

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura**

Mariana Stein

**Avaliação da erosão em taludes de mineração de areia tratados
com coberturas vegetais e geotêxtil - experimento de campo**

Porto Alegre
Outubro de 2021

Mariana Stein

Avaliação do controle de erosão em taludes de mineração de areia quando recuperados com diferentes coberturas vegetais e geotêxtil - experimento de campo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Prof. PhD. Luiz Antônio Bressani
PhD. em Mecânica dos Solos pelo Imperial
College, Londres

Orientador

Prof. Dr. Gerhard Ernst Overbeck
Doutor em Ciências Naturais (Dr. rer. nat.)
pela Technische Universitaet Muenchen,
Alemanha

Coorientador

Porto Alegre
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitor: Patrícia Pranke

ESCOLA DE ENGENHARIA

Diretora: Carla Schwengber ten Caten

Vice-Diretor: Afonso Reguly

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – CONSTRUÇÃO E
INFRAESTRUTURA

Coordenador: Angela Danilevicz

Vice-Coodenador: Carlos Torres Formoso

Ficha cartográfica

MARIANA STEIN

Avaliação do controle de erosão em taludes de mineração de areia quando recuperados com diferentes coberturas vegetais e geotêxtil - experimento de campo

Esta dissertação de mestrado foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 21 de outubro de 2021

Prof. Luiz Antônio Bressani

PhD. pelo Imperial College, University of London
Orientador

Prof. Angela Danilevicz

Coordenador do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rinaldo José Barbosa Pinheiro (UFSM)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Sandra Cristina Müller (UFRGS)

Doutora pela Universidade de Passo Fundo, Brasil

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

*Dedico este trabalho a todos
que atuam em prol do meio
ambiente de forma genuína*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, de forma geral, a todos, familiares, amigos, colegas da FEPAM e do mestrado, professores, que, de alguma forma, tiveram grande importância para mim durante esta jornada do mestrado, seja por incentivos, uma palavra de apoio ou conhecimento transmitido.

Quanto aos agradecimentos específicos:

À UFRGS e ao PPGCI, por estarem de portas abertas para mim e possibilitar que eu realizasse o mestrado acadêmico, que era um sonho de vida.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Antônio Bressani, e ao meu coorientador, Prof. Gerhard Ernst Overbeck, pela dedicação e transferência de conhecimentos ao longo do mestrado.

À bióloga Ana Porto, por me auxiliar com levantamentos, medições e análise da vegetação estudada neste trabalho.

Ao Adilson Ferrari, por acreditar no meu projeto e por possibilitar sua instalação. Agradeço por toda a sua ajuda na instalação, nos monitoramentos e por ser os meus olhos quando eu não podia estar presente no experimento. Sou grata pelas nossas conversas durante os experimentos, que eram um momento de esquecer que estávamos em plena pandemia, bem como por todo seu conhecimento e experiência da vivência de campo que me transmitiu durante este período.

À Goufe Mineração – Eireli, por acreditar no meu projeto, por me autorizar a instalação do meu experimento em sua área e por todo o suporte dado.

À minha família, Tatiana Stein (irmã), Ângela Stein (mãe), Patrícia Carra (sogra), Gilmar Carra (sogro) e Sara Carra (cunhada), pelo apoio, incentivos, conversas e ajudas ao longo do mestrado. Também não poderia deixar de agradecer meu pai, Renato Stein, que, apesar de não estar mais presente durante o mestrado, teve grande importância na pessoa que me tornei, que me possibilitou enfrentar as adversidades encontradas neste período.

À minha irmã, Marcela Stein, por participar, comemorar, opinar e incentivar cada etapa conquistada no mestrado. Também, não posso deixar de agradecer pela ajuda na instalação do experimento, que significou em perder dois dias das suas férias para cavar, plantar e cavar mais um pouco, mas, mesmo assim, este período foi levado por ela com muita alegria e empolgação.

Por fim, e não menos importante, ao meu marido, Bolívar Carra. Sei que palavras são poucas para demonstrar aqui o meu agradecimento. Agradeço pelo apoio incondicional, pelo amor, por sempre me fazer seguir em frente, por mostrar que tudo tem uma solução, por ter sido a

minha razão em muitos momentos, por entender a minha ausência, por vibrar e comemorar cada etapa conquistada, por saber escutar, pelos diversos palpites e achar muitas vezes as soluções dos meus problemas, por me ajudar durante todo o meu mestrado. Obrigada por ser meu companheiro de vida e por fazer essa jornada do mestrado mais leve com a tua presença.

“A sensação de “dei o melhor de mim” é uma das
mais vitalizantes humanas. Especialmente pela
paz de espírito que proporciona”

Sérgio Cortella

RESUMO

A escolha da vegetação para a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração de areia no RS é geralmente feita a partir de conhecimentos empíricos no controle de processos erosivos utilizando espécies disponíveis no mercado, exóticas na sua maioria. A ausência de informações quantitativas sobre o desempenho de diferentes espécies e da aplicação de geotêxtil no controle da erosão é um limitante na melhor recuperação de áreas degradadas. Este trabalho estudou a influência de diferentes espécies herbáceas, exóticas ou nativas, e da utilização de geotêxtil no controle de erosão, com foco em taludes de lavra de materiais francamente arenosos. Foi instalado um experimento de campo composto por 3 blocos repetidos, com 8 combinações de tratamento, sendo 2 fatores de controle, a ‘vegetação’ e o ‘geotêxtil’, gerando um total de 24 parcelas experimentais. O fator ‘vegetação’ foi definido ou pelo plantio de diferentes espécies herbáceas (*Chrysopogon zizanioides*; *Arachis repens*; uma mistura de plantas presente na área de estudo - mix; um bloco sem plantio - controle), correspondendo a um total de 4 níveis. Já o fator ‘geotêxtil’ teve 2 níveis, com aplicação ou não de juta. O experimento foi monitorado por 07 meses (nov/20 a jun/21), sendo medidos ao longo deste período, em cada parcela, (a) a massa de solo erodido, (b) o volume escoado de água, (c) a taxa de sobrevivência dos indivíduos plantados, (d) a cobertura vegetal. Entre as espécies selecionadas para o experimento, a espécie *Arachis repens* (Grama Amendoim) foi a que teve o melhor desempenho quanto ao controle de erosão e redução do escoamento superficial, além de apresentar melhor taxa de sobrevivência, seguido pelo mix de plantas locais. O estudo também demonstrou que a vegetação tem um efeito melhor definido no controle da erosão do solo somente quando a taxa de cobertura vegetal é superior a 25%, já que para taxas menores todos os tratamentos, incluindo o controle, apresentaram o mesmo comportamento frente a erosão. Com relação ao uso de geotêxtil na cobertura do solo como auxílio no controle da erosão, os resultados foram considerados indiferentes, ou mesmo prejudiciais, no controle de erosão do solo, e também não mostraram ganhos no desenvolvimento da vegetação plantada quando comparados ao plantio realizado diretamente no solo, sem proteção.

Palavras-chave: *recuperação ambiental, erosão, vegetação herbácea, geotêxtil, extração de areia, mineração.*

ABSTRACT

The choice of vegetation for the recovery of degraded areas due to sand mining activity in RS is generally based on empirical knowledge of the erosive control processes using species available on the market, mostly exotic. The absence of quantitative information about the field performance of the different plant species and the application of geotextiles in the control of soil erosion is a limiting factor for better recovery of degraded areas. This work aimed to study the influence of herbaceous application, exotic or native species, and the use of geotextiles in the soil erosion control, focusing in the recovery of degraded sand mining areas. A field experiment was installed consisting of 3 random blocks combining 8 treatment components, containing 2 factors, 'type of vegetation' and 'geotextile', generating a total of 24 experimental plots. The factor 'vegetation' was defined either by planting different herbaceous species (*Chrysopogon zizanioides*; *Arachis repens*; a mixture of plants presents in the study area – mix; or an vegetated block - called control planting), generating a total of 4 levels. The 'geotextile' factor was delineated with 2 levels, which corresponded to the application of jute or not. The experiment was monitored for 07 months (20/Nov to 21/Jun) with the following measurements taken in each plot: (a) the mass of eroded soil, (b) the runoff water volume, (c) the rate of plants survival, (d) the vegetation cover. Among the vegetation selected for the experiment the *Arachis repens* showed the best control of soil erosion and the highest survival rate, followed by the mix of local plants of the area. The study also demonstrated that vegetation effect on soil erosion control is only measurable when the vegetation cover rate is higher than 25%, as bellow this rate all treatments showed the same behavior against erosion, including the control with no plants. As for the use of geotextile to aid the slope recovery, the material showed results considered indifferent or even negative in the control of soil erosion, and also did not show any gain in the development of planted vegetation when compared to the planting directly in the soil, without protection.

Keywords: *Environmental restoration, erosion, herbaceous vegetation, geotextiles, sand extraction.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Talude rodoviário antes e após o plantio da espécie <i>Chrysopogon zizanioides</i> , observando-se o efeito da vegetação quanto ao controle de erosão junto às faces dos taludes.	5
FIGURA 2 - Comparação entre sistema radicular pivotante (esquerda) e fasciculado (direita).	14
FIGURA 3 - Diferentes padrões de raízes.	15
FIGURA 4 - Tipos de erosão em taludes de solo em aterro.	17
FIGURA 5 - Relação entre o tamanho médio de partícula do solo e a energia da chuva necessária para se desprender 1 kg de sedimento. A área sombreada mostra a gama de valores experimentais.	19
FIGURA 6 - A taxa da perda de solo representa a proporção da perda de solo com cobertura vegetal em relação ao solo descoberto. A cobertura de vegetação é a proporção do solo protegida do impacto da gota de chuva pela vegetação. As linhas denotam vegetação em diferentes alturas (m).	20
FIGURA 7 - Equações lineares geradas a partir de algumas pesquisas, demonstrando a correlação inversamente proporcional entre as coberturas vegetais com a taxa de escoamento superficial.	21
FIGURA 8 - Diferentes tipos de raízes no controle de erosão do solo.	23
FIGURA 9 - Exemplos de parcelas experimentais utilizadas no Brasil.	25
FIGURA 10 - Componentes de uma parcela experimental utilizada para medir a erosão em campo.	26
FIGURA 11 - Geotêxteis biodegradáveis tendo como matérias-primas fibra de coco e palha agrícola.	30
FIGURA 12 - Cobertura de hidrossemeadura de solo arenoso com geração de focos erosivos após o período de chuvas.	34
FIGURA 13 - Localização do Município de Viamão no Estado do Rio Grande do Sul.	36
FIGURA 14 - Talude com plantio de <i>Vetiver</i> (<i>Chrysopogon Zizanioides</i>).	38
FIGURA 15 - Imagem da espécie <i>Arachis repens</i> <i>Handro</i>	38
FIGURA 16 - Vista geral da vegetação de colonização espontânea da área objeto de estudo.	39
FIGURA 17 - Imagem da espécie <i>Paspalum nicorae</i> <i>Parodi</i> , sendo possível observar a morfologia do sistema radicular.	40
FIGURA 18 - Imagem da espécie <i>Vernonanthura nudiflora</i> (<i>Less</i>) <i>H.Rob</i>), presente na área objeto de estudo.	40
FIGURA 19 - Imagem da espécie <i>Glandularia peruviana</i> (<i>L.</i>) <i>Small</i> presente na área objeto de estudo.	41
FIGURA 20 - Imagem da espécie <i>Digitaria eriantha</i> presente na área objeto de estudo.	42
FIGURA 21 - Planta baixa dos tratamentos e blocos aplicados no experimento.	43
FIGURA 22 - Perfil representativo de uma parcela experimental.	43
FIGURA 23 - Distribuição e espaçamentos do plantio de cada indivíduo nas parcelas experimentais.	46
FIGURA 24 - Vista geral do experimento (em 10/02/21).	46
FIGURA 25 - Procedimentos de monitoramento do experimento e coleta dos sedimentos.	48
FIGURA 26 - Procedimentos adotados para medir os atributos funcionais da vegetação plantada sobre dois tratamentos (juta e solo exposto).	51
FIGURA 27 - Fatores não controláveis referente ao experimento.	58
FIGURA 28 - Evolução da cobertura da parcela experimental do bloco 3 - mix.	75

FIGURA 29 - <i>Evolução da cobertura da parcela experimental do bloco 3 – Arachis repens..</i>	76
FIGURA 30 - <i>Gráficos das análises comparativas com e sem juta nos meses de fevereiro e junho.</i>	79
FIGURA 31 - <i>Laudo emitido pelo laboratório de agronomia de solos da UFRGS.....</i>	99

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - <i>Reta de calibração dos baldes utilizados no experimento.</i>	48
GRÁFICO 2 - <i>Box-plot das massas da perda de solo para identificação dos outliers.</i>	59
GRÁFICO 3 - <i>Box-plot do volume de água acumulado nos baldes referente a cada período de coleta. Não sendo identificada a presença de outliers.</i>	63
GRÁFICO 4 - <i>Média de sobrevivência dos indivíduos plantados por tratamento e por período.</i>	65
GRÁFICO 5 - <i>Box-plot referente à medição do atributo de comprimento foliar relacionados ao Chrysopogon zizanioides.</i>	67
GRÁFICO 6 - <i>Box-plot referente à medição do atributo de número de perfilos relacionados ao Chrysopogon zizanioides.</i>	68
GRÁFICO 7 - <i>Box-plot referente ao atributo número de ramos da Arachis repens.</i>	69
GRÁFICO 8 - <i>Box-plots do atributo funcional de comprimento específico de raiz medido somente no final do experimento para as espécies Arachis repens, Paspalum nicorae, Digitaria eriantha e Chrysopogon zizanioides.</i>	70
GRÁFICO 9 - <i>Box-plots do atributo funcional de comprimento de raiz medido somente no final do experimento para as espécies Arachis repens, Paspalum nicorae, Digitaria eriantha e Chrysopogon zizanioides.</i>	71
GRÁFICO 10 - <i>Box-plots do atributo funcional massa seca de raiz medido somente no final do experimento para as espécies Arachis repens, Paspalum nicorae, Digitaria eriantha e Chrysopogon zizanioides.</i>	72
GRÁFICO 11 - <i>Box-plots do atributo funcional massa seca da porção aérea medido somente no final do experimento para as espécies Arachis repens, Paspalum nicorae, Digitaria eriantha e Chrysopogon zizanioides.</i>	73
GRÁFICO 12 - <i>Cobertura vegetal média para cada tratamento.</i>	74
GRÁFICO 13 - <i>Taxa de cobertura média da colonização espontânea.</i>	77
GRÁFICO 14 - <i>Cobertura das espécies identificadas nas parcelas do experimento em fevereiro.</i>	78
GRÁFICO 15 - <i>Cobertura das espécies identificadas nas parcelas do experimento em junho.</i>	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - <i>Efeito mecânico da vegetação sobre o solo a diferentes profundidades</i>	10
TABELA 2 - <i>Efeito hidráulico da vegetação sobre o solo para diferentes profundidades</i>	12
TABELA 3 - <i>Principais nutrientes, minerais, disponibilidade nos solos tropicais e necessidade das plantas em sistemas naturais</i>	27
TABELA 4 - <i>Leguminosas utilizadas na recuperação de áreas degradadas (RAD) no Brasil</i>	32
TABELA 5 - <i>Método de estimativa de cobertura de cada espécie identificada na parcela experimental</i>	49
TABELA 6 - <i>Análise granulométrica dos blocos estudados</i>	55
TABELA 7 - <i>Análise quanto à graduação das amostras</i>	56
TABELA 8 - <i>Caracterização química do solo anterior à instalação do experimento</i>	56
TABELA 9 - <i>Precipitação acumulada para os períodos de coleta de sedimento</i>	57
TABELA 10 - <i>Média das massas da perda de solo (g) por tratamento</i>	59
TABELA 11 - <i>Média do volume escoado (l) por tratamento</i>	63
TABELA 12 - <i>Massa da perda de solo das parcelas experimentais para cada coleta realizada ao longo do experimento</i>	100
TABELA 13 - <i>Análise de normalidade dos dados referente à coleta de sedimento</i>	101
TABELA 14 - <i>Resultado da ANOVA para os dados referentes à coleta de sedimento. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V)</i>	101
TABELA 15 - <i>Para o fator de controle ‘vegetação’, referente à coleta de 10/02/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida</i>	102
TABELA 16 - <i>Para o fator da interação entre os tratamentos referente à coleta de 10/02/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações com o tipo de cobertura que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida</i>	102
TABELA 17 - <i>Para o fator da interação entre os tratamentos referente à coleta de 06/04/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações com o tipo de cobertura que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida</i>	103
TABELA 18 - <i>Nível de água (m) medido nos baldes por período de amostragem</i>	104
TABELA 19 - <i>Volume estimado de água (L) acumulado nos baldes a partir da equação de calibração dos baldes</i>	105
TABELA 20 - <i>Volume de água escoado nas parcelas experimentais em decorrência dos eventos de chuvas</i>	106
TABELA 21 - <i>Análise de normalidade dos dados referente ao volume de água escoado nas parcelas</i>	107
TABELA 22 - <i>Resultado da ANOVA para os dados referentes ao volume de água escoado. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V)</i>	107
TABELA 23 - <i>Para o fator referente à vegetação, cuja medida foi realizada em 18/012/2020, estão representados em vermelho os níveis que tiveram diferença significativa quando comparados às médias de volume escoado (L)</i>	108
TABELA 24 - <i>Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cuja medida foi realizada em 10/02/2021, estão representados, em vermelho, os níveis que tiveram diferença significativa quando comparado às médias de volume escoado (L)</i>	108
TABELA 25 - <i>Análise de normalidade dos dados referente à taxa de sobrevivência das espécies plantadas</i>	110
TABELA 26 - <i>Resultado da ANOVA para os dados referentes à taxa de sobrevivência das espécies plantadas. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V)</i>	110

TABELA 27 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da taxa de sobrevivência foi realizado em fevereiro.	111
TABELA 28 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da taxa de sobrevivência foi realizado em junho.	111
TABELA 29 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cujo levantamento da taxa de sobrevivência foi realizado em fevereiro.	111
TABELA 30 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cujo levantamento da taxa de sobrevivência foi realizado em junho.	112
TABELA 31 - Análise de normalidade dos dados referente aos atributos medidos nos dois períodos para a espécie <i>Chrysopogon zizanioides</i>	113
TABELA 32 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo medido nos dois períodos para a espécie <i>Arachis repens</i>	113
TABELA 33 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional comprimento específico de raiz.	113
TABELA 34 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional comprimento de raiz.	114
TABELA 35 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional massa seca de raiz.	114
TABELA 36 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional massa aérea seca.	114
TABELA 37 - Análise de hipótese nula entre as diferentes coberturas quando analisados os atributos medidos somente em dois períodos do experimento.	115
TABELA 38 - Análise de hipótese nula entre as diferentes coberturas quando analisados os atributos medidos somente no final do experimento.	115
TABELA 39 - Taxa de cobertura vegetal de cada parcela experimental correspondente ao levantamento realizado nos meses de fevereiro e junho.	116
TABELA 40 - Análise de normalidade dos dados referente à cobertura vegetal dos tratamentos.	116
TABELA 41 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à cobertura vegetal. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).	117
TABELA 42 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da cobertura vegetal foi realizado em fevereiro.	117
TABELA 43 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da cobertura vegetal foi realizado em junho.	117
TABELA 44 - Taxa de cobertura de colonização espontânea de cada parcela experimental correspondente ao levantamento realizado nos meses de fevereiro e de junho.	118
TABELA 45 - Análise de normalidade dos dados referente à colonização espontânea dos tratamentos.	118
TABELA 46 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à taxa de cobertura de colonização espontânea. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).	119
TABELA 47 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cujo levantamento da cobertura da colonização espontânea foi realizado em fevereiro.	119
TABELA 48 - Cobertura média das espécies colonizadas por tipo de tratamento.	120

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - <i>Descrição das características de cada tipo de raiz, bem como indicação de sua melhor aplicabilidade.</i>	15
QUADRO 2 - <i>Fatores que influenciam a erodibilidade do solo.</i>	17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	3
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	4
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA.....	6
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA	6
1.5	DELIMITAÇÕES	7
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO SOLO	9
2.1.1	Influência mecânica	10
2.1.2	Influência hidrológica	11
2.1.3	Caracterização de um sistema reticular e influência nas propriedades geotécnicas do solo	13
2.2	INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONTROLE DE EROSÃO DO SOLO.....	15
2.2.1	Erosão e conceitos associados.....	16
2.2.2	Influência da vegetação no controle de erosão do solo	19
2.2.3	Ensaio para determinar a erodibilidade do solo em campo.....	23
2.3	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NO SOLO E A BIOENGENHARIA	26
2.3.1	Cobertura de material (<i>mulch</i>)	28
2.3.2	Geotêxtil	29
2.3.3	Utilização de leguminosas.....	31
2.3.4	Hidro-semeadura	33
3	MÉTODO DE PESQUISA	35
3.1	ETAPA DE GABINETE	35
3.2	ETAPA DE CAMPO	35
3.2.1	Área de estudo	35
3.2.2	Escolha das espécies vegetais.....	37
3.2.3	Preparo da área, instalação do experimento e delineamento experimental	42
3.2.4	Monitoramento e coletas de sedimento	47
3.2.5	Levantamento da vegetação e medição de atributos funcionais	49
3.2.6	Coleta das amostras para de caracterização física e química do solo	52
3.3	ETAPA LABORATORIAL.....	52
3.4	ANÁLISE DE DADOS	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55

4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO	55
4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA SOLO	56
4.3 AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO POR EROÇÃO.....	57
4.3.1 Precipitação	57
4.3.2 escoamento superficial	58
4.3.2.1 Perda de solo (erosão).....	59
4.3.2.2 Volume escoado.....	62
4.4 SOBREVIVÊNCIA DAS ESPÉCIES PLANTADAS	64
4.5 LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS FUNCIONAIS.....	66
4.6 COBERTURA VEGETAL E COLONIZAÇÃO ESPONTÂNEA	73
4.7 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL SOBRE OS PROCESSOS EROSIVOS	79
5 CONCLUSÕES	83
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	85
APÊNDICE A – Análise granulométrica do solo.....	97
APÊNDICE B – Análise química do solo.....	99
APÊNDICE C – Análise estatística quanto à massa de solo	100
APÊNDICE D – Coluna e volume acumulado de água nos baldes	104
APÊNDICE E – Análise estatística ao volume escoado.....	106
APÊNDICE G – Análise estatística referente aos atributos funcionais.....	113
APÊNDICE H – Análise estatística quanto à cobertura vegetal.....	116
APÊNDICE I – Cobertura média das espécies colonizadas por tipo de tratamento.....	120

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto e a justificativa do tema proposto, o problema de pesquisa (lacuna do conhecimento), as questões de pesquisa, os objetivos da pesquisa, bem como as delimitações desta pesquisa.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A recuperação ambiental de áreas degradadas por qualquer atividade antrópica é uma obrigação exigida pela legislação Brasileira. Esta atividade consiste em criar condições para a reparação das funções ecológicas de um ecossistema que perdeu sua resiliência, ou seja, a capacidade de regeneração natural (DISARZ, 2011), para, posteriormente, devolvê-la para a sociedade, mesmo que em condições diferentes da situação original. As áreas degradadas pela mineração de minério não consolidado, como argila, saibro e areia, após serem recuperadas, são utilizadas para outros fins, tais como: aterro de resíduos sólidos, loteamento, agricultura e silvicultura, piscicultura e recreação. No entanto, após a exaustão do minério, esta atividade apresenta como principal impacto a alteração topográfica da área devido à formação de taludes artificiais de forma que a estabilidade e o controle de erosão dessas estruturas tornam-se o principal foco da recuperação ambiental neste tipo de atividade.

