAN, L. G. D.; OLIVEIRA, A. A. B.; MIKICH, S. B. **Aves que utilizam poleiros artificiais em áreas degradadas de floresta Atlântica**. *In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. 23 a 28 de Setembro de 2007. Caxambu, MG: Sociedade de Ecologia do Brasil. Disponível em: <<http://www.sob-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/2035.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

HDCF. **Herbário do Departamento de Ciências Florestais/Universidade Federal de Santa Maria**. Santa Maria: DCF/UFSM, 2011. Disponível em [w3.ufsm.br/herbarioflorestal](http://w3.ufsm.br/herbarioflorestal); acesso em 10/01/12.

HOFFMANN, G. R. et. al.; **Rio Grande do Sul: aspectos da geografia**. Organizado por Harry Rodrigues Bellomo. – Porto Alegre : Martins Livreiro, 1990. 3ª ed. 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (IBAMA). **A Lei da Natureza**. Disponível em [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br); acesso em 12/12/09.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. / Hedge Henriette Sokolonski (Coordenadora). – Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1999. 58 p.: il. (Manuais Técnicos em Geociências, Número 7).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br); acesso em 12/01/2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 2.ed. – Rio de Janeiro, 2007. 316p. (Manuais Técnicos em Geociências, Número 4)

JESUS, R. M. & ROLIM, S. G. Experiências relevantes na restauração da mata atlântica. In: GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (editores técnicos) **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo : Embrapa Florestas, 2005. p. 59-86.

KÄMPF, A. N. (Coord.) **Produção comercial de plantas ornamentais**. – Guaíba : Agropecuária, 2000. 254p. ; il. (115-123)

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. 2001. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. – 2. ed. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301p. il.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. – Nova Odessa, SP : Instituto Plantarum, 2008. 672 p. : il.

LORENZI, H. & SOUZA, H. M. de. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. - 4. ed. - Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 1120 p.

MACANHÃO, P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; CARPANEZZI, A. A.; TAVARES, F. R. **Enraizamento de cipó-de-são-joão (*Pyrostegia venusta* Miers.) pela aplicação de IBA e NAA**. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 2., 2003, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. (Documentos, 86). Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 29/08/11.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. – 3. ed. amp. – Santa Maria: Ed. da UFSM, 2008. 310p. : il.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, v. 8 n. 1, 2000.

MANTOVANI, W., MARTINS, F. R. O método de pontos. **Revista Acta botânica brasílica**. V. 4, n.2, p. 95-122: 1990. Disponível em [www.scielo.br/pdf/abb/v4n2s1/v4n2s1a11pdf](http://www.scielo.br/pdf/abb/v4n2s1/v4n2s1a11pdf); Acesso em 13/08/2010.

MANUAL de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Núcleo Regional Sul-Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. – 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400 p. : il.

MANUAL de conservação do solo e água. 3. Ed. . Porto Alegre, Rio Grande do Sul/Secretaria da Agricultura, 1985.

MARTINS, L. C; WILDNER, W.; HARTMANN, L. A.. Estratigrafia dos derrames da Província Vulcânica Paraná na região oeste do Rio Grande do Sul, Brasil, com base em sondagem, perfilagem gama-espectrométrica e geologia de campo. **Pesquisas em Geociências**, 38 (1), Porto Alegre, RS: Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jan./abr. 2011, p.15-27. Disponível em: <<http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br/3801/02-3801.pdf>>. Acesso em 10/07/2012.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: Leguminosas**. – 2. ed. – Santa Maria : Ed. da UFSM, 2007. 199p. : il.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. – Porto Alegre : Ed. Est, 2002. 118p.

MELLO et al. **Fertilidade do solo**. – São Paulo: Nobel, 1985. 400p.

MEURER, E.J. et.al. **Fundamentos de química do solo**. Egon J. Meurer, editor— Porto Alegre: Gênese, 2000. 174p.: il.

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

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. – 2.ed. revisada e ampliada – Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.: il.

MORGAN, R. P. C. & RICHISON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control – a bioengineering approach**. London : E & FN Spon, 1995.

PAUL, E. A. & CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. – San Diego: ACADEMIC PRESS, 1996. 340 p.: il.