Taludes de mineração compostos por solos, quando não recuperados, podem sofrer intensos processos erosivos, como ravinas, podendo avançar para um estágio de voçoroca, capaz de comprometer a estabilidade do talude. Tais episódios podem implicar uma série de acidentes ou desastres, tanto relacionados à segurança humana, quanto aos prejuízos causados ao meio ambiente, como a perda de vegetação nativa, alteração da qualidade das águas, entre outros. Para evitar a possibilidade de ocorrência deste tipo de instabilidade geotécnica, os órgãos ambientais têm exigido que, no Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), constem a reconfiguração dos taludes em consonância com as características geotécnicas do material, a execução adequada do sistema de drenagem, bem como o plantio de vegetação sobre as faces das bancadas.

O plantio de herbáceas é uma exigência atualmente, com um viés mais voltado à mitigação do impacto visual e ao controle de processos erosivos. A escolha da espécie da vegetação a ser utilizada para recuperar passivos ambientais, em muitos casos, detém-se a conhecimentos empíricos de sua aplicação no controle de processos erosivos, como é o caso da utilização do capim braquiária (*Urochloa*), gênero exótico cujas espécies foram

amplamente utilizadas, mesmo sendo consideradas invasoras no Brasil (ZENNI & ZILLER, 2011; Rio Grande do Sul, 2013). A utilização desse gênero tem sido aplicada não só em mineração, como em taludes de rodovias, conforme Ribeiro (2005). Este autor constatou que o seu plantio intencional ao longo das estradas atualmente representa um forte e preocupante vetor de entrada das diferentes espécies de *Urochloa* em todo o território nacional, e não há um esforço significativo para buscar alternativas para a utilização de espécies nativas.

Outro fator que influencia nesta escolha das espécies utilizadas na recuperação de áreas degradadas é a disponibilidade comercial restrita a poucas espécies no mercado brasileiro, e, especificamente, a baixa oferta de espécies nativas (OVERBECK *et al.*, 2013). Além disso, a ausência de informações quantitativas sobre a contribuição de diferentes espécies vegetais quanto ao controle de erosão atua como um limitador para que diferentes tipos de vegetação sejam utilizados de forma mais segura em projetos de recuperação, o que acaba ocasionando a utilização de espécies que não são necessariamente as mais eficientes ou adequadas para o local. Sendo assim, os materiais de construção vivos devem ser cuidadosamente estudados, desde sua caracterização, especificações técnicas, controle de qualidade e avaliação de desempenho, para atender aos requisitos mínimos para projeto de engenharia natural (Sousa *et al.*, 2020).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Bioengenharia refere-se ao uso de vegetação como material de engenharia, podendo ser uma única planta ou um conjunto delas, desde que possua características e comportamentos quantificáveis que contribuam para a estabilização de taludes e controle de erosão (FIGURA 1), entre outros objetivos (RICKSON & MORGAN, 1995). A bioengenharia procura utilizar as raízes e os caules como elementos estruturais e mecânicos para a contenção e proteção do solo em diferentes arranjos geométricos, podendo atuar no fortalecimento do solo ou na melhoria das condições de drenagem e na retenção das partículas (MORETTO, 2012).

A bioengenharia tem sido amplamente utilizada com a associação com outros materiais inertes (não vivos), como geotêxtil, materiais de cobertura, entre outros, uma vez que os mesmos, além de auxiliar no desenvolvimento da vegetação, atuam no controle de erosão do solo.

FIGURA 1 - Talude rodoviário antes e após o plantio da espécie *Chrysopogon zizanioides*, observando-se o efeito da vegetação quanto ao controle de erosão junto às faces dos taludes.



Fonte: Madruga, 2007, s/p *apud* Barbosa, 2012, p. 59.

Quanto aos estudos relacionados ao monitoramento de erosão em campo, o efeito da vegetação e da aplicação de técnicas de bioengenharia vem sendo medido no Brasil através de métodos diretos, como a utilização de parcelas experimentais. No entanto, a maioria dos estudos se restringe a pesquisas hidrogeomorfológicas e agrícolas, sendo que os mesmos, até então realizados, não são representativos para as áreas em recuperação de mineração, visto que as dimensões das parcelas são mais extensas (superior a um talude de mineração), menos inclinadas (geralmente encostas naturais), além de não apresentarem comparações entre espécies mais adequadas para a recuperação de área degradada, seja para aspectos geotécnicos, seja para aspectos ecológicos.

O potencial para a utilização de espécies nativas no controle de perda de solo pode ser observada na pesquisa realizada por Antoneli *et al.* (2018), que, apesar de ser para finalidade agrosilvopastoril, além do local de pastagem onde foi instalado as parcelas experimentais apresentarem pouco declive, o estudo demonstrou que as pastagens exóticas (*Urochloa decumbens*), quando comparadas às nativas (*Paspalum notatum* Flüggé), em relação à perda de solo, apresentam ser menos eficientes, apesar da produção média de forragem nas parcelas **exóticas** ser quase cinco vezes maior que nas **nativas**.

A área objeto deste trabalho apresenta um grande desafio para a investigação das possíveis espécies nativas, além da utilização de uma técnica de engenharia para aplicação em áreas degradadas de mineração, considerando as condicionantes geotécnicas. Neste contexto, parece especialmente promissor utilizar a abordagem de analisar atributos funcionais de plantas. Atributos funcionais são aquelas características de plantas que impactam diretamente *fitness* (aptidão) de espécies de plantas, ou seja, a capacidade da vegetação de crescer e sobreviver (VIOLLE *et al.* 2007), e o conceito tem sido utilizado com sucesso no contexto da restauração de áreas de mineração (REHOUNKOVÁ & PRACH, 2010). Atributos de raízes

são de especial relevância neste contexto (STOKES *et al.*, 2009), bem como a capacidade de crescimento vegetativo (REHOUNKOVÁ & PRACH, 2010).

O presente estudo, portanto, visa contribuir para o conhecimento da influência do uso de vegetação, especialmente de herbáceas, exóticas ou nativas, e utilização de geotêxtil no controle de erosão do solo, fornecendo suporte nas decisões de projetos de recuperação de áreas degradadas de mineração com foco nos taludes de lavra de materiais francamente arenosos.

1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Questão principal de pesquisa:

- As espécies testadas e a aplicação de material de cobertura influenciam no controle da erosão do solo quando comparadas a solos desprovidos de vegetação e cobertura, de forma a contribuir para uma melhor recuperação da área degradada?

Como desdobramento da questão principal, foram definidas as questões específicas:

- Entre as espécies testadas, quais que contribuíram para um controle maior de erosão do solo?
- A utilização de material de cobertura influenciou no controle de erosão do solo quando comparado ao solo exposto?
- Entre as espécies testadas, qual teve o melhor desempenho em termos de estabelecimento?
- Os desempenhos das plantas diferem quando introduzidas juntamente com um material de cobertura?

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral da pesquisa:

- Investigar o efeito da vegetação e material de cobertura no controle a erosão de taludes de cava de areia em recuperação. As parcelas testadas corresponderam a seguintes plantas: (1) cultivar de espécie nativa adquirida através de viveiro comercial; (2)

cultivar de espécie exótica não invasora adquirida através de viveiro comercial; e (3) mix de espécies de ocorrência espontânea na área de estudo.

Objetivo específico:

- Avaliar o desempenho das plantas empregadas na área a ser recuperada, comparando o plantio sobre o solo natural *versus* o plantio com material de cobertura (juta).
- Avaliar a cobertura vegetal desenvolvida a partir das plantas aplicadas no experimento, bem como em relação a colonização espontânea.

1.5 DELIMITAÇÕES

Todas as jazidas de minério, inclusive a de minérios não consolidados, apresentam características únicas. Conforme descrito por Lima & Lima (2007), a composição mineralógica do solo (depósitos minerais) está diretamente associada ao tipo de material de origem e processo de formação do solo. O primeiro corresponde à influência da rocha de origem, do clima, do relevo, e tempo, o segundo está associado à ação que o solo sofre durante o seu desenvolvimento (alteração e pedogênese), como perdas de minerais, transformações, transportes e adições. Sendo assim, o local de estudo escolhido apresentará características únicas, como composição mineralógica, distribuição granulométrica (percentual de argila, silte, areias e pedregulhos), permeabilidade e atributos ligados ao desenvolvimento vegetal, como fertilidade.

Outra delimitação do estudo corresponde ao período do ano que as herbáceas serão plantadas e ao tempo de desenvolvimento até a realização dos ensaios (sendo a temperatura e a disponibilidade da água os principais fatores, e chuvas, insolação, umidade relativa do ar, ventos, cobertura vegetal, os secundários). O experimento teve início na primavera e desenvolveu-se durante sete meses, ou seja, não contemplou o período de inverno.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O **primeiro capítulo** apresenta os motivos práticos que levaram à escolha do tema de pesquisa, assim como as lacunas de pesquisas que hoje existem em relação ao assunto pesquisado, escopo da pesquisa, objetivos e as delimitações do trabalho a ser desenvolvido.

O **segundo capítulo** traz a revisão bibliográfica que embasa a realização da pesquisa a nível nacional e internacional, apontando os principais conceitos e dados sobre a influência da vegetação no controle de erosão do solo, sendo ainda abordados os aspectos relevantes para um efetivo estabelecimento da vegetação junto ao solo.

O método aplicado para esta pesquisa é descrito no **terceiro capítulo**, onde os critérios da escolha das espécies de herbáceas selecionadas para o referido estudo são apresentados, a descrição do experimento realizado em campo, bem como os ensaios em laboratório associados à pesquisa. Este capítulo também trata da descrição das características regional e local da área de estudo.

E, por fim, o **quarto e quinto capítulos** apresentarão, respectivamente, os resultados, discussões e conclusões referentes aos ensaios realizados. Também no quinto capítulo, é sugerida a realização de trabalhos futuros de forma a dar continuidade a este estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO SOLO

O desenvolvimento de uma cobertura vegetal em taludes vai muito além da mitigação dos impactos visuais existentes em áreas degradadas de mineração. O uso de plantas e suas raízes para proteger as encostas da erosão e deslizamentos de solos rasos é um método útil e bem conhecido da bioengenharia natural, que tem sido amplamente aplicado em todo o mundo (FAN & CHEN, 2010). A engenharia natural é uma escolha para muitos casos de obras de engenharia, visto que o uso da vegetação tem muitas vantagens quando comparado a métodos convencionais de engenharia, tais como não ser afetado por processos de degradação física, ter capacidade regenerativa intrínseca, ser auto-reparadoras, além de a vegetação ser “amiga do ambiente” (FARSHCHI, 2018; SOUSA *et al.*, 2020), e, muitas vezes, ter uma relação custo-benefício melhor que as técnicas tradicionais de engenharia (COUTO *et al.*, 2010).

A bioengenharia, através do aproveitamento dos sistemas radiculares das plantas e das suas interações com o substrato, pode atuar de forma significativa na estabilidade de taludes, uma vez que as raízes atravessam zonas mais fracas do solo e ancoram nas fraturas de base rochosa ou em solos mais estáveis. Outro fator que influencia na ancoragem é o que as raízes fornecem ligantes fibrosos longos entrelaçados na massa fraca do solo (ZIEMER, 1981; ABE e ZIEMER, 1991; DI IORIO *et al.*, 2005). Farshchi (2018) destaca ainda que, além da ancoragem, as plantas exercem outras funções importantes dentro do sistema de bioengenharia do solo na estrutura vegetativa, como resistência e drenagem, dependendo do tipo de planta utilizada, da natureza do talude e da característica do solo.

Diversos estudos indicaram que a vegetação, principalmente por influência de suas raízes, auxilia de forma significativa no reforço do solo vegetado devido aos aspectos mecânico e hidrológico (STYCZEN & MORGAN, 1995; COPPIN & RICHARDS, 1990, GREEWAY, 1989), atuando diretamente no controle de focos erosivos. No entanto, além da influência benéfica nas características do solo, a vegetação também pode trazer aspectos adversos para o mesmo.

2.1.1 Influência mecânica

O efeito do reforço mecânico da vegetação sobre o solo consiste em um aumento da resistência ao cisalhamento, sendo estudado através do modelamento de raízes como inclusão de fibras na matriz do solo (COMINO, MARENGO & ROLLI, 2010). As raízes possuem resistência à tração relativamente alta e estão aderidas a uma matriz com baixa resistência à tração (STYCZEN & MORGAN, 1995). Ainda, conforme descrito por Comino, Marengo & Rolli (2010), quando a densidade radicular é alta, raízes e solo criam um sistema complexo que pode ser considerado uma nova matriz, que funciona como uma fase única em que as propriedades do solo e das raízes não podem ser bem distinguidas.

Além da matriz solo-raiz, outras estruturas e características da vegetação desempenham um comportamento benéfico quanto ao aumento da resistência do solo. No entanto, plantas com portes diferentes e, conseqüentemente, sistemas radiculares muito distintos, podem ter efeitos muito diferentes sobre a estabilidade dos taludes. Isto é observado em vegetações arbóreas, que, devido à incidência de vento nas copas, bem como o peso da árvore, pode interferir de forma negativa na estabilidade dos taludes vegetados, conforme demonstrado na TABELA 1.

TABELA 1- *Efeito mecânico da vegetação sobre o solo a diferentes profundidades*

Natureza do efeito	Influência	Mecanismo mecânico	Superficial até 0,30 m de profundidade	Subsuperficial de 0,30 a 1,50 m de profundidade	Profunda mais de 1,50 m de profundidade
Equilíbrio de forças da massa do solo	Reforçamento radicular	Raízes reforçam o solo, aumentando sua resistência ao cisalhamento	+	+	
	Ancoramento radicular	Raízes de árvores podem ancorar em estratos firmes, proporcionando suporte a estratos superiores de menor coesão		+	+
	Sobrecarga	O peso de árvores sobrecarrega o talude, aumentando os componentes da força normal e descensional		-	
	Tombamentos	A vegetação arbórea e arbustiva exposta ao vento transmite forças dinâmicas para o talude		-	

Recobrimento superficial	A folhagem e a biomassa decaída protegem o solo e fornecem substâncias agregantes	+	+
Retenção	Partículas minerais do solo são soldadas pelas raízes superficiais	+	

Fonte: elaborada pela autora (adapt. de Melo *et al.*, 2013, p. 118 e de Coelho & Pereira, 2006, s/p.).

Estudos realizados por Jaskulski (2018) com a grama esmeralda (*Zoysia japônica* Steud), que corresponde a uma gramínea rizomatosa e estolhosa, comprovaram que raízes de diâmetro médio de 0,5 mm, adicionadas a solos arenosos influenciaram no incremento da resistência ao cisalhamento do solo devido à influência mecânica das raízes. O mesmo estudo constatou que o incremento da resistência do solo estava diretamente relacionado à quantidade de raízes que a amostra ensaiada possuía.

Maffra *et al.* (2019) verificaram que a influência das raízes de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll.Arg, espécie lenhosa utilizada para a revegetação de margens de cursos d'água (SUTILI *et al.* 2004), na resistência ao cisalhamento do solo não é constante ao longo das estações do ano, sendo verificado aumento da resistência da matriz solo-raiz da primavera (período do plantio) até o outono, decréscimo da resistência no inverno, e retorno da resistência ao cisalhamento com a entrada da primavera para o mesmo valor obtido no outono.

2.1.2 Influência hidrológica

O efeito hidrológico corresponde à relação água-solo influenciada pela vegetação, seja devido ao sistema reticular, seja em função dos outros componentes da planta, como o caule e a copa. Assim como a influência mecânica da vegetação, a influência hidrológica pode apresentar fatores benéficos e adversos (TABELA 2).

Muitos autores descrevem que o principal efeito hidrológico envolve a remoção da água do solo por evapotranspiração através da vegetação, o que leva a um aumento na sucção do solo ou uma redução na pressão da água dos poros, portanto, um aumento na resistência ao cisalhamento do solo (CHOK *et al.*, 2004; BOLDRIN *et al.*, 2017; GONZALEZ-OLLAURI & MICKOVSKI, 2016). Ainda, Morgan (2005) indica que o esgotamento da umidade do solo não se restringe a profundidades afetadas pelo alcance das raízes, sendo possível observar aumentos na estabilidade da encosta cerca de 4-6 m abaixo do nível do solo.

Estudos realizados por Boldrin *et al* (2017) indicaram que diferentes espécies de plantas influenciam de forma distinta no reforço do solo, sendo que as características funcionais das plantas, incluindo área foliar específica, densidade do comprimento da raiz e a relação raiz-parte aérea, apresentaram correlações significativas e positivas com a sucção induzida pela transpiração; o mesmo estudo ainda indicou que as espécies decíduas exibiram o dobro da eficiência da transpiração e da condutância foliar ao vapor de água de espécies sempre-verdes.

Estudos realizados por Pollen-Bankhead & Simon (2010) demonstraram que o efeito hidrológico da vegetação ribeirinha pode afetar de forma mais significativa a resistência do solo que o efeito mecânico, contrariando outros autores, como Coppin & Richards (1990). No entanto, Simon & Collison (2002) alertam que, para a vegetação ribeirinha, os efeitos hidrológicos são tão importantes quanto os efeitos mecânicos e podem ser benéficos ou prejudiciais, dependendo da precipitação antecedente.

TABELA 2 - *Efeito hidráulico da vegetação sobre o solo para diferentes profundidades.*

Natureza do efeito	Influência	Mecanismo hidrogeológico	Superficial até 0,30 m de profundidade	Subsuperficial de 0,30 a 1,50 m de profundidade	Profunda mais de 1,50 m de profundidade
Alterações do regime hídrico do solo	Interceptação	A parte aérea intercepta e evapora a precipitação, reduzindo a quantidade de água infiltrada (*)	+	+	
	Infiltração	Raízes e ramos aumentam a rugosidade superficial e a permeabilidade do solo, aumentando a infiltração	+/-	+/-	+/-
	Evapotranspiração	A sucção radicular retira umidade, reduzindo a poropressão da água no solo. Em situações extremas, pode gerar trincamentos, gerando altos índices de infiltração	+/-	+/-	+/-

(*) reduzindo a parte que alcançaria o solo e poderia, ou não, infiltrar.

Fonte: elaborado pela autora (adapt. de Melo *et al.*, 2013, p. 118 e de Coelho & Pereira, 2006, s/p).

Estudos realizados por Schwarz *et al.* (2010) a respeito de deslizamentos superficiais de solos arenosos indicaram que, caso a sucção radicular fosse omitida na análise do reforço das raízes no solo, o resultado indicaria que a área precisava de mais de 1 kPa de coesão basal média (sucção ou cimentação) para ser estável, comprovando a importância de se considerar o

efeito hidrológico das raízes no reforço do solo (mesmo o arenoso). Por outro lado, isso mostra quão sensível é o resultado destas análises, já que uma tensão vertical a 5-7 cm de solo produz este nível de tensão.

2.1.3 Caracterização de um sistema reticular e influência nas propriedades geotécnicas do solo

As raízes atuam na influência mecânica e hidrológica do solo, contribuindo positivamente para projetos de engenharia, como na estabilização de taludes e controle de erosão. No entanto, na escolha da vegetação que se pretende utilizar, devem-se considerar as características da raiz para que os objetivos sejam atingidos, pois, caso contrário, podem atuar de forma adversa ou nula para as características geotécnicas do solo.

Para a escolha do tipo de raiz para aplicação em projetos de engenharia, é necessário entender a caracterização de um sistema radicular que podem ser medidos através de dois principais atributos: morfologia e arquitetura.

A **morfologia** de um sistema reticular refere-se às características anatômicas externas de um sistema radicular (Lynch, 1995 *apud* Turuel, 1999). Segundo Perez-Harguindeguy *et al.* (2013), a morfologia dos sistemas radiculares geralmente é medida através de três características principais: profundidade, extensão lateral e intensidade da exploração (quantidade de biomassa de raiz fina ou comprimento da raiz por volume unitário do solo).

A **arquitetura** radicular refere-se à configuração espacial do sistema reticular, quanto à distribuição das raízes no espaço tridimensional (Lynch, 1995 *apud* Teruel, 1999). A partir da arquitetura do sistema reticular, é possível classificá-las em dois modelos arquiteturais fundamentais de sistema radicular: pivotante e fasciculado (FIGURA 2), que, segundo Aguiar (2014), possuem as seguintes características:

- sistema radicular **pivotante** (sistema radicular **aprumado**): ocorre uma **raiz principal** de origem embrionária, lateralmente ramificada, com um grande número de raízes espessas e poucas raízes finas e pelos radiculares;
- sistema radicular **fasciculado**: as raízes são semelhantes entre si (homogêneas), finas, delicadas, com abundantes pelos radiculares, **não havendo uma raiz primária** bem desenvolvida.

FIGURA 2 - Comparação entre sistema radicular pivotante (esquerda) e fasciculado (direita).

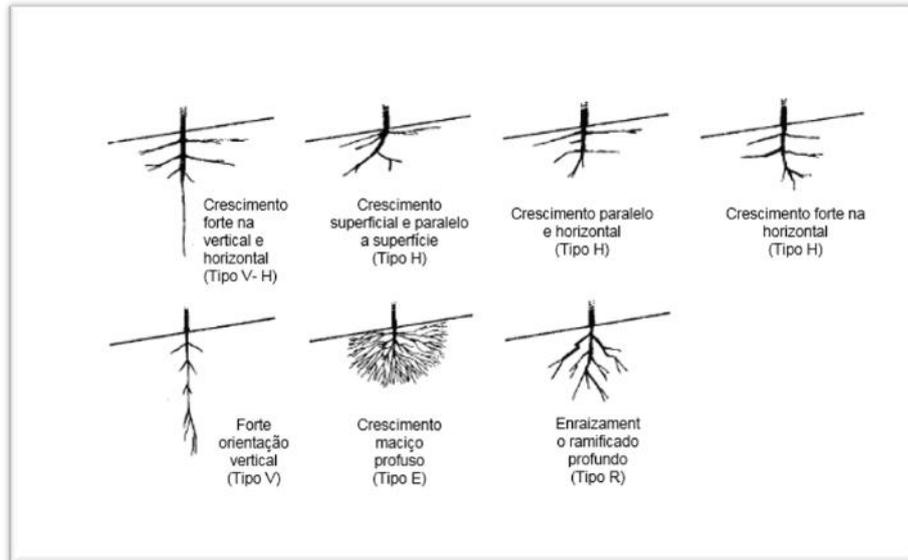


Fonte: Coutinho, 1898, s/p *apud* Aguiar, 2014, p. 13.

As raízes fasciculadas apresentam elevada capacidade de absorção de água quando comparadas ao volume das raízes, produzem grandes quantidades de resíduos orgânicos, além de favorecer a agregação das partículas do solo; por outro lado, as raízes pivotantes são eficientes em ancorar plantas de grandes dimensões ao solo e em absorver a água retida em camadas profundas do solo, além de serem mais adequadas a solos pedregosos e/ou heterogêneos, com a água e os nutrientes irregularmente distribuídos no perfil (AGUIAR, 2014).

Diversos estudos realizados com raízes possibilitaram um melhor entendimento sobre a influência das diferentes morfologias e arquiteturas das raízes e sobre a alteração das características geotécnicas do solo. Loughlin (1984), citado por Fiori & Carmignani (2009), descreve que raízes finas, com o diâmetro entre 1 a 20 mm, contribuem mais significativamente para o aumento da resistência do solo, ao contrário das raízes maiores. O mesmo autor indica que gramíneas, leguminosas e pequenos arbustos podem exercer um significativo reforço do solo a uma profundidade de 0,75m a 1,5m, já arbóreas podem influenciar no solo a uma profundidade de até 3,0m, dependendo do tipo da raiz, como pode ser observado na FIGURA 3 e no QUADRO 1. Reubens *et al.* (2007) concluem que é mais benéfico para aumento da resistência de taludes uma combinação de um padrão de enraizamento de raízes finas na camada superior, onde a resistência à tração é mais importante, e raízes grossas mais profundas, visto que cruzam a superfície potencial de cisalhamento.

FIGURA 3 - Diferentes padrões de raízes.



Fonte: elaborado pela autora (adapt. de Coppin & Richards, 1990, p.7 e de Yen, 1972, s/p).

QUADRO 1 - Descrição das características de cada tipo de raiz, bem como indicação de sua melhor aplicabilidade.

TIPO DE RAIZ	CARACTERÍSTICAS	APLICABILIDADE
Tipo V-H	O desenvolvimento máximo das raízes se dá a profundidades maiores, mas cerca de 80% delas ocorre dentro de 60 cm de profundidade; apresenta uma raiz principal forte, mas raízes laterais crescem horizontalmente e profusamente; e suas extensões laterais são grandes.	Benéficas para a estabilização de taludes (rasos)
Tipo H	Mais de 80% das raízes se desenvolve até uma profundidade de cerca de 60 cm; muitas raízes estendem-se horizontalmente, e sua extensão lateral é ampla.	
Tipo R	O desenvolvimento máximo das raízes se dá a maiores profundidades, e somente 20% das raízes se situa a até 60 cm de profundidade; muitas das raízes principais estendem-se obliquamente ou perpendicularmente a vertente, e sua extensão lateral é grande.	
Tipo V	O desenvolvimento das raízes é de moderado a profundo a profundo; apresentam uma raiz principal bastante forte, mas as raízes laterais são bastante esparsas e de pouca extensão.	Resistente ao vento
Tipo E	O desenvolvimento máximo se dá a maiores profundidades, mas 80% das raízes ocorre a até 30 cm de profundidades; as raízes principais ocorrem profusamente, mas apresentam uma extensão lateral pequena	Aumento de resistência superficial do solo

Fonte: elaborada pela autora (adapt. Fiori & Carmignani, 2009, p. 313 e de Yen, 1987, s/p).

2.2 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONTROLE DE EROSÃO DO SOLO

2.2.1 Erosão e conceitos associados

O processo erosivo do solo consiste na desagregação da estrutura do solo gerando a remoção de partículas individuais, geralmente, iniciando pelas menores. A erosão é seguida pela deposição de grande parte do solo em áreas mais baixas do relevo. Em geral, o principal agente da erosão é a água de escoamento superficial (DER-SP), no entanto, a erosão também pode ser causada pela ação do vento ou gravidade (e degelo nas regiões frias). Uma diferença fundamental entre a erosão hídrica e eólica é que, para a água, a direção do fluxo e os limites da área da fonte de sedimentos são conhecidos, enquanto para a erosão eólica a área da fonte de sedimentos não é facilmente conhecida e a direção do vento pode variar (STROOSNIJDER, 2005).

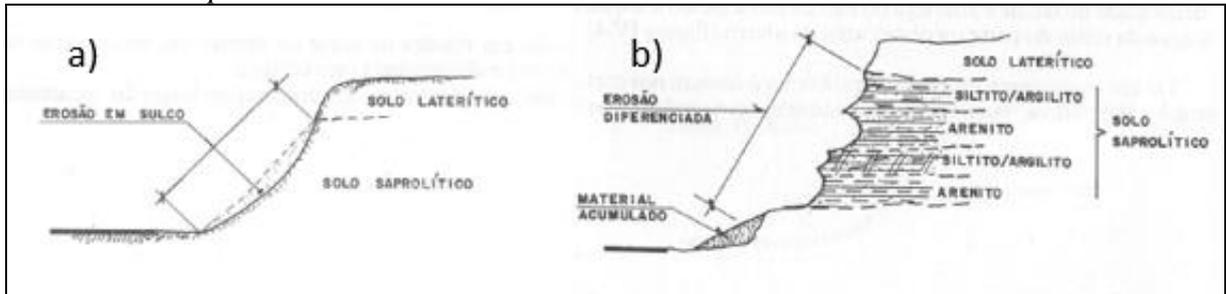
Muitos acreditam que o controle da produção de escoamento superficial em um solo, e conseqüentemente, o controle da erosão está associado à capacidade de infiltração do solo. No entanto, a verdade é que a produção de escoamento superficial está diretamente relacionada ao teor de umidade limite do solo; isso se deve ao fato da saturação dos poros, de forma que a pressão da água dos poros seja igual à pressão atmosférica, e, conseqüentemente, a sucção é reduzida a zero, gerando um acúmulo de água na superfície (MORGAN, 2005). Morgan (2005) esclarece que é devido à umidade limite das areias que ocorre o mecanismo de erosão destes solos, uma vez que baixos níveis de armazenamento capilar podem produzir escoamento muito rapidamente.

Embora a erosão seja um fenômeno natural, pode ser acentuada por ações antrópicas, sendo que todas as paisagens que possuem alguma declividade, geralmente superior a 3°, podem sofrer erosão (GUERRA & JORGE, 2013). Na mesma linha, Morgan (2005) afirma que a erosão ocorre de forma mais acentuada em taludes mais inclinados, uma vez que ocorrem maiores velocidades de escoamento, assim como o impacto da gota da chuva causa o espirro de partícula, de forma que, quanto maior a declividade do terreno, mais solo é espalhado encosta abaixo do que encosta acima. Estudos realizados por Kateb *et al.* (2013), ao realizar análises de parcelas experimentais em três encostas com diferentes níveis de declividade ($10^\circ < X \leq 20^\circ$, $20^\circ < X \leq 30^\circ$ e $X > 30^\circ$), confirmaram que, quanto maior a declividade, maior o potencial de escoamento e perda de solo.

A erosão em um talude também pode ocorrer de formas distintas dependendo da sua geometria e materiais. No Manual de Geotecnia do Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo (DER-SP, 1991), é indicado que, para os taludes de corte e aterro, geralmente ocorrem dois tipos de erosão: de sulcos e diferenciada. A *erosão de sulcos* corresponde a

sulcos aproximadamente **paralelos**, presentes em taludes com **maiores declividades** e sem proteção superficial; a **erosão diferenciada** ocorre em taludes que são constituídos por **diferentes materiais** com diferentes suscetibilidades à erosão (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Tipos de erosão em taludes de solo em aterro.



Legenda:

- a) erosão em sulco;
- b) erosão diferencial.

Fonte: elaborada pela autora (adapt. de Manual de Geotecnia do Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo (DER-SP), 1991, p.94 e 96).

A **erodibilidade do solo** é um conceito associado a aspectos geotécnicos, em especial, à resistência ao cisalhamento do solo, visto que é a susceptibilidade do solo ao processo de erosão superficial, onde as partículas de solo são transportadas pela ação de fluxo hídrico superficial concentrado (MENDES, 2006) (QUADRO 2). A erodibilidade de taludes de corte e aterro depende da natureza do solo, da capacidade de infiltração da superfície, da intensidade da chuva, da topografia do terreno e da cobertura vegetal (COPPIN & STILES, 1995; MORGAN, 2005). Quanto à natureza do solo, a intensidade do processo erosivo em taludes depende do grau de coesão do material exposto ao intemperismo, sendo assim, solos argilosos são menos suscetíveis à erosão que os solos arenosos (FONSECA, 1981; BASTOS, 1999 *apud* LEMES, 2002, p. 46).

QUADRO 2 - Fatores que influenciam a erodibilidade do solo.

FATORES	INFLUÊNCIA
FÍSICO <ul style="list-style-type: none"> • Textura 	<ul style="list-style-type: none"> • Influi no destacamento e carreamento das partículas do solo; • determina a facilidade com que o solo é dispersado; • determina a força limite necessária para o deslocamento.
<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciona a formação de agregados que resistem à dispersão aos efeitos da água de escoamento e ao deslocamento; • influi no grau de agregação e distribuição de agregados estáveis; • a rugosidade de agregados estáveis influencia a retenção d'água; • condiciona a formação de crosta superficial determinante de alta taxa de escoamento superficial.
MECÂNICO <ul style="list-style-type: none"> • Resistência ao cisalhamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Importante no destacamento de partículas por impacto de gotas ou escoamento superficial; • influência no rolamento e deslizamento de grãos.
HIDROLÓGICOS <ul style="list-style-type: none"> • Retenção d'água • Infiltração e permeabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Umidade inicial do solo influencia a resistência ao destacamento das partículas; • as poropressões geradas no processo influenciam na resistência ao cisalhamento do solo. • A taxa de infiltração e a permeabilidade do solo determinam o volume de escoamento superficial.
QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E MINERAIS <ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica • Argilominerais 	<ul style="list-style-type: none"> • Influencia a textura e as propriedades de retenção e distribuição d'água; • fortalece os agregados e os micro-agregados, aumenta a sua resistência à degradação e à dispersão. • Influencia a estrutura e a resistência do solo; • interação com a matéria orgânica, influenciando a estabilidade de agregado.
CARACTERÍSTICA DO PERFIL <ul style="list-style-type: none"> • Morfologia do perfil • Substrato rochoso 	<ul style="list-style-type: none"> • Influencia o escoamento superficial pelas mudanças nas propriedades hidrológicas dos diferentes horizontes. • As características litológicas do substrato rochoso, associado à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a erodibilidade dos solos saprolíticos.

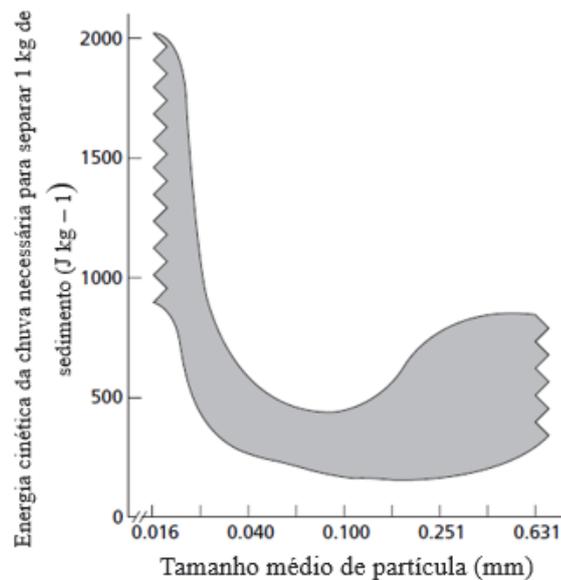
Fonte: LAL, 1990, s/p. *apud* BASTOS, 1999, p. 4

Outro conceito associado à erosão do solo corresponde à **erosibilidade**, que está diretamente associado a fatores climáticos, pois quantifica a energia cinética da chuva e do vento em causar a erosão no solo. A erosibilidade relacionada à chuva corresponde ao efeito do impacto da gota de chuva que movimentará a maioria do solo, que será transportado pelo escoamento superficial, de forma que estará correlacionado, principalmente, com a intensidade, duração e probabilidade de ocorrência ou período de retorno da chuva (JÚNIOR *et al.*, 2009).

Morgan (2005) esclarece que o mecanismo de desprendimento de partículas do solo por fluxo superficial é diferente dos gerados por impacto de gota de chuva, visto que envolve

diferentes tensões de ruptura na superfície do solo. O mesmo autor indica que os solos possuem comportamentos diferentes quanto à resistência ao desprendimento das partículas devido ao impacto da chuva: solos mais grossos possuem uma certa resistência devido ao peso de seus grãos; por outro lado, solos mais finos possuem resistência devido às forças adesivas ou de ligação química que ligam os minerais que constituem as partículas de argila; o mesmo autor afirma que franco-siltosos, areias finas e arenosos são solos mais destacáveis pela ação da chuva (FIGURA 5).

FIGURA 5 - Relação entre o tamanho médio de partícula do solo e a energia da chuva necessária para se desprender 1 kg de sedimento. A área sombreada mostra a gama de valores experimentais.



Fonte: MORGAN, 2005, p. 19 (adapt. de Poesen, 1992, s/p.)

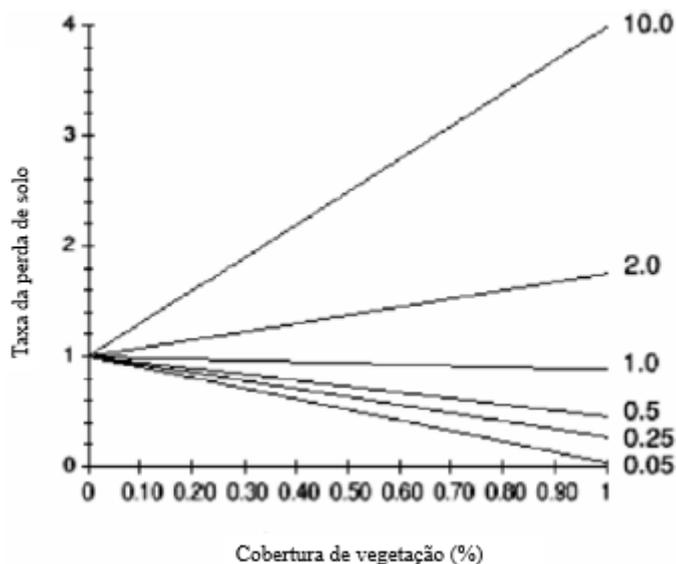
2.2.2 Influência da vegetação no controle de erosão do solo

A **vegetação** é um grande agente no controle de processos erosivos do solo devido à influência hidrológica e mecânica que exerce sobre o solo, sendo que a exata natureza deste efeito depende da morfologia da planta individual (copa, caule, raiz e cobertura) e da arquitetura da vegetação (estrutura, densidade e uniformidade da cobertura vegetal) (MORGAN & RICKSON, 1995). Os componentes aéreos da vegetação absorvem parte da energia das gotas de chuva, do fluxo hídrico e do vento, direcionando menos energia ao solo,

enquanto os componentes abaixo do solo, que constituem o sistema radicular, contribuem para a resistência mecânica do solo (MORGAN, 2005).

A taxa de cobertura do solo pela vegetação tem grande influência no controle da erosão devido ao incremento da rugosidade do solo. O nível de rugosidade com diferentes formas de vegetação depende da morfologia e da densidade das plantas, bem como de altura em relação à profundidade do fluxo de água e a vegetação, sendo observados altos graus de perturbação do fluxo até a altura dos caules das gramíneas, no entanto, ao ficarem submersas, as plantas tendem a se deitar na direção do fluxo e oferecer pouca resistência (MORGAN, 2005; STYCZEN e MORGAN, 1995). Morgan (2007) indica que, a partir de uma certa altura da vegetação, devido à energia cinética da gota de chuva, as mesmas podem gerar um efeito adverso no controle da erosão do solo, quando comparados com solos descobertos de vegetação (FIGURA 6), tal afirmação foi comprovada em plantios de monoculturas (milho, couve de bruxelas e beterraba).

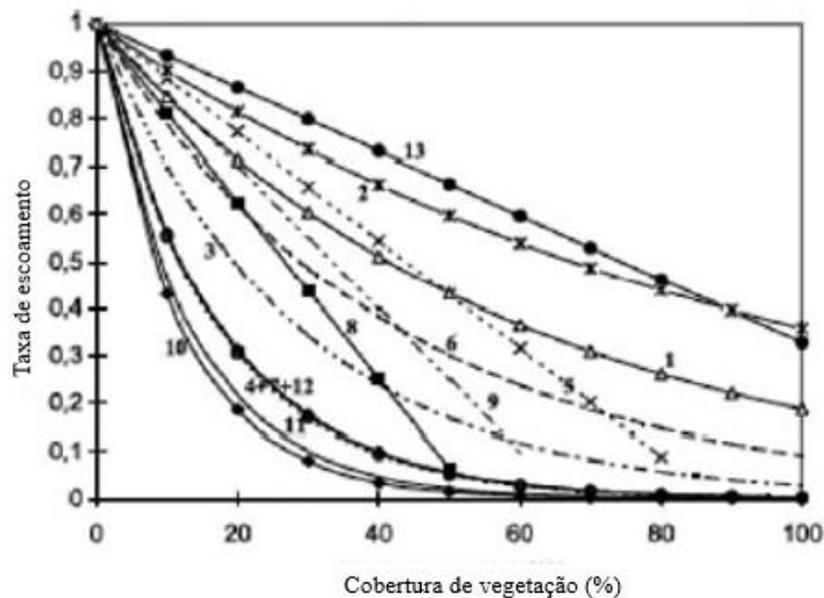
FIGURA 6 - A taxa da perda de solo representa a proporção da perda de solo com cobertura vegetal em relação ao solo descoberto. A cobertura de vegetação é a proporção do solo protegida do impacto da gota de chuva pela vegetação. As linhas denotam vegetação em diferentes alturas (m).



Fonte: Morgan, 2007, p. 266.

Outro fator associado ao aumento da taxa de cobertura vegetal que impacta diretamente na taxa de erosão do solo é a **taxa de escoamento superficial**. Quanto maior for a cobertura do solo por meio do desenvolvimento de vegetação, mais a água é infiltrada, bem como retida sobre as folhas, de forma que o volume do escoamento superficial é inversamente proporcional a cobertura vegetal (FIGURA 7).

FIGURA 7 - Equações lineares geradas a partir de algumas pesquisas, demonstrando a correlação inversamente proporcional entre as coberturas vegetais com a taxa de escoamento superficial.



Fonte: Zuazo & Pleguezuelo, 2009, p.789.

O tipo de vegetação atua de forma diferenciada no controle de erosão do solo. Conforme exposto por Zuazo & Pleguezuelo (2009), herbáceas perenes reduzem o escoamento de água e a perda de sedimentos e favorecem os processos de desenvolvimento do solo, melhorando a matéria orgânica do solo, a estrutura do solo e a capacidade de retenção de nutrientes e água do solo, já as vegetações lenhosas reduzem a erosão hídrica ao melhorar a infiltração da água, além de reduzir os impactos das gotas de água.

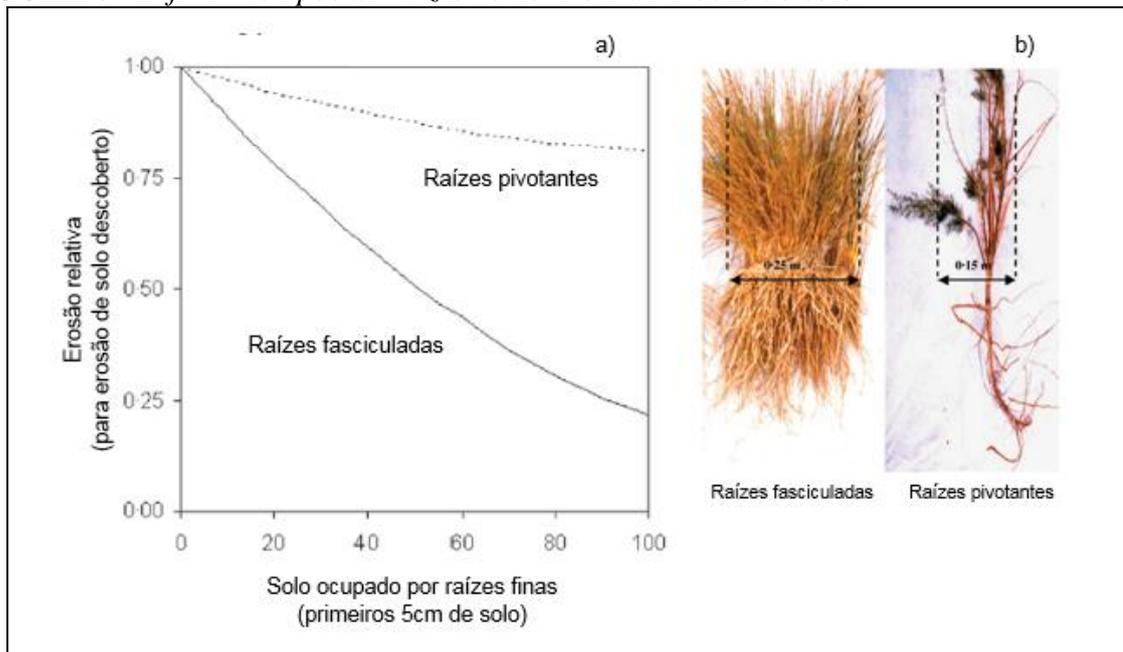
Para Brindle (2003), as gramíneas provaram serem as mais eficazes para o controle de erosão na maioria das áreas, pois germinam e crescem rapidamente, fornecendo uma cobertura completa do solo. Elas impedem o desprendimento de partículas do solo por escoamento em encostas desde que tenham uma densidade de caule de pelo menos 7.500 caules/m² e uma distribuição uniforme, além de atuarem como barreira, uma vez que causam

a deposição de sedimentos carregados no escoamento (MORGAN, 2007). As gramíneas também apresentam raízes com maior densidade junto ao solo, desempenhando um papel de aglutinamento ao solo, gerando uma nova matriz, especialmente as raízes finas. De acordo com De Baets *et al.* (2007), raízes com diâmetro entre 5mm a 15 mm mostram ser mais eficientes no controle da erosão; por outro lado, Reubens *et al.* (2007) indicam que raízes com diâmetros menores que 3mm, desde vegetação arbórea a herbácea, são mais eficientes na fixação do solo.

Alguns autores atribuem à raiz o principal papel no controle da erosão do solo, mas é necessário entender o complexo sistema raiz-solo para entender o seu funcionamento no controle da erosão (VANNOPPEN *et al.*, 2015; GREENWAY, 1987, DE BAETS *et al.*, 2007). Especialmente em ambientes semi-áridos, onde as coberturas das plantas podem ser restritas, as raízes podem desempenhar um papel crucial no controle da erosão (ZUAZO & PLEGUEZUELO, 2009), assim como em diferentes sazonalidades do ano em ambientes subtropicais, onde há um decréscimo significativo da cobertura do solo devido à perda de folhagem.