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e Interpretações**. – 2.ed. – Castro, PR: Fundação ABC, 2004. 86p.: il.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Aloísio Rodrigues Pereira. Belo horizonte, MG : Editora FAPI, 2006. 150p.

PINTO, C. de SOUZA. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.: il.

RANAL, M. A. & SANTANA, D. G. Delineamento experimental. *In*: Ferreira A. G. & Borguetti F. (Orgs.) **Germinação**. Do básico ao aplicado. Cap. 11. – Porto Alegre: ARTMED, 2004. 323p. : il.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; CURTIS, H. **Biologia vegetal**. Traduzido por Patrícia Voeux.. [et al.], sob supervisão de Carlos Toledo Rizzini. – 2ª. Ed. – Rio de Janeiro : Guanabara Dois, 1985. 724p. il. (p. 425-426)

REIS, M. S. dos. Manejo Sustentado de plantas medicinais em ecossistemas tropicais. *In*: DI STASI, I. C. (Org.). **Plantas medicinais: arte e ciência**. Um guia de estudo interdisciplinar. São Paulo: Editora UNESP, 1996. 230 p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues: CORAG, 1988. 525p.

RIO GRANDE DO SUL. **Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul**. Instituído pela Lei 11.520 de 03 de agosto de 2000. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <[www.semars.gov.br](http://www.semars.gov.br)>. Acesso em: 20 nov. 2011.

RIO GRANDE DO SUL. **Código Florestal do Rio Grande do Sul**. Instituído pela Lei Estadual nº 9.519, de 21/01/1992. Porto Alegre, 1992. Disponível em: <[www.semars.gov.br](http://www.semars.gov.br)>. Acesso em 20 nov. 2011.

RIO GRANDE DO SUL. **Normas básicas para o manejo dos recursos florestais nativos do Estado do Rio Grande do Sul de acordo com a legislação vigente**. Estabelecidas pelo Decreto Estadual nº 38.355, de 01 de abril de 1998. Porto Alegre, 1998. Disponível em: <[www.semars.gov.br](http://www.semars.gov.br)>. Acesso em 20 nov. 2011.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Convênio FUNDACEP/BASF. Cruz Alta: FUNDACEP/FECOTRIGO, 1995. 134p.

SILVA, F. de A. S. e & AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

SIMÕES, C. M. O. et al. **Plantas da medicina popular do Rio Grande do Sul**. 4. ed. – Porto Alegre : Ed. da Universidade/UFRGS, 1995. 173 p.

SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. il. inclui apêndices.

SOBRAL, M. *et al.* **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**/Organizado por Marcos sobral e João André Jarenkow – São Carlos. RiMa: Novo ambiente, 2006. 350p.

SOUZA, V. C. & LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II.** – 2 ed. – Nova Odessa, SP : Instituto Plantarum, 2008. 704 p.: il.

STRECK, E. V., *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

SUTILI, F. **Bioengenharia de solos no âmbito pluvial no sul do Brasil.** Espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática. 2007, 94 f. Tese de Doutorado - Universidade Rural de Viena-BOKU, Áustria. 2007. f. 94

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p. il.

TRES, D. R. et al. Poleiros artificiais e transposição de solo para a restauração nucleadora em áreas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 312-314, jul.2007. (Nota Científica)

TREVISAN, R., ANTUNES, L.E.C., GONÇALVES, E.D. **Propagação de plantas frutíferas nativas** pg 47 a 70 *in*: Espécies frutíferas nativas do Sul do Brasil / Editores Maria do Carmo Bassols Raseira [et.al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 122p. il. (Embrapa Clima Temperado. Documento, 129).

TRICHÊS, G., THIVES, L. P. **Geotecnia e Meio Ambiente.** Grupo de Pesquisa Rodovias Verdes – A sustentabilidade na mobilidade. UFSC. Disponível em: <<http://rodoviasverdes.ufsc.br/files/2010/05/geotecnia-ambiental-parte-4.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2012.

VIEIRA, N. K. **Baccharis crispa (carqueja)** pg. 550 a 551 *in*: Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul / CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A.– Brasília: MMA, 2011. 934p. : il. color.