Plantas com sistema radicular lateral bem desenvolvidas e com maiores porcentagens de raízes finas são mais eficientes no controle de erosão que plantas com sistemas radicular lateral estruturados verticalmente, com raízes pivotantes (VENTURINI, 2019; DE BAETS *et al.*, 2007) (FIGURA 8). No entanto, Vannoppen *et al.* (2017) apontam que o tipo de raiz no controle da erosão do solo está correlacionado ao tipo de solo, uma vez que as raízes fasciculadas são mais eficazes em solos não coesos, enquanto as raízes pivotantes são mais efetivos em solos coesivos. Isto pode ser explicado em parte pelo entendimento de que ‘erosão’ na literatura, muitas vezes, engloba a erosão hídrica propriamente dita, e a remoção de solo por pequenas rupturas superficiais, aqui conceituadas como problemas de estabilidade (Bressani, 2020, informação pessoal).

FIGURA 8 - Diferentes tipos de raízes no controle de erosão do solo.



Fonte: elaborada pela autora (adapt. de De Baets, 2007, p. 1325, Dissmeyer & Foster, 1985, s/p. (a) e De Baets, 2007, s/p (b)).

Um estudo realizado por Sigren, Figlus & Armitage (2015) em dunas costeiras do Texas verificou que a presença da gramínea *Sporobolus virginicus* na face da duna reduziu o volume de dunas erodidas em 33%; isto ocorreu devido a uma combinação de interações acima e abaixo do solo. A influência abaixo do solo se deveu a raízes e seus efeitos sinérgicos, onde os pelos finos das raízes associados às hifas de Fungos micorrízicos arbusculares (as estruturas radiculares de um fungo) envolvem os grãos de sedimentos e os ligam em agregados maiores, de forma que estes têm uma área de superfície efetiva menor, tornando-os menos propensos a serem arrastados pelo movimento da água, o que leva a uma redução da erosão.

2.2.3 Ensaio para determinar a erodibilidade do solo em campo

Ensaio para determinar a erodibilidade do solo podem ser realizados tanto em laboratório, como no campo, a depender dos objetivos que se pretende alcançar e da disponibilidade, seja de área para o ensaio, seja de equipamentos adequados em laboratório. Conforme exposto por Morgan (2005), ensaios realizados em campo são mais realistas quanto à perda de solo, todavia, isto é preterido na escolha devido a espaço para instalação do

experimento, tempo gasto, além de ser difícil de determinar as principais causas ou mecanismos que levam à erosão do solo.

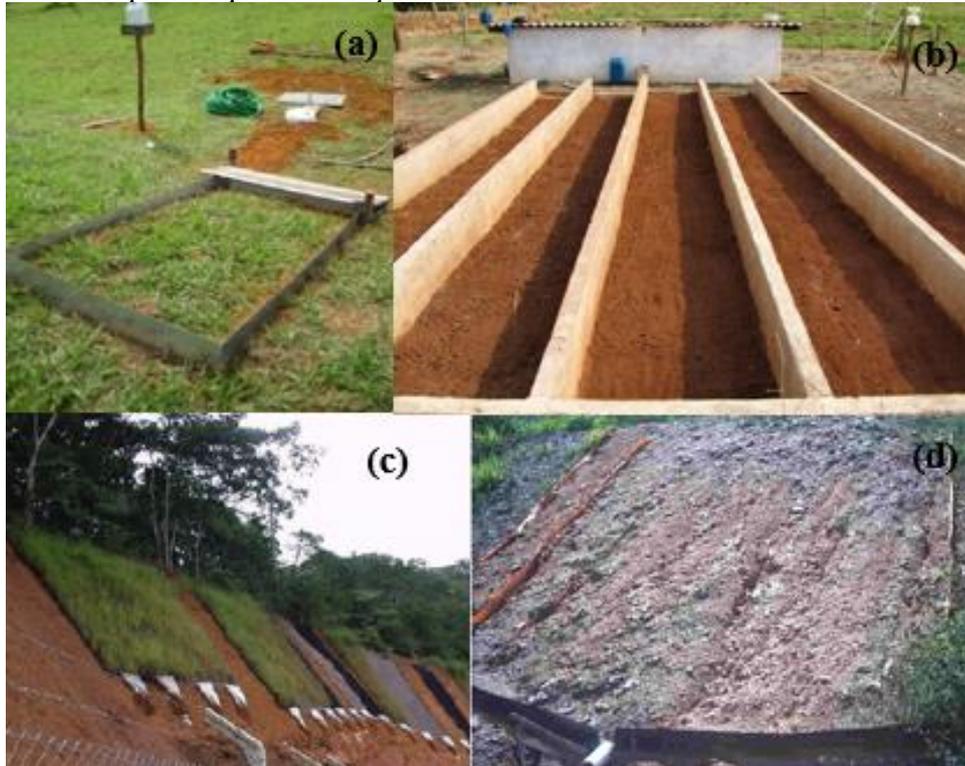
Na escolha do método de monitoramento da erosão em campo, devem-se considerar a escala e os objetivos que se pretendem atingir. Conforme exposto por Stroosnijder (2005), existem cinco escalas espaciais relevantes para a erosão hídrica:

- (1) menor que 1 m²: investigações sobre a infiltração e os efeitos de respingos de chuva. Segundo Morgan (2005), essas parcelas são muito pequenas para estudos de escoamento superficial, exceto como agente de transporte para partículas salpicadas;
- (2) menor que 100 m²: a parcela para erosão em sulcos;
- (3) menor que 500 m²: encosta para deposição de sedimentos;
- (4) menor que 1 ha: campo para canais; e
- (5) menor que 50 ha: pequena bacia hidrográfica para efeitos de interação espacial.

Fayos (2006) destaca ainda que as parcelas de 1 m² subestimam a perda de solo em comparação com as parcelas de 20 m² devido à velocidade de fluxo limitada e à capacidade de transporte para 1 m de comprimento, enquanto as parcelas de 20 m² superestimam a perda de solo em comparação com as parcelas de 500 m², devido, principalmente, ao aumento da probabilidade de presença de uma rota de infiltração preferencial com o aumento do tamanho da parcela. Todavia, Bagarello *et al.* (2018) obtiveram resultados diferentes em seu experimento, que demonstrou que os efeitos de escala foram estatisticamente significativos, tanto o escoamento superficial quanto a perda de solo sempre diminuíram na passagem da área de 1 m² para 48 m².

Parcelas delimitadas têm sido amplamente utilizadas para monitorar a erosão causada pelo escoamento superficial. Esta é aplicada ao redor do mundo e no Brasil para fins agrários, monitoramento de sulcos e ravinas junto a áreas urbanas, construção de cartas geotécnicas, recuperação de área degradada, entre outros. Diversos tamanhos de parcelas têm sido utilizados, como: 10 m de comprimento e 1m de largura (BEZERRA, 2014; JÚNIOR, 2009; GARBIN, PINESE & RODRIGUES, 2006), 2m de comprimento e 1m de largura (OLIVEIRA, 2015; ANTONELI *et al.*, 2018), 7,15 m de comprimento e 9 m de largura, 6,15 m de comprimento e 9 m de largura (MAGALHÃES, 2005), 8,5 m de comprimento e 2 m de largura (FERNANDES, 2004), 6 m de comprimento e 1 m de largura (MENDES, 2018) embora Morgan (2005) indique como padrão 22 m de comprimento e 1.8m de largura (FIGURA 9).

FIGURA 9 - *Exemplos de parcelas experimentais utilizadas no Brasil.*

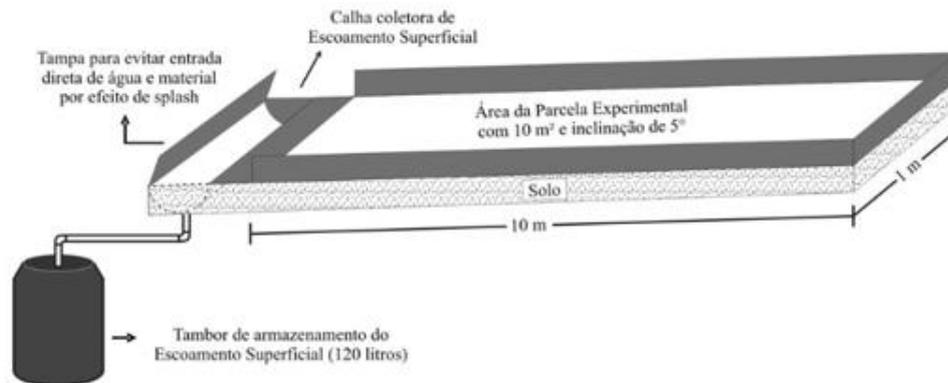


Fonte: elaborada pela autora (adapt. de (a) Oliveira, 2015, p.41, (b) Júnior, 2007 *apud* Júnior 2009, p.98, (c) Fernandes, 2004, p.36 e (d) Magalhães, 2005, p.60).

Guerra (2005) orienta que, para a instalação das parcelas experimentais, devem ser consideradas as seguintes premissas:

1. as parcelas devem ter largura e comprimento iguais, para que seja possível a comparação entre elas;
2. é indispensável a existência de um pluviômetro, pelo menos, ou pluviógrafo, como destacado anteriormente;
3. devem ser feitos diferentes tratamentos em cada uma das parcelas;
4. elas devem ser separadas por madeira, ferro galvanizado, pequenas muretas, ou algum outro tipo de material;
5. devem ser colocados galões coletores de água e sedimento, na parte mais baixa de cada parcela;
6. antes de atingir o coletor, o material chega até uma calha, a mais conhecida é a Gerlach Trough (calha de Gerlach), que deve estar protegida contra a ação direta das gotas de chuva;
7. as coletas de água e sedimentos devem ser diárias, se possível, ou pelo menos semanais. Essas são apenas algumas regras gerais, mas dependendo do local e dos objetivos da estação experimental, outros princípios podem ser adotados (GUERRA, 2005, p.33-34) (FIGURA 10).

FIGURA 10 – Componentes de uma parcela experimental utilizada para medir a erosão em campo.



Fonte: Júnior, 2009, p. 97.

Hudson (1993), citado por Morgan (2005), indica que uma série de erros pode ocorrer com os experimentos em campo caso não forem adequadamente projetados e gerenciados, sendo eles: (1) transbordamento do tanque de coleta; (2) tanques flutuando para fora do solo saturado; (3) entrada de fluxo externo na parcela; (4) torneiras dos tanques de coleta sendo deixadas abertas (quando existir); (5) danos causados por animais, como aranhas, cupins; e (6) o escoamento pode se acumular ao longo dos limites da parcela e formar sulcos que não se desenvolveriam de outra forma. Ademais, outro problema associado é a obstrução da entrada de sedimentos e água junto ao tanque de coleta.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NO SOLO E A BIOENGENHARIA

Foi observado que áreas degradadas pela atividade de mineração, geralmente, não são recuperadas pela recolocação do solo orgânico decapado, e que havia sido estocado. Isto se deve, principalmente, aos longos intervalos de tempo que ocorrem entre a retirada do solo e seu retorno (FRANCHI, 2000) já que, além do solo orgânico perder suas propriedades físico-químicas, uma nova condição geométrica foi estabelecida na área degradada, e isto deve ser levado em conta para propiciar o desenvolvimento de vegetação no local.

Primeiramente, para propiciar a recuperação de área degradada, deve-se realizar a escolha adequada das plantas, que se dará através de um conjunto de requisitos, sendo estes determinados a partir das formas de uso das plantas, detalhes específicos da solução construtiva e local de aplicação (SOUSA *et al.*, 2020). Além disto, Maffra *et al.* (2019)

indicam que, para o sucesso do desenvolvimento da vegetação, o plantio deve ser realizado na estação adequada para a espécie escolhida.

O sucesso na revegetação de áreas degradadas também dependerá da observação de algumas variáveis importantes para o bom desenvolvimento das plantas, como clima, vegetação nativa, solo, topografia e possíveis condições tóxicas (ARAUJO *et al.*, 2005 *apud* BISSO, 2013). Durante o estágio crítico do estabelecimento da vegetação, as propriedades benéficas das raízes podem não estar ainda desenvolvidas, permitindo que o solo esteja suscetível à erosão (texto modificado de VISHNUDAS *et al.*, 2005).

Algumas propriedades químicas do solo afetam diretamente o crescimento da planta, como pH, suplementos e concentração de nutrientes da planta e concentrações de substâncias tóxicas (COPPIN & RICHARDS, 1990). Dependendo do tipo de solo e das condições climáticas, o pH baixo (abaixo de 5,0 na água), frequentemente, causa toxicidade (Al, Mn, H estão solúveis) e induz deficiências elementares (P, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe, Mo), tendo como consequência a redução da massa, do comprimento e da formação de pelos nas raízes (BALIGAR, FAGERIA & ELRASHIDI, 1998). Em solos com poucos nutrientes, é comum a técnica de adição de nitrogênio, visto que é o elemento mais significativo no controle do crescimento de vegetação, apesar de potássio e fósforo serem também importantes, assim como outros minerais em concentrações menores (COPPIN & RICHARDS, 1990) (TABELA 3).

TABELA 3 - Principais nutrientes, minerais, disponibilidade nos solos tropicais e necessidade das plantas em sistemas naturais.

Nutrientes	Principal fonte no solo	Necessidades das plantas
Nitrogênio (N)	Matéria orgânica (MO)	1,5 a 4,0 %
Fósforo (P)	MO e colóides minerais	0,1 a 0,4 %
Potássio (K)	Colóides minerais e MO	1,0 a 2,5 %
Enxofre (S)	MO e intemperização de minerais	0,2 a 1,0 %
Cálcio (Ca)	Colóides minerais e MO	0,2 a 2,0 %
Magnésio (Mg)	Colóides minerais e MO	0,1 a 0,6 %
B, Cu, Fe, Mn e Zn	Colóides minerais e MO	10 a 150 mg kg ⁻¹
Mo	MO e colóides minerais	0,1 a 5 mg kg ⁻¹

Fonte: Franco, Resende e Campello, 2003, p.4 (adapt. de Chapman, 1965, s/p).

A taxa de crescimento das raízes também pode ser limitada por qualquer dos três fatores físicos do solo: resistência mecânica, potencial hídrico ou aeração do solo (MORRIS *et al.*,

2006). Kelting *et al.* (2000) *apud* Morris *et al.* (2006) indicam que os ciclos de chuvas podem afetar o crescimento das raízes, visto que, sob condições úmidas, a aeração insuficiente pode limitar o crescimento radicular, embora a resistência mecânica ao crescimento seja baixa, enquanto que, em condições mais secas, a aeração pode ser adequada, mas a resistência mecânica pode limitar o crescimento radicular.

A variação da intensidade da radiação solar é um dos principais fatores do clima que influenciam no estabelecimento da vegetação na área degradada. A radiação solar afeta o balanço de radiação das superfícies, influenciando as condições de temperatura e movimentação do ar, que, por sua vez, intervêm diretamente na umidade do solo, podendo gerar o déficit hídrico para o estabelecimento da vegetação, a depender do período que se estender a insolação de alta magnitude. Solos arenosos, por terem menor capacidade calorífica, menor condutividade térmica e menor resfriamento por evaporação, se aquecem mais numa tarde de verão do que os solos argilosos (PILLAR, 1995).

A temperatura e umidade do solo são parâmetros muitas vezes correlacionados. As condições da água no solo entre o limite de umidade (quando menos de 10% dos poros do solo são cheios ao ar) e limite seco (potencial de água é menor que 1,5 Mpa) são consideradas adequadas para o crescimento radicular (MORRIS *et al.*, 2006). Solos desnudos atingem amplitudes máximas de temperaturas quando comparados a ambientes vegetados, nos quais estas amplitudes influenciarão nos mecanismos das reações químicas e nos processos biológicos que ocorrem no solo, sendo importante o estabelecimento de condições que favoreçam um intervalo de temperaturas amenas para o estabelecimento da vegetação (ELTZ & ROVEDDER, 2005).

Diversas técnicas de bioengenharia e de agronomia têm sido aplicadas em taludes para possibilitar a geração de uma condição adequada do solo, possibilitando o desenvolvimento da vegetação. Fullen *et al.* (2011), citado por Guerra e Jorge (2013), indicam que o número de técnicas para recuperar áreas degradadas tem aumentado gradativamente pelo mundo, sendo a bioengenharia uma técnica muito recomendada. Segue abaixo algumas técnicas de engenharia e bioengenharia utilizadas para a recuperação de áreas degradadas.

2.3.1 Cobertura de material (*mulch*)

A aplicação de uma cobertura na superfície do solo é amplamente utilizada para melhorar as condições físicas do solo especialmente em relação à temperatura, evaporação e teor de água (COOK, VALDES & LEE, 2006). Esta cobertura também auxilia na proteção do

solo contra agentes erosivos, como a chuva, escoamentos e vento (RICKSON. 1995). Ainda, os tratamentos com cobertura morta mostraram, geralmente, uma captação significativamente maior de N, P e K do que os tratamentos sem coberturas (ACHARYA & SHARMA, 1994 *apud* JAMIL, 2005).

Esta técnica é amplamente utilizada em lavouras, sendo que a maioria dos materiais utilizados é orgânica: palha, serragem, grama, turfa, casca de pinheiro, resíduo de poda (JAMIL, 2005; SINKEVIČIENĖ *et al.*, 2009; ZRIBI, 2015), no entanto, materiais sintéticos, como plástico, têm gerado bons resultados também (JAMIL, 2005; ZRIBI, 2015). A cobertura com materiais orgânicos é espalhada manualmente em uma camada de 5 e 10 cm de espessura logo após a semeadura (SINKEVIČIENĖ *et al.*, 2009).

Apesar de não muito usual, a aplicação de cobertura já foi testada em algumas áreas de mineração em recuperação, a exemplo de Franchi (2000), que utilizou turfa em uma área abandonada de extração de areia, promovendo uma melhor recuperação da área, cujo resultado foi melhorias das propriedades físicas e químicas do solo.

A aplicação de camadas em solos auxilia no desenvolvimento das raízes no solo, uma vez que há redução das variações térmicas do solo, assim como a manutenção da umidade do mesmo. Estudos realizados por Mulumba & Lal (2007) demonstraram que a utilização de cobertura morta aumentou significativamente a capacidade de água disponível (de 18% para 35%), a porosidade total do solo (de 35% para 46%) e a retenção de umidade do solo em baixas sucções (de 29% para 70%). A redução de temperatura também foi observada por Cook, Valdes & Lee (2006), solos a uma profundidade de 0,15m chegaram a reduzir a temperatura em até 2,8°C quando comparados a solos cobertos e desnudos; Sinkevičienė *et al.* (2009) também observaram reduções de temperatura de 0,7–1,6 ° C do solo quando medido a uma profundidade de 0,10m.

Rickson (1995) descreveu que a efetividade das diferentes matérias de cobertura no controle de erosão e no desenvolvimento da vegetação dependerá dos seguintes fatores: (1) o tipo de material de cobertura, (2) morfologia do material de cobertura, (3) taxa de aplicação, (4) método de aplicação, (5) tipo de solo, (6) inclinação da superfície e (7) característica do clima.

2.3.2 Geotêxtil

Geotêxteis são formados por filamentos contínuos ou fibras cortadas, mono filamentos, laminais ou fios, tecidos ou não tecidos, muitos deles com fios distribuídos aleatoriamente de modo a construir uma manta de alta resistência, cujas propriedades

mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica (SILVA, 2014).

Os geotêxteis podem ser compostos tanto de matérias biodegradáveis, como de polímeros sintéticos. Os geotêxteis naturais (fibra de coco, juta, etc. - ver FIGURA 11) são preferíveis às fibras sintéticas devido ao fato de o material ser mais ecológico e *friendly* ao meio ambiente, já que elas absorvem e retêm a água por mais tempo e degradam naturalmente em tempos adequados, além de serem menos onerosos e facilmente disponíveis em muitas partes do mundo (LEKHA, 2004). Prambauer *et al.* (2019) destacam ainda que a degradação destes geotêxteis devem ocorrer após o estabelecimento da vegetação plantada (de 1 a 3 anos), de forma que a vegetação passa a assumir a função inicial do geotêxtil quanto ao controle de erosão e preservação da umidade do solo.

FIGURA 11 - *Geotêxteis biodegradáveis tendo como matérias-primas fibra de coco e palha agrícola.*



Fonte: Couto, 2010, p.72.

Segundo Rickson (1995) e Prambauer *et al.* (2019), os geotêxteis possuem seis funções:

1. separação de dois materiais distintos;
2. filtrar o fluido passante sem que haja remoção do solo;
3. drenagem, onde o geotêxtil aumenta a condutividade hidráulica local;
4. controle de erosão;
5. reforço e estabilidade de taludes;
6. favorece uma condição para crescimento da vegetação.

A principal utilização de geotêxteis em obras de engenharia e em lavouras é para o controle de erosão do solo. Bhattacharyya *et al.* (2011) observaram que a erosão causada pelo

fluxo superficial da água é reduzida através da utilização de geotêxtil devido aos seguintes fatores: (1) o escoamento superficial é dividido em vários caminhos menores devido às inúmeras obstruções causadas pela presença das fibras interlaçadas; (2) a rede geotêxtil auxilia na infiltração no solo pelo retardo no movimento da água; e (3) há diminuição da velocidade de escoamento pelo aumento da rugosidade na superfície.

Os geotêxteis (às vezes, denominados sistemas de controle de erosão por laminação) têm um enorme potencial global de conservação de solo e de água (BHATTACHARYYA *et al.*, 2011). Alguns autores destacam que a utilização de geotêxtil contribui também na preservação da umidade do solo (LEKHA, 2004; KERTÉSZ *et al.*, 2011; VISHNUDAS, 2006). Estudo realizado por Kertész *et al.* (2011) em seis países indicou que, em regiões temperadas, a efetividade da manutenção da umidade do solo através de geotêxtil varia. Por outro lado, em regiões tropicais, isto é nitidamente observado, o mesmo autor ainda indica que, em locais com índices pluviométricos anuais inferiores a 700 mm e com temperaturas médias superiores a 28°C, o geotêxtil não tem influência alguma sobre a manutenção da umidade do solo.

Couto *et al.* (2010) destacam a possibilidade de utilizar os geotêxteis em solos arenosos, no entanto, os autores indicam que alguns cuidados devem ser tomados para este tipo de solo, como a utilização de grampos mais longos a fim de promover uma fixação adequada do mesmo, uma vez que, se instalado de forma inadequada, o geotêxtil poderá causar focos erosivos no local de má aderência devido ao escoamento livre da água na superfície do talude sem contato com o geotêxtil, e gerará dificuldade para que a vegetação se estabeleça.

Prambauer *et al.* (2019), ao fazer uma revisão da literatura sobre a utilização de geotêxteis no controle de erosão, ressaltam que não existe consenso sobre a eficiência de geotêxtil em taludes íngremes, ou seja, superiores a 45°.

2.3.3 Utilização de leguminosas

A principal preferência pelo uso das espécies leguminosas para recuperação de solos degradados se deve à fixação biológica de nitrogênio ao solo, realizada por bactérias chamadas de diazotróficas (gênero *Rhizobium*) em simbiose com leguminosa (ANDRADE, ASSIS & SALES, 2010). Além de fixar grandes quantidades de N e contribuir com aporte elevado de biomassa ao solo, estas espécies podem contribuir para a reciclagem de nutrientes de modo efetivo, uma vez que a qualidade do material aportado é geralmente superior àquela oriunda de espécies não leguminosas (FRANCO, RESENDE & CAMPELLO, 2003).

Também as espécies leguminosas têm sido amplamente utilizadas na recuperação de áreas degradadas, visto que as espécies arbóreas ou arbustivas apresentam funções produtivas e protetoras do solo (controle da erosão, a estabilidade de taludes, barramentos e o aumento no estoque e qualidade da água) (NOGUEIRA *et al.*, 2012) (TABELA 4).

Como uma contribuição secundária na recuperação de áreas florestais, as leguminosas, muitas com crescimento rápido, podem gerar um sombreamento nas áreas em recuperação já no início do processo. As mudanças positivas que estas espécies e suas sombras podem acarretar nas áreas sob sua influência, notadamente nas características químicas do solo e nas condições microclimáticas, podem afetar diretamente o crescimento de outras plantas já que são as que concorrem para aumentar a disponibilidade de água e a mineralização de N do solo (DIAS *et al.*, 2006).

TABELA 4 - Leguminosas utilizadas na recuperação de áreas degradadas (RAD) no Brasil.

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação N (Kg/ha/ano)	Adaptação ambiental
<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema	Forragem	126 - 398	Pastagens e lavouras consorciadas
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna preta	Forragem e ad.verde	157	-
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja perene	forragem	160 - 450	-
<i>Stylosanthes spp.</i>	Estilosantes	Forragem	34 - 220	Lavouras consorciadas
<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	Grão	73 - 354	Lavouras consorciadas
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	Grão, forragem, ad.verde	168 - 280	-
<i>Crotalária juncea</i>	Crotalária	ad. verde	154	R.A.D
<i>Acacia auriculiformes</i>	Acácia	Lenha, serraria, celulose, outros	200	Ácidos (3,0), arenosos, úmidos
<i>Caesalpineia ferrea.</i>	Pau-ferro	Serraria, orn., medic.	-	Sec. / clímax. reposição mata ciliar
<i>Cassia grandis</i>	Cássia rosa	Serraria, orn., medic.	-	Sec. inicial. Solos ácidos, um
<i>Erythrina falcata</i>	Eritrina, canivete	Ornam. medicinal	60	Sec. inicial. Solos ácidos, úmidos
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricidia	Forrag, lenha, outros	31	Solos pouco ácidos, úmidos
<i>Inga spp</i>	Ingá	Lenha, orn., med, outros	-	Lenha, orn., med, outros
<i>Lecaena leucocephala</i>	Leucena	Forrag., lenha, outro	500 - 600	Solos neutros
<i>Mimosa scabrella.</i>	Bracatinga	Lenha, celulose, outro	até 253	Pioneira. solos ácidos, R.A.D

Fonte: Nogueira *et al.*, 2012, p. 2125-2126 (adapt. de Cemarh, 2010, s/p).

Ferreira (2006) estudou o crescimento de diferentes leguminosas arbóreas na recuperação de áreas de mineração de areia localizada nos municípios de Seropédica e Itaguaí - RJ, nos quais o plantio foi realizado em talude da cava e lagoas de rejeito; como resultado,

as leguminosas plantadas nos taludes tiveram um melhor desenvolvimento e as espécies que melhor se adaptaram às áreas foram a *Samanea saman*, a *Mimosa caesalpinifolia* e a *Gliricidia sepium*.

2.3.4 Hidro-semeadura

Hidro-semeadura é uma técnica muito utilizada na recuperação de taludes rodoviários, bem como de mineração. Ela consiste na implantação das espécies vegetais, por meio de jateamento de sementes sobre o solo. O material introduzido no solo por jateamento consiste de uma massa aquosa ou pastosa composta por adubos ou fertilizantes e nutrientes, consorciação de sementes, matéria orgânica (esterco), camada protetora e adesivos (DNIT, 2006). Para um maior sucesso na aplicação da técnica de hidrossemeadura, é aconselhado que se selecione, preferencialmente, espécies locais que já sejam naturalmente adaptadas às prováveis carências nutricionais e às condições climáticas da região (MACEDO, FRANCISO & GOMES, 2003).

Macedo, Francisco & Gomes (2003) indicam que a hidrossemeadura tem as seguintes finalidades:

- proteger a obra finalizada contra erosão, propiciando-lhe estabilidade. Refere-se a um acabamento final, sendo necessário que a implantação de um sistema de drenagem para a água pluvial;
- recuperar visual e ecologicamente a paisagem;
- controlar impactos causados pelo assoreamento da drenagem e da hidrografia a jusante do local.

Segundo Moretto (2012), a hidrossemeadura é aplicável em taludes formados por solos arenosos finos e em cortes de solos residuais de granitoides. A mesma autora ressalta que, além da vantagem econômica desta técnica, ela alcança taludes de difícil alcance, é uma técnica rápida de se executar, bem como a água da chuva tem mais dificuldades de remover a vegetação em germinação. No entanto, nem sempre isto é o caso, como relatado por Mattos (2009), por exemplo, que observou que esta técnica não é recomendada em solos com problemas de erodibilidade, como solos arenosos, visto que a hidrossemeadura necessita de tempo para que ocorra a total cobertura do solo, bem como a própria preparação do talude para a aplicação da técnica induz a geração a sulcos erosivos (FIGURA 12). Bressani (2020, inf. pessoal) também relata casos em que, por ausência de germinação ou pequeno

desenvolvimento da vegetação (por problemas como excesso de insolação, ausência de irrigação, etc.), chuvas intensas podem remover o material e a camada superficial, iniciando sulcamento.

FIGURA 12 - Cobertura de hidrossemeadura de solo arenoso com geração de focos erosivos após o período de chuvas.



Fonte: Mattos, 2009, p.97.

Em terras áridas e semi-áridas, é indicada a utilização de coberturas mortas após a realização da hidrossemeadura (MACEDO, FRANCISCO & GOMES, 2003) para que ocorra a retenção da umidade do solo e auxilie o desenvolvimento da vegetação pela incorporação de MO.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo tem por objetivo definir e explicar os métodos que serão utilizados na pesquisa para que seus objetivos possam ser atingidos.

O método de pesquisa foi dividido em três etapas. A **primeira etapa** correspondeu à de **gabinete**, que objetivou realizar a **revisão bibliográfica** da importância da vegetação sobre as características geotécnicas do solo, influência da vegetação no controle de erosão do solo, bem como analisar as principais técnicas de bioengenharia aplicadas para auxiliar a recuperação de área degradada. A **segunda etapa** correspondeu aos **trabalhos de campo**, incluindo a instalação do experimento, os monitoramentos e coletas de sedimentos realizados ao longo de sete meses, bem como medições de aspectos botânicos associados ao experimento. A **última etapa** correspondeu aos **ensaios de laboratório**, que contaram com a caracterização física e química do solo estudado.

3.1 ETAPA DE GABINETE

Esta etapa foi realizada com o intuito de se compreender a importância da vegetação nas características geotécnicas do solo, contribuindo para uma melhor recuperação de área degradada de mineração, que é uma obrigação legal no Brasil. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica exploratória, em que se realizou uma busca da literatura sem critérios, onde algumas teses, dissertações e artigos foram selecionados. Após isso, foram identificados os autores mais citados e de referência sobre o assunto, tal identificação se deu através daqueles que foram citados em, no mínimo, três estudos pré-selecionados na revisão bibliográfica exploratória. Por fim, para cada tópico estudado, optou-se por fazer uma revisão sistemática de literatura.

3.2 ETAPA DE CAMPO

3.2.1 Área de estudo

A área objeto deste estudo corresponde a uma área de extração de areia em cava, localizado próximo a BR 040 em Águas Claras, distrito do município de Viamão – RS, sendo que município de Viamão se encontra na região leste do estado do Rio Grande do Sul, a uma

altitude média de 111m, e localiza-se a, aproximadamente, 25 quilômetros de Porto Alegre (FIGURA 13).

FIGURA 13 - *Localização do Município de Viamão no Estado do Rio Grande do Sul.*



Fonte: Wikipedia.

A região apresenta chuva ao longo do ano todo, com precipitação mensal média total variando de 136 milímetros a 83 milímetros, em meses mais chuvosos e secos respectivamente. A direção dos ventos mais frequentes, de maio a julho, vem da direção norte, e, no restante do ano, da direção leste. A região possui estações bem definidas, sendo a temperatura máxima média de 30 °C no verão e mínima média de 10 °C (WEATHER SPARK, 2020).

A região em estudo possui potencial para a produção de areia (para uso na construção civil ou uso industrial), visto que, atualmente, possui diversas áreas de interesse para minério tipo areia junto à Agência Nacional de Mineração, que correspondiam na data de 09/07/2021: **19** (dezenove) processos com fase de licenciamento, **3** (três) em fase de concessão de lavra, **2** (dois) requerimentos de licenciamento, **19** (dezenove) processos de requerimento de pesquisa, bem como **83** (oitenta e três) autorizações de pesquisa.

Os depósitos de areia existentes no Distrito de Águas Claras se devem à formação geológica na área. No âmbito das morfoestruturas, a área é constituída pela Unidade Bacia Sedimentar de Pelotas, que se formou no período Cenozóico através da sequência sedimentar de aproximadamente 1500m. A região de Águas Claras encontra-se sobre a Formação Itapuã, que se caracteriza por uma série de corpos de areias quartzosas, de granulação fina a média, bem selecionada e com uma matriz silto-argilosa; sua formação é consequência de uma sucessão de cordões de dunas fósseis que delimita uma antiga linha de praia estacionária a diferentes níveis do mar, cuja deposição predominante foi eólica, a qual se associou à de

outros ambientes menores (fluviais, lacustres e marinhos) (VILWOCK, 1972). Devido as características geológicas da região a pedologia local é caracterizada por apresentar um Horizonte A pouco espesso, com espessura variando de 0 a 10cm, inexistência de Horizonte B, bem como Horizonte C bem definido, que corresponde ao depósito de areia.

O local de estudo corresponde a uma área de mineração de areia, licenciada através da Prefeitura Municipal da Viamão e em fase de licenciamento junto a ANM. O empreendimento iniciou sua operação em dezembro de 2020, no entanto, o experimento foi instalado em uma porção não antropizada pela extração mineral.

3.2.2 Escolha das espécies vegetais

As características do solo, o clima e ambiente do local onde se pretende realizar a recuperação ambiental devem ser observados, efetuando-se uma seleção adequada das espécies vegetais. E, para a aplicação da técnica de bioengenharia do solo, é preciso identificar características vegetais relevantes para a triagem e seleção de plantas em relação ao reforço hidromecânico de espécies candidatas (BOLDRIN *et al.*, 2017).

Levando em consideração os fatores acima citados, para realizar uma pré-seleção das espécies estudadas, foram analisadas quais espécies herbáceas atualmente vêm sendo utilizadas na recuperação ambiental de cavas de areia na região, sejam elas exóticas não invasoras, sejam nativas. Como segunda etapa, foi realizada uma visita à região de Águas Claras - Viamão para observar as espécies já utilizadas na área que melhor se adaptam às condições locais, assim como identificadas as espécies que apresentam colonização natural na área do estudo. Desta forma, foram selecionadas duas espécies que foram adquiridas em viveiros, que corresponde a:

- Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) (FIGURA 14): espécie de gramínea amplamente estudada no mundo, cuja eficiência quanto ao aumento da resistência do solo devido a características de suas raízes tem se verificado. Esta espécie de herbácea já é utilizada em algumas cavas de areia em recuperação na região objeto de estudo. A preferência por esta espécie em recuperação de área degradada deve-se ao fato de ela se adaptar a diferentes climas, ser resistente a pragas, doenças, déficit hídrico, geada e fogo, além de apresentar sistema de raízes densas e de extensa profundidade (podendo chegar a até 3m), o que favorece a formação de um grampo natural e estabilização de encosta (PEREIRA, 2006).

FIGURA 14 - Talude com plantio de Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*).



Fonte: Barbosa, 2012, p.64.

- Grama Amendoim ou Amendoim-Rasteiro (*Arachis repens* Handro) (FIGURA 15): esta espécie trata-se de leguminosa herbácea perene, nativa da América do Sul. Ela possui algumas características para o sucesso do cultivo de cobertura do solo, entre elas, a capacidade de crescer sobre o sombreamento e sobre o sol pleno, além de proteger o solo de efeitos erosivos da água devido a suas densas camadas de estolões enraizados, também consegue se adaptar bem a solos ácidos, de baixa a média fertilidade, no entanto, não tolera geada. Atualmente, a *Arachis repens* é cultivada como planta ornamental em todas as regiões do Brasil (FAVERO & VALLS, 2018). Quanto ao sistema radicular, é composto por raízes axonomorfas sem engrossamentos, ramos estendidos, procumbentes, ocos e radicantes nos nós, formando estolhos (SARAIVA, 2016).

FIGURA 15 - Imagem da espécie *Arachis repens* Handro.



Fonte: Favero & Valls, 2018, p. 1086.

- A área objeto de estudo, até então utilizado para a pecuária, apresenta uma vegetação campestre, em sua maioria, típica de solo arenoso, composta por uma mistura de espécies herbáceas nativas e exóticas (FIGURA 16).

FIGURA 16 - Vista geral da vegetação de colonização espontânea da área objeto de estudo.



Fonte: elaborado pela autora.

Entre a espécies de ocorrência natural, foram selecionadas 4 (quatro) espécies do local que apresentaram maiores incidências na área objeto de estudo, que corresponderam a:

- Grama-cinzenta (*Paspalum nicorae* Parodi) (FIGURA 17): esta espécie de gramínea é perene de estação quente, é rizomatosa e estolonífera, sendo nativa dos campos do sul do Brasil. A grama cinza apresenta alta capacidade de expansão por meio de seus estolões e rizomas, se adapta bem a diferentes tipos de solos e climas, no entanto, é mais comum sua identificação em ambientes arenosos, indicando que a mesma apresenta alta tolerância à seca (NABINGER & AGNOL, 2019).

FIGURA 17 - Imagem da espécie *Paspalum nicorae* Parodi, sendo possível observar a morfologia do sistema radicular.



Fonte: Nabinger & Agnol, 2019, p. 62.

- Alecrim-do-campo (*Vernonanthura nudiflora* (Less) H.Rob) (FIGURA 18): espécie nativa tanto do sul do Brasil, do Uruguai, como centro e nordeste da Argentina; esta espécie se desenvolve bem em solos subdesenvolvidos, soltos, úmidos, com sedimentos de transporte fluvial; quanto à característica botânica, correspondem a arbustos perenes, com altura de 1 a 2m, com xilopódium, que ramifica vastos caules. (FORNERIS, 2018);

FIGURA 18 - Imagem da espécie *Vernonanthura nudiflora* (Less) H.Rob), presente na área objeto de estudo.



Fonte: elaborada pela autora.

- Gandularia (*Glandularia peruviana* (L.) Small) (FIGURA 19): hera prostrada, radicantes nos nós, com 10-90 cm comprimento, sendo nativa da região sul do Brasil.

Sua ocorrência no **Rio Grande do Sul** se dá, principalmente, junto a solos arenosos, pedregosos, dunas e campos (THODE & MENTZ, 2010). Além do Brasil, esta espécie tem ocorrência em outros países da América do Sul, como Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai (MÚLGURANA, 2007 *apud* THODE & MENTZ, 2010). Os principais estudos realizados em relação a esta espécie são para análise de potencialidade ornamental.

FIGURA 19 - Imagem da espécie *Glandularia peruviana* (L.) Small presente na área objeto de estudo.



Fonte: elaborada pela autora.

- Capim-Pângola ou Capim-Angola (*Digitaria eriantha* subsp. *pentzii* (Stent) Kok) (FIGURA 20): espécie exótica, naturalizada no Brasil, cujo país de origem é a África do Sul; é perene, consegue se desenvolver tanto em solos ácidos como básicos, com baixa a alta fertilidade, e é, geralmente, encontrada em solos bem drenados, como areias; sua aplicação ocorre tanto para a produção de pastagem, feno ou silagem, como para cobertura do solo, para a conservação do solo e restauração de solos fortemente degradados (lucidcentral). No local do estudo, uma das espécies mais dominantes na vegetação.

FIGURA 20 - Imagem da espécie *Digitaria eriantha* presente na área objeto de estudo.



Fonte: elaborada pela autora.

3.2.3 Preparo da área, instalação do experimento e delineamento experimental

Após a seleção das espécies vegetais a serem estudadas, optou-se por analisar o desempenho da aplicação de uma técnica de engenharia, quando comparado ao solo desnudo, sendo a juta (tecido) o material escolhido para utilizar como geotêxtil. De acordo com Prambauer *et al.* (2019), este material é um dos melhores geotêxtis de fibra natural e, além disso, foram feitos poucos estudos com geotêxtil de fibra natural ao longo do mundo quando comparados a geotêxtis sintéticos. A escolha também foi fundamentada devido à acessibilidade no mercado de tal material, o baixo custo quando comparado a outros materiais, bem como por ser um material biodegradável, portanto, *eco-friendly*.

Assim como todos os experimentos, as medições em campo estão sujeitas a erros, ainda mais por ocorrer em ambiente com diversas variáveis não controláveis, sendo assim, a replicação do experimento é fundamental para quantificar este erro, sendo a média dos valores considerados para quantificar a perda de solo (MORGAN, 2005). Conforme exposto por Morgan (2005), experimentos em blocos aleatórios são particularmente úteis quando o experimento prevê quatro ou mais tratamentos, sendo indicadas, pelo menos, três replicações. Logo, a partir da escolha dos materiais de estudo, foi feita a delimitação do projeto experimental, sendo escolhidas por utilizar blocos casualizados, repetidos 3 (três) vezes, sendo o experimento bifatorial, com 4 (quatro) níveis do fator 1 (vegetação) e 2 (dois) níveis do fator 2 (geotêxtil), totalizando 24 (vinte e quatro) parcelas, com os seguintes tratamentos: (1) plantio do *Chrysopogon zizanioides* sobre a juta, (2) plantio do *Chrysopogon zizanioides* diretamente no solo, (3) plantio da *Arachis repens* sobre a juta, (4) plantio da *Arachis repens* diretamente no solo, (5) plantio do mix de vegetação local sobre a juta, (6) plantio do mix de

vegetação local diretamente no solo, (7) solo exposto sem vegetação e (8) solo com aplicação de juta e sem vegetação (FIGURA 21 e FIGURA 24).

Para a instalação do experimento, em 11 de novembro de 2020, foi escavada uma trincheira com aproximadamente 40m de comprimento, 8m de largura e 2m de profundidade, sendo que, no talude leste, foi onde se instalou o experimento. Este corte leste foi dividido em dois taludes de 1m de altura, tendo uma berma com 0,5m e com 30° de inclinação (FIGURA 22). A escolha por um ângulo de 30° de face do talude se deve ao fato de ser a inclinação aprovada pelo órgão ambiental para a cava final, uma vez que o talude estudado será incorporado a uma das cavas finais aprovadas no projeto licenciado, além de ser compatível com as características geotécnicas do material.

FIGURA 21 - Planta baixa dos tratamentos e blocos aplicados no experimento.

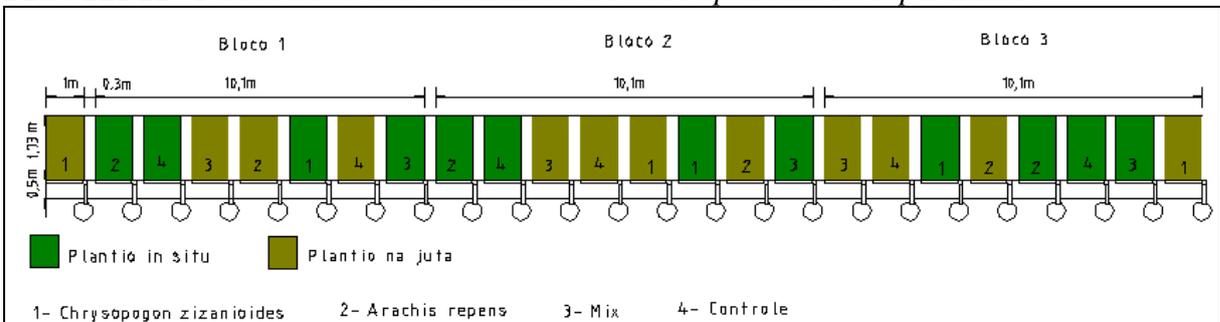
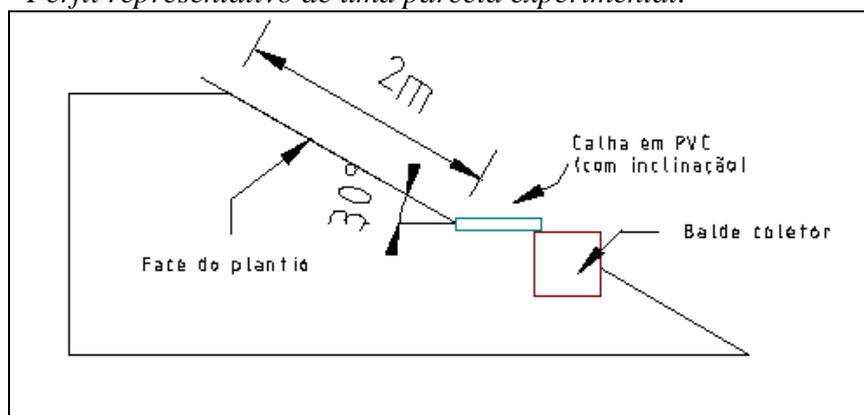


FIGURA 22 - Perfil representativo de uma parcela experimental.



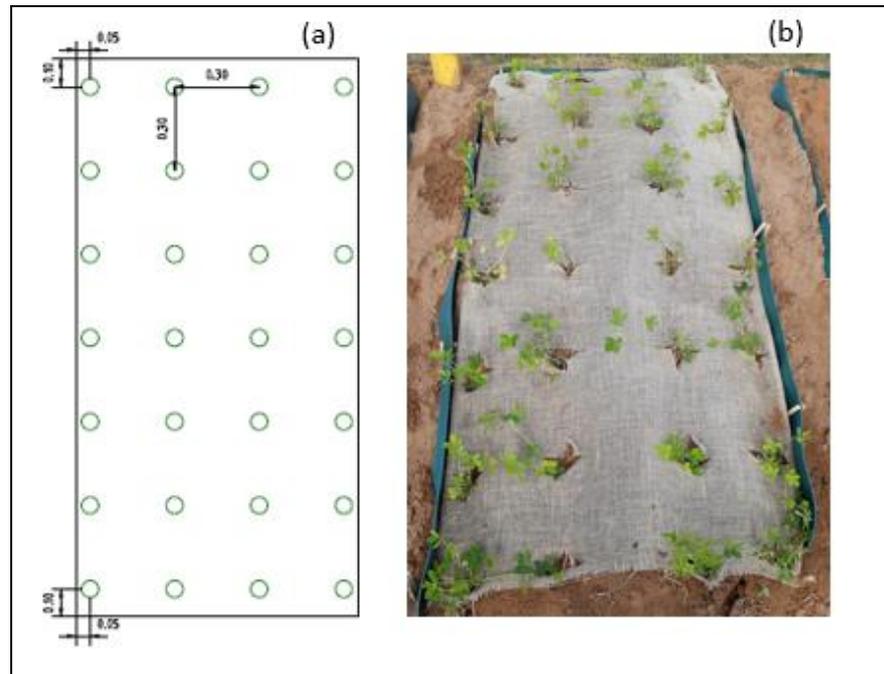
Optou-se por parcelas experimentais com área de 2m², cujas dimensões corresponderam a 1m x 2m, com a maior dimensão no sentido do declive, sendo cada parcela espaçada em 0,3m em relação à outra. A implantação das parcelas experimentais deu-se através da seguinte sequência:

- **Aplicação da juta:** a juta utilizada no experimento corresponde a um tecido de fibra têxtil vegetal, com espessura aproximada de 2 mm. Sua aplicação se deu a partir do topo do talude em direção ao pé do mesmo, ou seja, no sentido da declividade do talude. A fixação da juta foi realizada como recomendado para geotêxtis: no topo do talude, foi executada uma trincheira para a realização da ancoragem do tecido e, posteriormente, foram utilizados aproximadamente 3 grampos/ m² para realizar a fixação do talude que havia sido configurado com inclinação de 30°, conforme recomendado por Pereira (2008) citado por Couto *et al.* (2010). Em todas as parcelas, foi verificado se a juta estava bem aderida ao solo;
- **Plantio:** foram plantados, em 12 de novembro de 2020, 28 (vinte e oito) indivíduos em cada parcela, espaçados conforme FIGURA 23; nas parcelas onde foram aplicadas as jutas, anterior ao plantio, foram realizados cortes nas mesmas nos locais onde seria realizado o plantio. O tamanho das plantas foi padronizado dentro de cada espécie, sendo as características das mudas e do plantio descritas abaixo:
 - *Arachis repens*: as mudas foram adquiridas de viveiro, sendo que o sistema solo e raiz estava envolvido por plástico. As plantas apresentavam porte pequeno, com altura aproximada de 10 cm, contendo em torno de 2 (dois) a 3 (três) estolões cada muda. O plantio foi realizado a uma profundidade aproximada de 5 cm, sendo que, anteriormente ao plantio, os plásticos das mudas foram removidos.
 - *Chrysopogon zizanioides*: as mudas foram adquiridas de viveiro, transportadas com raízes nuas a base de 1 (um) ou 2 (dois) perfilhos. As plantas apresentavam porte pequeno, com altura aérea aproximada de 10 cm e raiz com comprimento aproximado de 5 cm. O plantio foi realizado a uma profundidade aproximada de 5 cm, sendo que se optou por realizar o plantio direto no solo, sem a adição de qualquer material que pudesse melhorar o desempenho da vegetação.
 - *Mix*: as mudas foram coletadas na área do experimento no dia da instalação do experimento, armazenadas por um período máximo de 2 (duas) horas em local sombreado e, posteriormente, plantadas nas parcelas, sendo que cada espécie seguiu um padrão tanto para a coleta, como para o plantio. O número de indivíduos escolhidos correspondeu à proporção dos mesmos na área de estudo, o plantio de cada indivíduo se deu de forma aleatória:
 1. *Digitaria eriantha*: correspondeu a 10 (dez) indivíduos em cada parcela. A coleta se deu a partir de indivíduos que continham estolão com 5 nós, destes, no mínimo, 2 (dois) com raízes. O plantio foi realizado a uma

profundidade aproximada de 3 cm, sendo enterrado os estalões com as raízes.

2. *Paspalum nicorae*: correspondeu a 10 (dez) indivíduos em cada parcela. Os indivíduos foram selecionados seguindo à inflorescência (para garantir a identificação), contendo de dois a três afilos. Quanto ao plantio, os mesmos foram plantados com raízes e número de afilos reduzido (1 (um) afilo vegetativo por indivíduo) a uma profundidade aproximada de 3 cm.
 3. *Glandularia peruviana*: correspondeu a 4 (quatro) indivíduos em cada parcela, sendo coletada planta inteira, com número variável de ramos, no entanto, para o plantio o número de ramos, foi reduzido a 1 (um) e se utilizou uma cova de aproximadamente 3 cm.
 4. *Vernonanthura nudiflora*: correspondeu a 4 (quatro) indivíduos em cada parcela, sendo coletado pedaço do rizoma de caule de 5 cm de comprimento, com número variável de ramos vegetativos (geralmente, de dois a cinco), e plantado com um só raminho vegetativo. O plantio foi realizado a uma profundidade aproximada de 5 cm, sendo enterrado por completo o rizoma.
- Instalação da estrutura das parcelas experimentais: após finalizar o plantio, foram instaladas as estruturas físicas das parcelas. Primeiramente, foram instalados os divisores de jardim seguindo a geometria escolhida para as parcelas. Depois, foram instaladas as estruturas de coletas de sedimentos, compostas por: (1) calhas de 1m de comprimento junto ao pé do talude de cada parcela experimental (cano de 3” cortado ao meio), (2) um cano de 2” conectado à calha através de um joelho redutor e a outra extremidade conectada a um joelho de 90°, sendo este último direcionado para uma abertura na tampa de baldes de 65 litros. Em cada balde, foi instalado um filtro (*bidin*), previamente pesado, para a coleta dos sedimentos, o qual teve a função de servir como um filtro coletor para os sedimentos. Também próximo ao experimento, foram instalados dois pluviômetros.

FIGURA 23 - Distribuição e espaçamentos do plantio de cada indivíduo nas parcelas experimentais.



Legenda:

- a) croqui contendo as dimensões em metros dos espaçamentos das mudas;
- b) foto da parcela experimental da *Arachis repens* com juta do bloco 2 tirada na data de instalação do experimento (em 12/11/20).

Fonte: elaborada pela autora.

FIGURA 24 - Vista geral do experimento (em 10/02/21).



Fonte: elaborada pela autora.

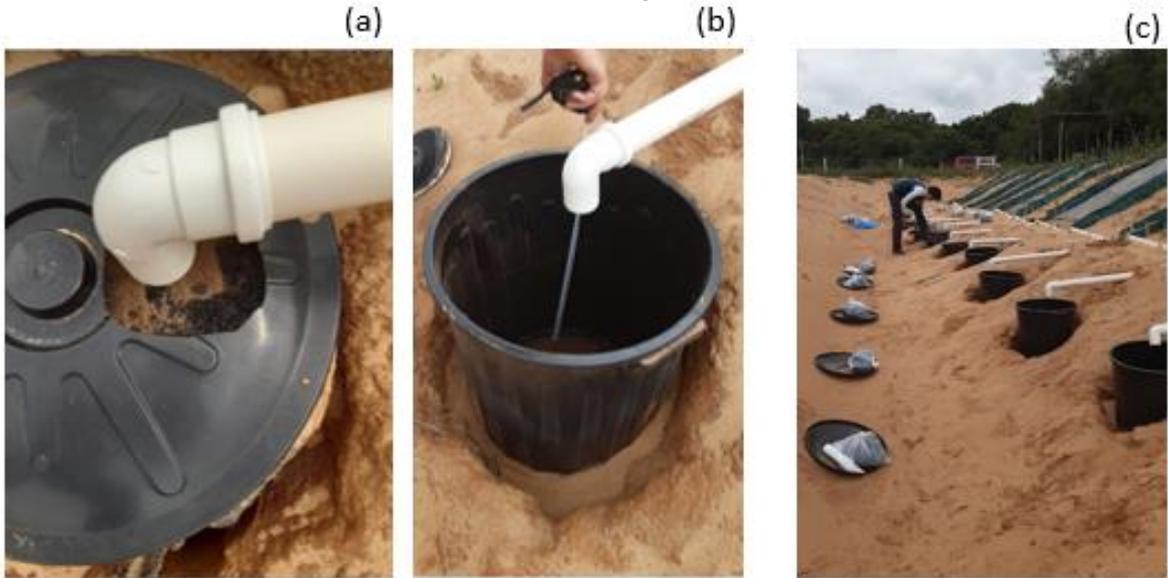
3.2.4 Monitoramento e coletas de sedimento

O experimento foi monitorado continuamente por sete meses. Nos primeiros três meses, após o plantio, as mudas foram irrigadas manualmente, com o cuidado de não gerar nenhuma erosão artificial das parcelas. Ao longo do experimento, foram realizados também: (1) medição dos pluviômetros sempre após a ocorrência de chuva; (2) ajustes das divisórias das parcelas quando estas foram deslocadas devido à ação do vento e chuva; (3) limpeza de todas as calhas quando identificada a obstrução de pelo menos uma delas; (4) limpeza dos canos que conectavam as calhas aos baldes, quando identificada a obstrução dos mesmos; e (5) controle de formigas.

Sempre após alguns eventos de chuvas, quando identificada visualmente a retenção de um volume significativo de sedimentos junto aos baldes, os filtros foram coletados, identificados e, posteriormente, pesados com a utilização de uma balança de precisão (FIGURA 25). Sendo premissa para a coleta que os filtros estivessem secos, assim como os sedimentos contidos nos mesmos, de forma a não haver interferência da umidade de material. Apenas a última coleta de sedimentos, devido às condições climáticas (final do outono), os filtros foram coletados ainda úmidos e levados a uma estufa com temperatura de 80° por 48h, de forma a secar tanto o *bidin*, como o solo contido.

Após a coleta dos filtros, o nível de água de cada balde foi medido por meio de uma trena, onde foram conferidos os níveis em 4 posições ao redor do balde, sendo considerada a média dos níveis (FIGURA 25). Destaca-se que, antes da instalação dos baldes no experimento, foi realizada a calibração do volume de água em relação à coluna de água dos baldes, conforme GRÁFICO 1.

FIGURA 25 - Procedimentos de monitoramento do experimento e coleta dos sedimentos.

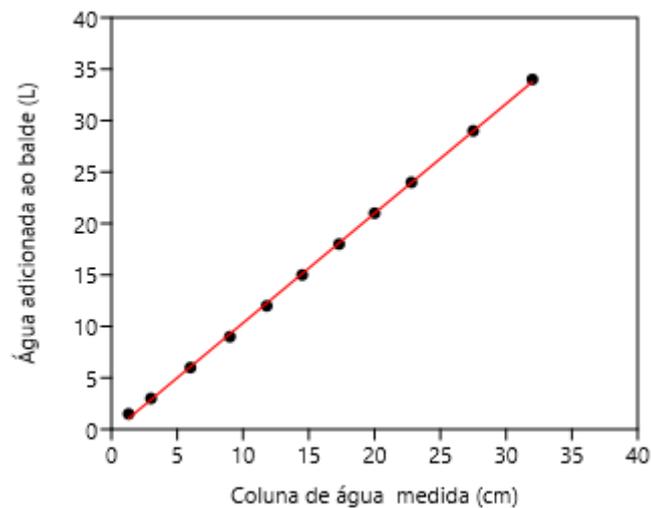


Legenda:

- a) Bidin atuando como filtro, separando os sedimentos da água escoada
- b) coluna de água de um dos baldes sendo medida
- c) substituição dos bidins.

Fonte: elaborada pela autora.

GRÁFICO 1 - Reta de calibração dos baldes utilizados no experimento.



Fonte: elaborado pela autora.

A equação obtida, para um R^2 de 0,9962, a partir da regressão linear, correspondeu a:

$$V = 1,0652 CA - 0,31626$$

Sendo V o volume de água contido no balde (L) e CA a coluna de água medido no balde (cm).

3.2.5 Levantamento da vegetação e medição de atributos funcionais

Com o intuito de se verificar o desempenho das espécies vegetais selecionadas para o experimento, assim como identificar novas espécies que surgiram nas parcelas experimentais, em duas oportunidades, foram realizados: a) o **levantamento de espécies** em cada parcela experimental (plantada e de colonização natural), b) a **avaliação da taxa de sobrevivência** de cada espécie plantada, e c) a **cobertura total da vegetação**. Isto foi medido após três meses do início do experimento e, novamente, ao final do experimento.

O levantamento das espécies foi realizado conforme metodologia descrita por Andrade *et al.* (2019), mas as dimensões das parcelas corresponderam a 2m² (parcela experimental deste estudo), e não de 1m², conforme orientado pelos autores. Considerando que a contagem de números de indivíduos de cada espécie de vegetação plantada e de colonização natural é difícil, visto que muitas plantas apresentam crescimento clonal por rizomas ou estolões ou podem brotar de órgãos subterrâneos, a estimativa das espécies em cada parcela se deu através do levantamento de cobertura das mesmas, conforme apresentado na TABELA 5.

TABELA 5 - Método de estimativa de cobertura de cada espécie identificada na parcela experimental.

Escala Londo		
Cobertura (%)	Classe	Valor de análise
<1	0,1	0.5
1 -<3	0,2	2
3 -<5	0,4	4
5 -<15	1	10
15-<25	2	20
25 -<35	3	30
35 -<45	4	40
45-<55	5	50
55 -<65	6	60
65 -<75	7	70
75 -<85	8	80
85 -<95	9	90
95 - 100	10	100

Fonte: elaborada pela autora (adapt. de Andrade *et al.*, 2019, p.791).

Para avaliar o desempenho das diferentes espécies de plantas, foram medidos alguns atributos funcionais das espécies plantadas em duas etapas.

- Primeira etapa: foram medidos os atributos relacionados à parte aérea das plantas, de forma que o experimento não passasse por nenhuma intervenção, ou seja, sem a destruição de qualquer indivíduo ou movimentação do solo. Nesta etapa, apenas *Arachis repens* e o *Chrysopogon zizanioides* foram avaliadas, uma vez que as parcelas com o plantio do mix apresentavam indivíduos interlaçados e sobrepostos a outros, o que foi um fator de impedimento para a medição dos atributos, visto que poderia comprometer a integridade da parcela. Todos os indivíduos que sobreviveram das espécies consideradas nesta etapa foram avaliados com os seguintes parâmetros:
 - *Arachis repens*: número de ramos;
 - *Chrysopogon zizanioides*: número perfilo e maior comprimento folhar.
- Segunda etapa: os atributos medidos na primeira etapa foram novamente avaliados, e adicionalmente a estes, foram exumados 5 (cinco) indivíduos de cada espécie e medidos os comprimentos das raízes, a biomassa seca das raízes, a biomassa seca da parte aérea dos indivíduos, bem como comprimento específico das raízes. O comprimento específico das raízes (SRL) é estimado conforme definição de Perez-Harguindeguy et al. (2013), que corresponde à razão entre o comprimento da raiz e a massa seca de raízes.

Para realizar a amostragem referente aos atributos avaliados somente na segunda etapa, escolhe-se, aleatoriamente, 5 (cinco) indivíduos de cada uma das espécies plantadas (*Arachis repens*, *Chrysopogon zizanioides*, *Paspalum nicorae* e *Digitaria eriantha*) em tratamentos **com** juta e mais 5 (cinco) indivíduos de cada uma das mesmas espécies plantadas para os tratamentos **sem** juta. Sendo que, para realizar a escavação e remoção das raízes para os indivíduos de *Chrysopogon zizanioides* e da *Digitaria eriantha*, define-se como padrão a abertura de trincheira de 40 x 40 cm (extensão de duas pás de corte) e escavação até remoção da raiz mais profunda. Destaca-se que, para a amostragem da *Digitaria eriantha*, considerando que os estolões se desenvolveram além dos limites pré-estabelecidos para escavação das raízes, foram verificados quais estolões pertenciam ao indivíduo selecionado, de forma que todos os estolões foram concentrados junto ao indivíduo para propiciar a escavação. Para as outras duas espécies, a escavação ficou limitada, aproximadamente, à superfície de cobertura das suas partes aéreas.

Após a escavação, os indivíduos foram acondicionados em sacos plásticos e identificados para realizar o transporte até o Campus da Agronomia da UFRGS. No *campus*, foi realizada a medida do comprimento das raízes e, posteriormente, as partes aéreas dos indivíduos foram separadas e acondicionadas em sacos de papeis e identificadas. Já as raízes foram lavadas com água corrente em uma peneira de 1 mm, para remoção dos solos, e, posteriormente, foram armazenadas em sacos de papeis e identificadas. Tanto a porção aérea, como as raízes, foram levadas à estufa por um período mínimo de 48h a uma temperatura de 60°. Por fim, após conferido que o material se encontrava seco, ou seja, quebradiço, a biomassa seca das raízes e parte aérea foram pesadas com a utilização de uma balança de precisão (FIGURA 26).

FIGURA 26 - Procedimentos adotados para medir os atributos funcionais da vegetação plantada sobre dois tratamentos (*juta* e *solo exposto*).



Legenda:

- a) remoção dos indivíduos plantados;
- b) medida do comprimento das raízes;

- c) lavagem das raízes para retirar partículas de solo;
- d) pesagem da porção aérea seca dos indivíduos coletados;
- e) pesagem das raízes secas dos indivíduos coletados.

Fonte: elaborada pela autora.

3.2.6 Coleta das amostras para de caracterização física e química do solo

Para a caracterização química do solo estudado, no início do experimento, foi coletada uma amostra de solo em cada parcela experimental de controle, totalizando em três amostras, submetidas ao Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. A coleta das amostras para a caracterização química foi realizada com base na Instrução da EMBRAPA.

Após o término do experimento, também foram coletadas três amostras, que corresponderam a uma amostra deformada de solo em cada parcela de controle sem juta. As amostras foram obtidas a 0,5m de profundidade em relação à superfície do terreno, na porção central das parcelas, bem como a uma profundidade máxima de 0,2m perpendicularmente à face do talude. Tomou-se o cuidado de não coletar fragmentos vegetais. Estas amostras deformadas foram enviadas para o laboratório da GSS Investigações Geotécnicas para a realização da caracterização física do solo estudado.

As amostras da coleta para a caracterização química e física do solo foram armazenadas em sacos plásticos e devidamente identificadas para o transporte para os laboratórios.

3.3 ETAPA LABORATORIAL

A caracterização física do solo estudado possibilita a sua classificação geotécnica. A classificação utilizada neste estudo será a granulométrica e a Classificação pelo Sistema Unificado. Segundo Pinto (2006), o principal objetivo para realizar a classificação de um solo, considerando aspectos da engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo, de forma a orientar o programa de investigação e análise do problema. Ainda, o solo pode ser classificado considerando a faixa granulométrica que o compõe, sendo considerado na nomenclatura em ordem decrescente a granulometria com mais composição até as que apresentarem 5% da composição do solo.

Para o ensaio de caracterização física do solo, foram utilizadas as amostras coletadas em campo. As preparações das amostras foram realizadas à luz da Norma ABNT NBR 6457:2016 - preparação de amostras de solos para os ensaios de caracterização.

A análise granulométrica do solo estudado foi realizada com base na norma NBR 7.181:16. A amostra passou por duas etapas de separação granulométrica: (1) separação por meio de peneiramento, onde ocorre a classificação das partículas de tamanho maior que 0,075 mm; e (2) separação por meio de ensaio de sedimentação, cuja operação visa determinar a distribuição granulométrica de solos finos (partículas com diâmetros inferiores a 0,075 mm). Quanto à massa específica do solo, a mesma foi determinada com base na Norma ABNT NBR 6508:2016.

Os limites de Atterberg ou limites de consistência são um método que proporciona identificar o comportamento do solo perante determinadas tensões e deformações, visto que indicam a influência da argila no comportamento do solo (Pinto, 2006). O Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade do solo (LP) seguiram as normas NBR 6.459:16 e NBR 7.180:16.

Para a caracterização química do solo, foi medido o pH do mesmo, assim como a análise básica do solo (Índice SMP, P, K, M.O, Al, Ca, Mg, S, Zn, Cu, B e Mn). Esta caracterização do solo ocorreu anteriormente ao plantio.

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Para análise dos dados gerados ao longo do experimento, seja quanto à erosão do solo (escoamento superficial e perda de solo), bem como quanto aos dados referentes a dados gerados quanto a vegetação (taxa de sobrevivência, cobertura vegetal e atributos funcionais), seguiu-se o seguinte procedimento: primeiramente, foram verificados quais dados corresponderam a *outliers*, que foram removidos do banco de dados. Posteriormente, para os dados restantes, foi aplicado o teste de normalização nos dados (Shapiro-Wilk W e Anderson-Darling), sendo que, para os dados que não apresentaram comportamento normal, foi verificada a normalidade dos ruídos ou os dados foram normalizados através da logaritmização dos mesmos, sendo este último procedimento validado através do teste de normalidade. Para os dados com comportamento normal, foi utilizado o Teste *t* ou o método da ANOVA, sendo que o segundo método foi utilizado para dados com mais de um tratamento.

Para a aplicação da ANOVA, as parcelas cujos dados de coletas não puderem ser considerados devido a problemas associados ao experimento, as mesmas foram substituídas pela média das demais parcelas com o mesmo tratamento. O mesmo procedimento foi adotado para os *outliers*.

Ainda, para a análise dos tratamentos que tiveram diferença significativa a partir da ANOVA, utilizou-se a Comparação Múltipla de Médias através do Intervalo de Confiança da diferença entre 2 (duas) médias das interações entre os tratamentos, o qual assumiu-se como o limite de decisão (Ld) 3 (três) desvios padrões das médias amostrais. Sendo assim, as diferenças das médias que apresentaram valores superiores ao Ld foram consideradas populações diferentes, ou seja, apresentaram diferença significativa entre si. Também foram utilizados Modelos Lineares e Modelos não Lineares para verificar a correlação entre os resultados obtidos em relação a erosão do solo com a cobertura vegetal desenvolvida nas parcelas.

Utilizaram-se os softwares da Microsoft Excel e Past 4.06b para a análise dos dados. Sendo que o software Excel foi utilizado somente para auxílio de cálculo e geração de gráficos, uma vez que não foram utilizados os *scripts* fornecidos pelo programa para a análise estatística.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar e explicar os resultados obtidos a partir do experimento de campo e análise dos dados obtidos. Serão descritos os resultados referentes à caracterização física e química do solo estudado. Também, serão abordados os valores referentes às perdas de solo e escoamentos superficiais em cada parcela para as diferentes espécies plantadas ao longo dos sete meses de monitoramento. Ademais, serão objetos de discussão os dados relativos às espécies plantadas no experimento, bem como a vegetação que surgiu nas parcelas de forma espontânea. Por fim, será realizada a influência da taxa de cobertura da vegetação em relação à massa de sedimento perdido e volume de escoamento superficial do solo

4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO

Conforme descrito na metodologia, foi realizada a caracterização física dos solos de cada bloco analisado no experimento para verificar se, entre os blocos, ocorria alteração de classificação e comportamento do solo. Para tal, foram analisados a granulometria, a massa específica dos grãos, o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

Quanto à massa específica, os blocos apresentaram valores muito próximos, os quais corresponderam a 2,95 g/cm³ (bloco 1), 2,93 g/cm³ (bloco 2) e 2,90 g/cm³ (bloco 3).

Quanto aos limites de Atterberg, os três blocos apresentam solos não plásticos. O resultado é coerente considerando o baixo teor de argila em todos os blocos.

TABELA 6 - *Análise granulométrica dos blocos estudados.*

Granulometria	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
Pedregulho > 4,8mm(%)	0	0	0
Areia Grossa 4,8-2,00mm(%)	0	0	0
Areia Média 2,00-0,42mm(%)	22,5	24,9	31,0
Areia Fina 0,42-0,05mm(%)	66,4	69,0	62,9
Silte 0,05-0,005mm(%)	4,0	3,4	3,4
Argila < 0,005mm(%)	7,1	2,8	2,7
Arg. Coloidal < 0,001mm(%)	0	0	0
Total (%)	100	100	100

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 7 - Análise quanto à graduação das amostras.

Bloco	D60 (mm)	D10 (mm)	D30 (mm)	Coefficiente de não- uniformidade	Coefficiente de curvatura
2	0,35	0,08	0,20	4,38	1,43
3	0,37	0,10	0,22	3,70	1,31

Fonte: elaborada pela autora.

As amostras apresentam uma distribuição granulométrica semelhante, sendo que a maior concentração granulométrica corresponde à areia fina para ambos os blocos, no entanto, considerando a Classificação Unificada, há uma variação entre o bloco 1 e os outros dois blocos, onde o bloco 1 apresentou um percentual passante na peneira de nº200 superior a 12%, de forma que o solo neste bloco foi classificado como areia não plástica (SP); já os solos dos outros blocos foram classificados como areia mal graduada não plástica (SPM). Quanto à classificação granulométrica, o bloco 1 foi classificado como areia-argilosa, e os demais, como areia (TABELA 6 e TABELA 7).

4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA SOLO

Para a caracterização química do solo, foram realizadas três coletas na área de estudo anteriormente à instalação do experimento (TABELA 8). Através do resultado do ensaio, constatou-se que a área de estudo é composta por solos ácidos, sendo que, quando analisados para fins agronômicos, estes solos são classificados nas faixas de “muito baixa” e “baixa” em relação ao rendimento esperado para plantio de culturas, sendo indicadas a calagem e a adubação do solo (CQFS RS/SC, 2004).

TABELA 8 - Caracterização química do solo anterior à instalação do experimento.

		Bloco 1 - Background	Bloco 2 - Background	Bloco 3 - Background
pH	-	5,0	4,9	4,7
Índice SMP	-	6,8	7,1	7,0
P	mg/dm ³	2,0	2,8	2,2
K	mg/dm ³	16,0	13,0	12,0
M.O	%	0,4	0,2	0,4
Al	Cmol/dm ³	0,4	0,2	0,4
Ca	Cmol/dm ³	0,5	0,5	0,2

Mg	Cmol/dm ³	0,2	0,2	0,1
S	Cmol/dm ³	1,5	1,4	1,6
Zn	Cmol/dm ³	0,6	0,4	0,3
Cu	Cmol/dm ³	0,6	0,6	0,4
B	Cmol/dm ³	0,2	0,1	0,1
Mn	Cmol/dm ³	6,0	9,0	10,0

Fonte: elaborada pela autora.

4.3 AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO

4.3.1 Precipitação

Durante o período da realização do experimento, geralmente ocorreram chuvas esparsas de baixa a média intensidade, considerando que o experimento foi realizado durante o período do verão, primavera e parte do outono. A única precipitação que apresentou um comportamento diferente em relação às demais ocorreu no dia 25 de janeiro, com 35 mm de precipitação em um período inferior a 20 (vinte) minutos. Também, a partir do mês de abril, a característica das chuvas teve um comportamento diferente das demais chuvas medidas durante o experimento, uma vez que as precipitações começaram a ocorrer em longos períodos de tempo, chegando a ocorrências superiores a 24h.

O valor acumulado das precipitações foi separado conforme o período de coleta dos sedimentos, sendo que, para o ajuste do experimento e acompanhamento inicial quanto à sobrevivência das espécies plantadas, optou-se por medir a influência da precipitação na erosão do solo a partir da data de 05 de dezembro, conforme exposto na TABELA 9. A definição das datas das coletas foi em função da observação direta da quantidade de sólidos retida nos pontos de coleta (retenção nos *bidin*), e não em função do tempo.

TABELA 9 - Precipitação acumulada para os períodos de coleta de sedimento.

Coleta	Período	Dias de precipitação	Dias transcorridos	Precipitação acumulada (mm)
Ajuste do experimento	12/11/2020 a 04/12/2020	2	23	36
Primeira coleta	05/12/2020 a 17/12/2020	8	12	40
Segunda coleta	18/12/2020 a 19/01/2021	8	31	79
Terceira coleta	20/01/2021 a 09/02/2021	8	21	75
Quarta coleta	10/02/2021 a 05/04/2021	15	55	155
Quinta coleta	06/04/2021 a 03/06/2021	6	59	196

Fonte: elaborada pela autora.

Observa-se que o valor da precipitação acumulada foi crescente da primeira coleta à última, à exceção da terceira coleta em que ocorreu um evento excepcional. Isso indica que, com o crescimento da vegetação plantada, foram necessários mais eventos de chuva para se ter um volume mínimo de sedimentos para a realização das coletas.

4.3.2 Escoamento superficial

O início do experimento, referente aos efeitos do escoamento superficial na erosão do solo, se deu a partir de 05 de dezembro, quando foi feita a instalação dos *bidins* nos baldes. Tal decisão foi tomada porque entendeu ser necessária a ocorrência de alguns eventos de chuva após o plantio, de forma a estabilizar o solo que havia sido revolvido, já que a perda de solo inicial poderia estar mais associada à intervenção no talude que ao processo natural de erosão do solo causado pela chuva.

Durante o experimento, foram realizadas 05 (cinco) medições ('coletas') do nível de água dos baldes e do sedimento retido. Destaca-se que algumas coletas de parcelas experimentais tiveram que ser descartadas, considerando a ocorrência de alguns problemas relacionados ao experimento de campo, tais como influência de escoamento superficial cuja origem estava além dos limites das parcelas e obstruções da calha e tubulação pelo excesso de sedimento acumulado. Houve ainda algumas ocorrências não controláveis, não quantificadas ou consideradas na análise, como (a) o estabelecimento de formigueiro em parcelas; (b) intervenção da fauna local dentro das parcelas (tatu-galinha, gambá, mão-pelada, graxaim, lebre-europeia e teiú), as quais foram identificadas através de observação visual, pegadas e fezes (FIGURA 27); (c) a influência do vento na erosão do solo.

FIGURA 27 - Fatores não controláveis referente ao experimento.



Legenda:

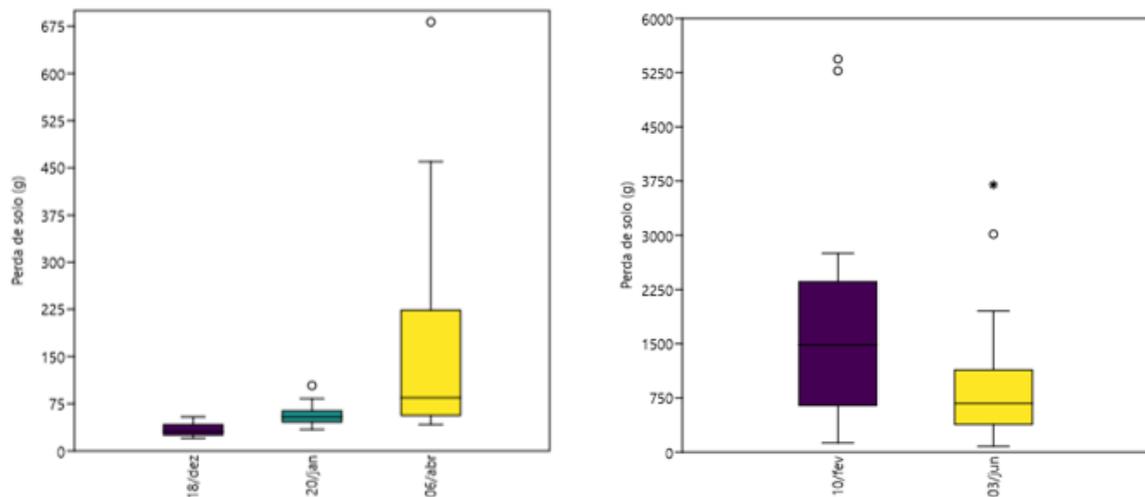
- a) obstrução da calha;
- b) interferência de fauna local, identificada através de pegadas;
- c) fezes de lebre.

Fonte: elaborada pela autora.

4.3.2.1 Perda de solo (erosão)

Para a análise estatística dos dados coletados referentes à perda de solo, primeiramente, foram verificados quais correspondiam a *outliers*, sendo a análise baseada no gráfico Box-plot (GRÁFICO 2). Todos os dados apresentaram comportamento normal, à exceção de 06/04/2021.

GRÁFICO 2 - Box-plot das massas da perda de solo para identificação dos outliers.



Fonte: elaborado pela autora.

TABELA 10 - Média das massas da perda de solo (g) por tratamento

Data de Coleta	Com juta				Sem Juta			
	<i>Chrysopogon</i>	<i>Arachis</i>	Controle	Mix	<i>Chrysopogon</i>	<i>Arachis</i>	Controle	Mix
18/12/2020	47,00	40,50	32,00	38,33	26,00	34,67	28,33	29,33
20/01/2021	55,33	51,00	49,00	47,00	60,33	59,50	43,50	66,00
10/02/2021	1652,00	1326,00	2215,00	1791,33	-	313,50	2604,00	658,50

06/04/2021	-	194,67	183,00	61,33	126,50	51,50	-	51,50
03/06/2021	731,00	501,00	621,00	795,00	-	554,67	716,50	1283,67

Fonte: elaborado pela autora.

Para a análise da ANOVA, consideraram-se dois fatores de controle: a cobertura do solo (juta e solo exposto) e tipo de vegetação (*Arachis repens*, *Chrysopogon zizanioides*, mix de vegetação local e parcela desprovida de plantio). Optou-se em não levar em conta a data das coletas (tempo) como um terceiro fator, visto que, entre períodos de amostragem, a frequência, intensidade e tempo de duração das chuvas variaram. Sendo assim, a análise teve como objetivo verificar o controle da erosão entre os tratamentos para os diferentes períodos após a instalação do experimento. O resultado e análise estão demonstrado na TABELA 10 e APÊNDICE C – *Análise estatística quanto à massa de solo*.

A primeira coleta com perda de sedimentos ocorreu em 18 de dezembro de 2020. Através da análise, constatou-se que as espécies de vegetação plantadas e a interação entre a vegetação e o tipo de cobertura não apresentaram diferença significativa. Por outro lado, foi verificada uma diferença significativa quanto ao tipo de cobertura (juta e solo exposto) das parcelas ($\text{Dist } f < 5\%$), sendo maior a perda de solo nas parcelas com a instalação da juta (média de 39,6g), do que nas parcelas com o solo exposto (média correspondeu a 29,5g).

A análise estatística dos dados do segundo período de coleta de sedimentos, que ocorreu após dois meses da instalação do experimento, demonstrou um comportamento diferente do primeiro período de monitoramento: nesta, nenhum dos fatores e sua interação (cobertura com vegetação) apresentaram diferença significativa das médias, ou seja, a distribuição de F foi superior a 0,05 para todos os fatores testados, de forma que a diferença entre ambas as médias foi ocasionada por erro ou ruído do experimento. Isso indica que, apesar da pluviometria acumulada do segundo período de coleta de sedimentos ter sido maior, a intensidade da chuva (variável não medida neste experimento) pode ser um dos fatores decisivos quanto à influência da juta na erosão do solo estudado, sendo demonstrado através do terceiro período de monitoramento da perda de solo. Quanto à vegetação, os primeiros 2 (dois) meses após o seu plantio não influenciaram no controle da erosão do solo.

A terceira coleta de sedimento foi motivada pela ocorrência de uma chuva excepcional, que gerou uma quantidade de sedimentos significativa, sendo este o motivo da diferença de tempo entre as coletas ter sido inferior a um mês. Devido à intensidade da chuva que ocorreu no dia 25 de janeiro, algumas calhas foram obstruídas com os sólidos carregados pelo

escoamento superficial, assim como a massa de sedimentos acumulada nos *bidins* foi quase 3 (três) vezes superior à da coleta anterior. Igualmente neste período, a vegetação do bloco B1-S-GA foi atacada por formigas cortadeiras apesar da utilização de iscas para formigas, deixando os estolões desprovidos de folhas, sendo que este pode ser a razão para o referido bloco apresentar maior perda de solo que as outras duas repetições para o mesmo tratamento, de forma que, para a análise estatística, optou-se por não o considerar.

Além disto, como duas das três parcelas de *Chrysopogon zizanioides* plantadas diretamente sobre o solo tiveram que ser descartadas, este tratamento não pode ser considerado na análise.

A análise estatística dos resultados da terceira coleta demonstrou que a média de perda de sedimentos para o fator de cobertura, do tipo de vegetação plantada e da interação entre estes dois, foram todas significativas. A média da massa de sedimentos erodidos das parcelas com juta foi de 1736,9g, sendo que, nas parcelas sem juta, o resultado foi de 1191,8g, de forma que a juta influenciou em um aumento da perda de solo de 45% quando comparado ao talude desnudo.

Quanto à vegetação, após a exclusão da cobertura com *Chrysopogon zizanioides*, os níveis analisados diferenciaram-se entre si, considerando as diferenças das médias superiores ao limite de decisão (3 (três) vezes o desvio padrão). Os tratamentos que melhor atuaram no controle de erosão foram o plantio de *Arachis repens* (819,6 g), seguido pelo mix de vegetação local (1224,7g) e, por fim, as parcelas de controle (2348,7g). Estes resultados indicam que as espécies plantadas, já no intervalo de 2 (dois) a 3 (três) meses após o seu plantio, tiveram efeitos positivos no controle da erosão do solo estudado. No caso da *Arachis repens*, houve uma redução de cerca de 70% dos sedimentos medidos e, quando plantado o *mix*, foi de aproximadamente 50%, em comparação aos taludes desprovidos de qualquer plantio.

Em relação aos dados da coleta de 06/04/2021, estes não apresentaram um comportamento normal, e, em alguns tratamentos, apenas uma amostra foi obtida. Desta forma, para possibilitar a análise desta coleta, mesmo que parcial, optou-se por analisar as diferentes coberturas em relação ao plantio de *Arachis repens* e o *mix*. Para tal, seguiu-se o mesmo procedimento adotado para as análises anteriores, que correspondeu à identificação dos outliers, a verificação quanto à normalidade dos dados e à aplicação da ANOVA.

Para a comparação entre os tratamentos *Arachis repens* e *mix*, foi identificado que os dois fatores e a interação entre eles apresentaram diferença significativa. As parcelas com juta geraram 3 (três) vezes mais sedimento que as parcelas sem juta (156g vs 52g). Quanto à

vegetação, estas também apresentaram uma diferença aproximada de 3 (três) vezes mais que a outra, sendo que o mix (340 g) atuou melhor no controle da erosão que a *Arachis repens* (904g). Quanto à interação entre tratamentos, a *Arachis repens* aplicada sobre a juta se diferenciou dos demais, sendo essa a que apresentou valor mais expressivo de sedimentos (250 g).

Quanto aos dados da coleta de 03/06/2021, constatou-se que nenhum dos tratamentos apresentou diferença significativa, sendo as diferenças de média dentro da faixa de ruídos relacionados ao experimento, ou seja, influência de fatores não controláveis.

De forma geral, nestes experimentos, a juta apresentou um comportamento indiferente ou negativo no controle da erosão do solo. Este resultado difere do indicado por Rickson (1995), Bhattacharyya *et al.* (2011) e Prambauer *et al.* (2019) para solos arenosos. Mendes (2018), que realizou um experimento semelhante a este, obteve resultados distintos deste trabalho, onde a juta atuou de forma positiva no controle de erosão em um talude com inclinação acentuada (não houve informações sobre o tipo de solo). Isso demonstra que a aplicação e bom desempenho deste material de cobertura dependem do tipo de solo sobre o qual estará aplicado, de forma que, para taludes formados por solos arenosos, a juta não parece ser indicada.

4.3.2.2 Volume escoado

No mesmo tempo em que foi realizada a coleta de sedimentos, o nível de água nos baldes também foi medido, verificando-se qual o volume de chuva que escoou nas parcelas e foi coletado. Destaca-se que a taxa de evaporação não foi medida e nem considerada para determinar o volume escoado, o que explica os valores negativos dos volumes acumulados nos baldes entre 18/12/2020 e 20/01/2021. O objetivo desta análise foi verificar, entre os tratamentos, os que tiveram uma maior influência no escoamento superficial.

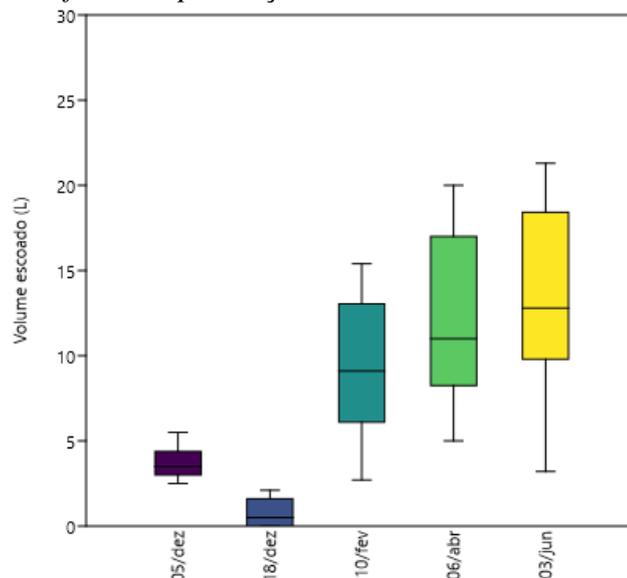
Tanto as medidas do nível dos baldes por período, quanto os volumes acumulados, estão apresentados no APÊNDICE D – Coluna e volume acumulado de água nos baldes. O volume por período e por tratamento é apresentado no TABELA 11 e GRÁFICO 3. Assim como para a análise de sedimentos, as parcelas que sofreram intervenções incontroláveis foram descartadas da análise.

Para este estudo, não foram analisados os volumes acumulados entre os períodos 18/12 a 20/01, considerando que a taxa de evaporação foi superior aos volumes de escoamento superficial em diversas parcelas.

TABELA 11 - Média do volume escoado (l) por tratamento

Data de Coleta	Com juta				Sem Juta			
	<i>Chrysopogon</i>	<i>Arachis</i>	Controle	Mix	<i>Chrysopogon</i>	<i>Arachis</i>	Controle	Mix
05/12/2020	4,17	4,67	3,33	4,67	2,83	3,17	3,67	3,67
18/12/2021	1,35	1,85	0,70	0,70	0,17	0,90	0,53	0,00
10/02/2021	12,77	11,47	10,80	13,30	-	5,33	9,60	5,35
06/04/2021	-	10,27	11,00	12,83	15,00	8,33	-	13,25
03/06/2021	17,00	10,90	11,73	13,67	16,00	8,83	18,90	14,10

Fonte: elaborado pela autora.

GRÁFICO 3 - Box-plot do volume de água acumulado nos baldes referente a cada período de coleta. Não sendo identificada a presença de outliers.

Fonte: elaborado pela autora.

Os dados analisados não continham outliers, e somente os dados coletados nas datas 05 e 18 de dezembro não apresentaram comportamento normal, todavia os ruídos destes dados apresentaram comportamento normal, sendo possível, portanto, aplicar a ANOVA em ambos.

Quanto ao volume de água medido entre o início do experimento e a data de 05/12, o tipo de tratamento de cobertura apresentou diferença significativa entre as médias (Dist $f < 5\%$); a cobertura **com** juta acumulou uma média de 4,2 l no período, enquanto que as parcelas **sem** juta acumularam 3,3 l.

Quanto ao volume referente ao escoamento superficial acumulado entre as datas 05/12 e 18/12, o tratamento de cobertura e o tratamento de vegetação apresentaram diferença significativa. Os tratamentos com juta geraram uma média de volume de água originário do escoamento superficial 3 (três) vezes superiores às médias das parcelas sem juta. Quanto ao tratamento referente à vegetação, os tratamentos que se diferenciaram entre si foram as parcelas com o plantio da *Arachis repens* (1,4 ℓ) em relação ao mix (0,3 ℓ) e ao controle (0,6 ℓ).

Quanto ao volume de água escoada entre os períodos de 20/01 a 10/02, assim como para a análise de massa de solo erodido, não se considerou as parcelas referentes a *Chrysopogon zizanioides*. Entre os tratamentos analisados, verificou-se que tanto o tratamento de cobertura, como a interação entre os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre as médias (Dist f < 5%). A cobertura com juta acumulou uma média de 12 ℓ no período, enquanto que as parcelas sem juta acumularam 6 ℓ.

As últimas duas medidas de volume de água acumulada (06/04 e 03/06) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

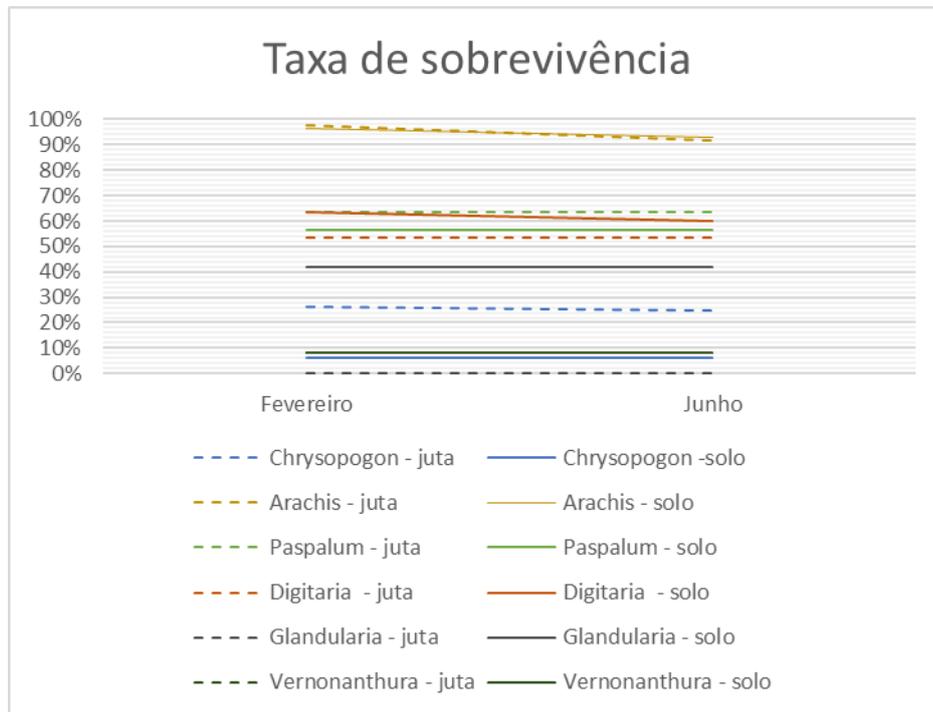
Através dos resultados obtidos, verificou-se que, até os 3 (três) primeiros meses, a juta causou um maior escoamento superficial de água da chuva, no entanto, a partir deste período, o efeito da juta, quando comparado às parcelas plantadas diretamente ao solo, foi nula. Tal efeito pode estar associado à degradação da juta, ou a diferença de intensidade da chuva, de forma que novos estudos devem ser realizados para entender este comportamento.

Por fim, foi analisado se existia alguma correlação entre a massa de perda de sedimento com o volume escoado, mas os dados mostraram não haver correlação entre as variáveis.

4.4 SOBREVIVÊNCIA DAS ESPÉCIES PLANTADAS

Conforme descrito na metodologia, a taxa de sobrevivência das espécies plantadas foi medida em dois momentos do experimento, os quais corresponderam a 3 (três) meses após o plantio (fevereiro) e no final do experimento (junho).

GRÁFICO 4 - Média de sobrevivência dos indivíduos plantados por tratamento e por período.



Fonte: elaborado pela autora.

Conforme demonstrado no GRÁFICO 4, entre o plantio, que ocorreu em novembro, e fevereiro, correspondeu ao período que ocorreu a maior perda de indivíduos, sendo que, após este período, a taxa de sobrevivência das espécies plantadas permaneceu quase que constante, conforme verificado no levantamento em junho. Além disto, em várias parcelas, não sobreviveu nenhum indivíduo da *Glandularia peruviana* e a *Vernonanthura nudiflora*.

Os dados referentes à taxa de sobrevivência das espécies plantadas não apresentaram comportamento normal para os dois levantamentos, no entanto, o erro associado aos dados apresentou um comportamento normal, de forma que a ANOVA pode ser aplicada. Optou-se em analisar, de forma individualizada, cada período que foi realizado o levantamento.

O levantamento da taxa de sobrevivência de fevereiro demonstrou que o tratamento referente à vegetação apresentou diferença significativa entre as médias, assim como entre a interação entre os tratamentos ($\text{Dist } f < 0,05$). Quanto à espécie que apresentou maior taxa de sobrevivência, foi a *Arachis repens*, com 97%, seguido pelas espécies *Paspalum nicorae* e *Digitaria eriantha* (60% e 58% respectivamente), sem diferença significativa entre si, e, por fim, as espécies *Chrysopogon zizanioides*, *Glandularia peruviana* e *Vernonanthura nudiflora* (16%, 21% e 8% respectivamente), que, também, não apresentaram diferença significativa

entre si. A interação entre os tratamentos que tiveram diferença significativa entre si é demonstrada no APÊNDICE H – *Análise estatística quanto à cobertura vegetal*.

Um novo levantamento foi realizado após quatro meses do primeiro levantamento, apresentando o mesmo comportamento do levantamento realizado em fevereiro, com a espécie *Arachis repens*, com a maior taxa de sobrevivência (92%), seguido pelas espécies *Paspalum nicorae* e *Digitaria eriantha* (60% e 57% respectivamente), e com a menor taxa de sobrevivência as espécies *Chrysopogon zizanioides*, *Glandularia peruviana* e *Vernonanthura nudiflora* (15%, 21% e 8% respectivamente).

Quanto à taxa de sobrevivência, as espécies que tiveram o melhor resultado correspondem à *Arachis repens*, à *Paspalum nicorae* e à *Digitaria eriantha*. O resultado obtido quanto à taxa de sobrevivência da *Arachis repens* foi semelhante ao trabalho desenvolvido por Pereira *et al.* (2007), que observaram que a taxa de sobrevivência de leguminosas plantadas em área de mineração de areia na região de Seropédica (RJ) foi superior a 90%, assim como superior a outras espécies não leguminosas testadas. No entanto, apesar da alta taxa de sobrevivência desta leguminosa, durante o experimento, esta espécie sofreu ataques de formigas cortadeiras, bem como de lebres, o que deve ser considerado em futuros testes ou usos em campo.

Quanto ao *Chrysopogon zizanioides*, a taxa de sobrevivência dos indivíduos plantados foi baixa, inferior a 20%. Considerando que Pereira (2006) indicou que a referida espécie pode se adaptar a qualquer tipo de solo, bem como ser plantada em todos os períodos do ano, entende-se que novos testes com a *Chrysopogon zizanioides* devem ser realizados em solos semelhantes ao deste estudo, visto que a baixa taxa de sobrevivência pode estar relacionada à qualidade das mudas adquiridas para este experimento.

Quanto às espécies *Glandularia peruviana* e a *Vernonanthura nudiflora*, apesar de serem espécies típicas de solos arenosos, que apresentam ampla colonização na área de estudo, a taxa de sobrevivência das mesmas foi muito baixa, o que indica que o método utilizado para o transplante dos indivíduos destas espécies não seja adequado, especialmente no período efetuado.

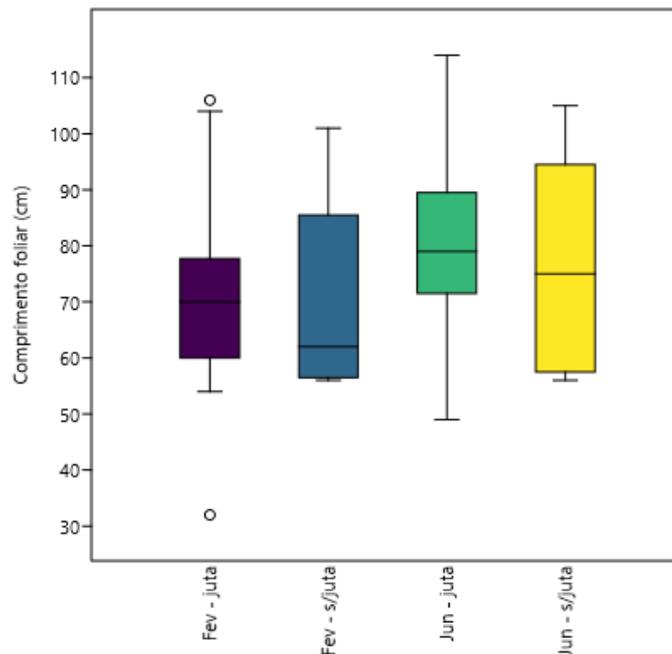
4.5 LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS FUNCIONAIS

A análise referente aos atributos funcionais da vegetação plantada teve como intuito verificar o desempenho da vegetação plantada associado ou não ao uso da juta, ou seja, entender o quanto o geotêxtil pode influenciar na aptidão de cada espécie estudada.

Conforme descrito na metodologia, a medição dos atributos foi realizada em dois momentos, sendo que, no final do experimento, foram medidos atributos das raízes que não podiam ser considerados no primeiro levantamento. Sendo que, para apresentação dos resultados, foram, primeiramente, desmontados os levantamentos dos atributos que foram realizados em fevereiro e junho e, por fim, apenas os atributos medidos somente no final do experimento.

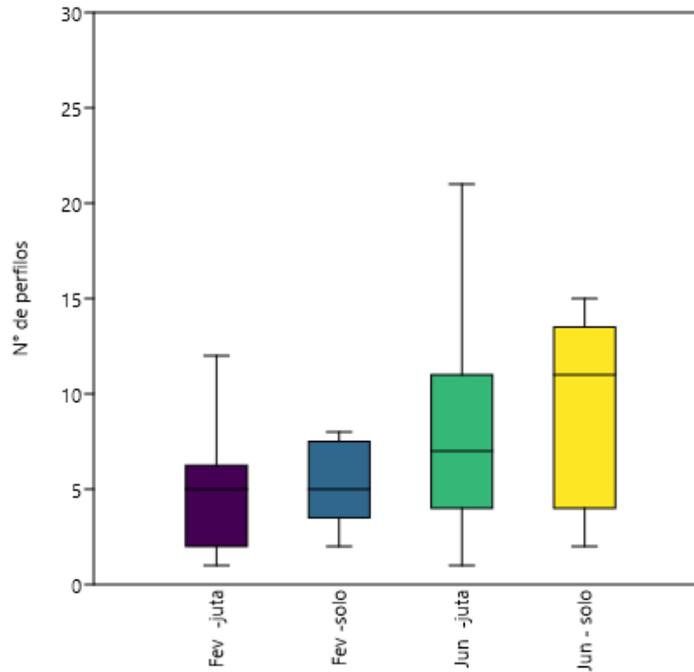
Quanto à comprimento foliar máxima (GRÁFICO 5) e número de perfis do *Chrysopogon zizanioides* (GRÁFICO 6), foram analisados de forma individualizada o levantamento de fevereiro e o levantamento de junho.

GRÁFICO 5 - Box-plot referente à medição do atributo de comprimento foliar relacionados ao *Chrysopogon zizanioides*.



Fonte: elaborado pela autora.

GRÁFICO 6 - Box-plot referente à medição do atributo de número de perfílos relacionados ao *Chrysopogon zizanioides*.

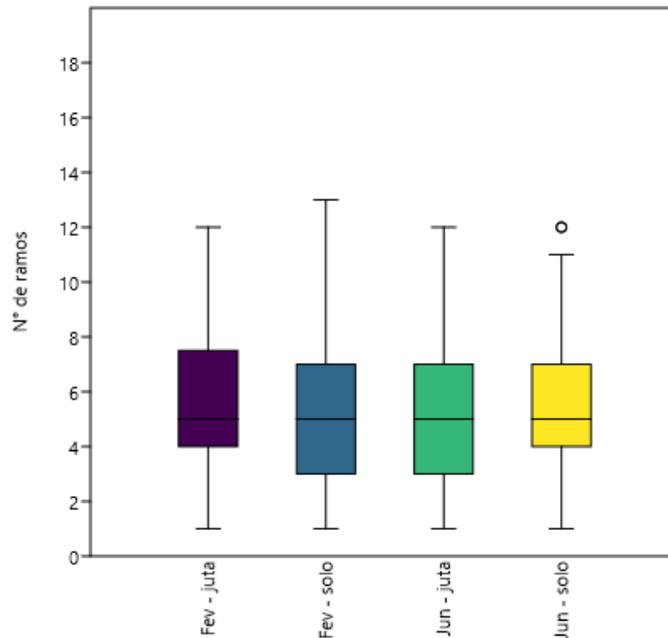


Fonte: elaborado pela autora.

Através do Teste t, as médias dos atributos medidos para o *Chrysopogon zizanioides* não apresentaram diferença significativa quando utilizada a juta. Todavia, entre os meses 3 e 7 do plantio da *Chrysopogon zizanioides*, houve crescimento dos indivíduos, sendo que o número de perfílos quase dobrou para os dois tratamentos.

Assim como realizado para a análise do *Chrysopogon zizanioides*, para a análise referente ao número de ramos da *Arachis repens*, cada período foi analisado de forma independente. Através de análise prévia dos dados levantados, identificaram-se os outliers para cada período (GRÁFICO 7) e, posteriormente, constatou-se que os mesmos não apresentam distribuição normal. De forma a verificar a possibilidade de utilizar o Teste t, verificou-se a normalidade dos erros, assim como o comportamento dos dados quando transformados em logaritmos, sendo que, para as duas opções, não se identificou o comportamento normal. Logo, para a análise, optou-se em utilizar o método Mann-Whitney, que comprovou não haver diferença significativa entre as coberturas utilizadas, quando analisado o número de ramos desenvolvidos para a *Arachis repens*.

GRÁFICO 7 - Box-plot referente ao atributo número de ramos da *Arachis repens*.



Fonte: elaborado pela autora.

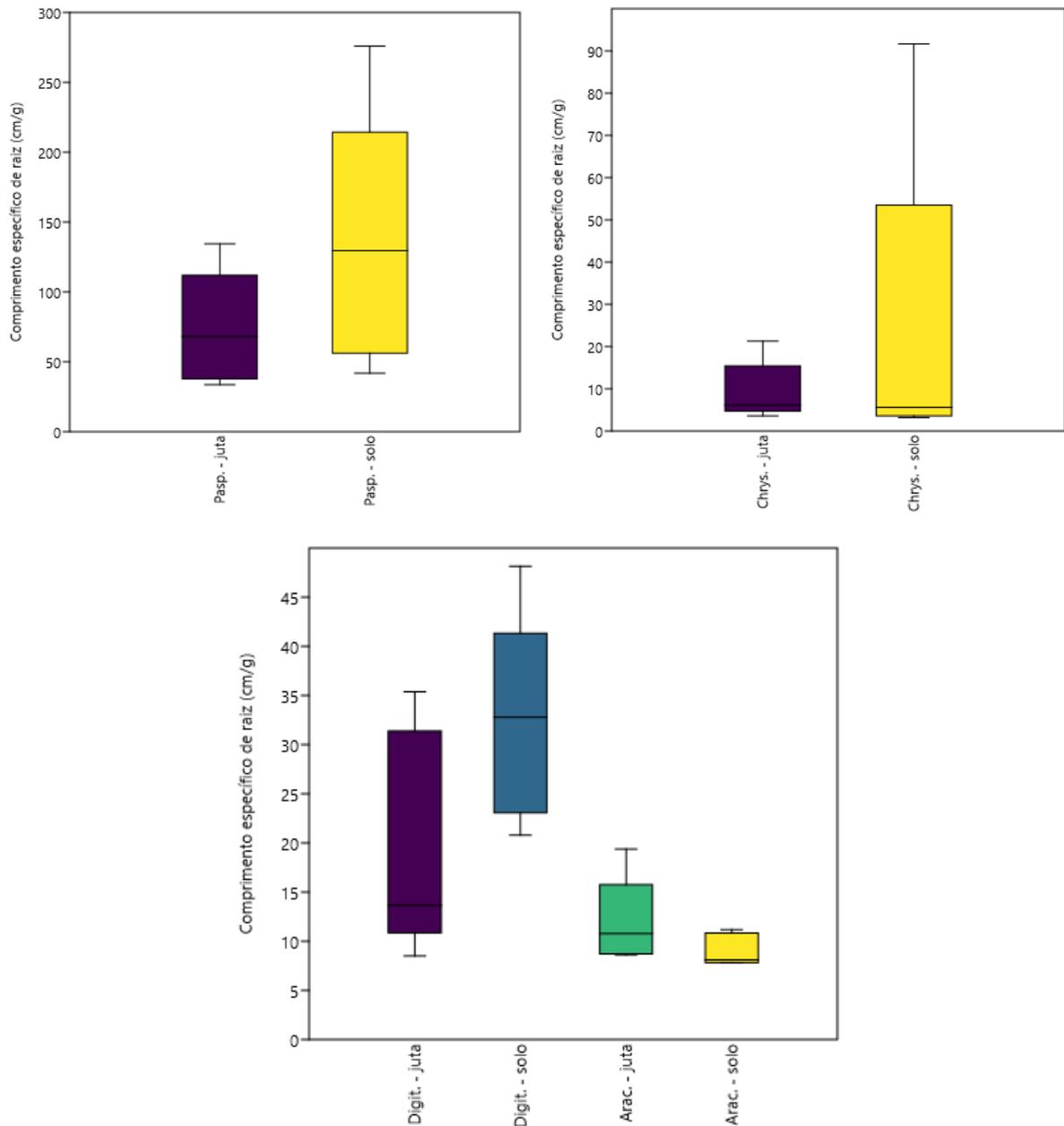
Através da comparação entre médias para o tratamento com juta e sem juta a partir do Teste t, o qual demonstrou que, para todos os atributos medidos, a utilização da juta não influenciou no desempenho da vegetação, ou seja, nenhum dos atributos medidos para as quatro espécies analisadas apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Cabe esclarecer que a análise estatística entre espécies para os atributos funcionais não foi possível de ser realizada, uma vez que as espécies são formadas por diferentes morfologias e tamanhos. No entanto, a partir dos resultados dos atributos funcionais foi possível observar algumas características e desempenho referente a cada espécie plantada.

O comprimento específico de raiz (CER) corresponde ao comprimento de raiz para um determinado peso de massa seca, sendo os altos valores deste atributo associados a diâmetro pequeno de raiz ou densidade baixa de tecido, o que, geralmente, gera taxas mais altas de absorção de nutrientes e água (por massa seca), bem como vida útil mais curta da vegetação (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Observa-se no GRÁFICO 8 que, entre as espécies plantadas no experimento que apresentaram o CER mais elevado, corresponderam ao *Paspalum nicorae*, seguido pela espécie *Chrysopogon zizanioides*. As duas espécies apresentam morfologia muito distintas uma da outra, a primeira corresponde a gramínea rizomatosa e estolonífera com raízes com diâmetro fino, a segunda corresponde a gramínea com sistema reticular fasciculado com alta densidade de raízes, principalmente nos primeiros

40cm de profundidade. O alto CER do *P. nicorae* está associado ao diâmetro pequeno das raízes, já o CER mais elevado do *C. zizanioides* é devido à grande profundidade que a raiz consegue atingir, apesar da região mais densa das raízes ser somente na porção mais superficial do solo.

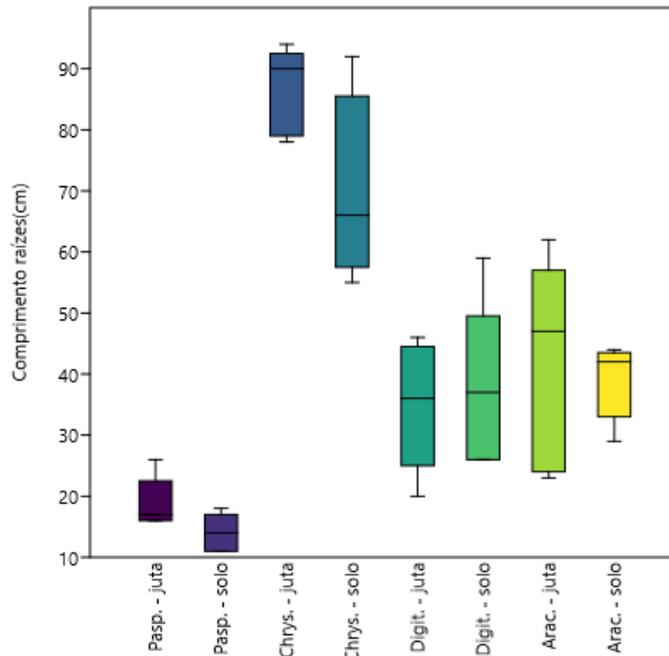
GRÁFICO 8 - Box-plots do atributo funcional de comprimento específico de raiz medido somente no final do experimento para as espécies *Arachis repens*, *Paspalum nicorae*, *Digitaria eriantha* e *Chrysopogon zizanioides*.



Fonte: elaborado pela autora.

Quanto ao comprimento de raiz, este atributo corresponde a uma métrica para entender a capacidade competitiva das espécies por nutrientes do solo (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Entre as espécies estudadas, a que apresentou maiores valores referentes a este atributo corresponde a *C. zizanioides*, que apresentou indivíduos com comprimento de raiz próximo a 1,0m, por outro lado, o *P. nicorae* apresentou os menores valores quanto ao comprimento de raiz, com valores médios de 16cm. As espécies *A. repens* e *D. eriantha* apresentaram comportamento semelhante quanto a este atributo funcional, com profundidades médias de 36cm e 40cm (GRÁFICO 9).

GRÁFICO 9 - Box-plots do atributo funcional de comprimento de raiz medido somente no final do experimento para as espécies *Arachis repens*, *Paspalum nicorae*, *Digitaria eriantha* e *Chrysopogon zizanioides*.

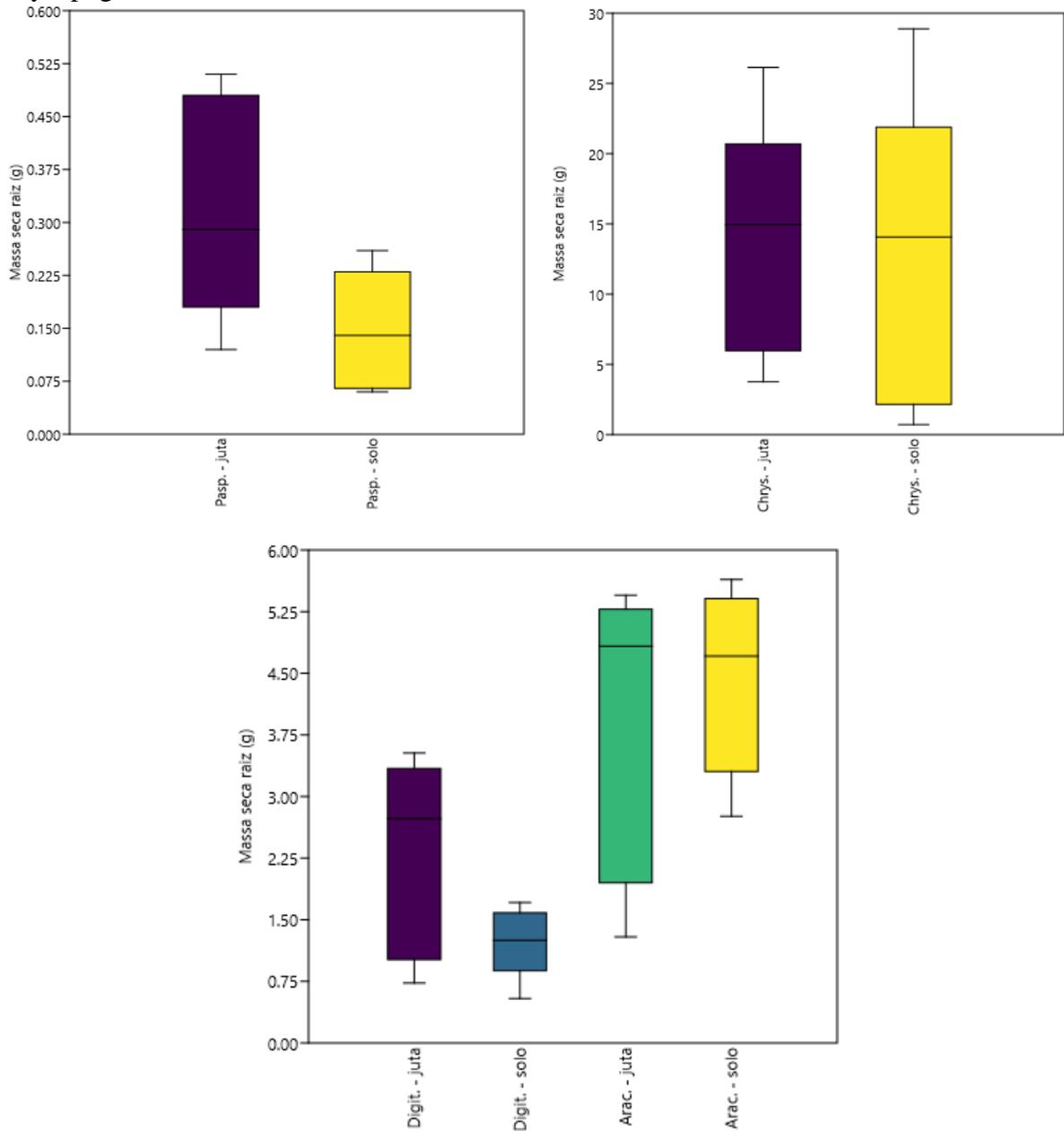


Fonte: elaborado pela autora.

Assim como o comprimento das raízes, a massa seca das raízes também corresponde à capacidade competitiva das espécies por nutrientes do solo. Sendo assim, entre as espécies estudadas, aquela que apresentou maior massa seca de raiz foi a *C. zizanioides*, seguido pela *A. repens* e *D. eriantha*, e, por fim, o *P. nicorae* (GRÁFICO 10).

Quanto aos atributos relacionados às raízes, pode-se verificar que a *A. repens* e *D. eriantha* apresentaram comportamento semelhante. Ambas as espécies formam touceiras com raízes rizomatosas e se adaptam de forma semelhante ao solo estudado.

GRÁFICO 10 - Box-plots do atributo funcional massa seca de raiz medido somente no final do experimento para as espécies *Arachis repens*, *Paspalum nicorae*, *Digitaria eriantha* e *Chrysopogon zizanioides*.

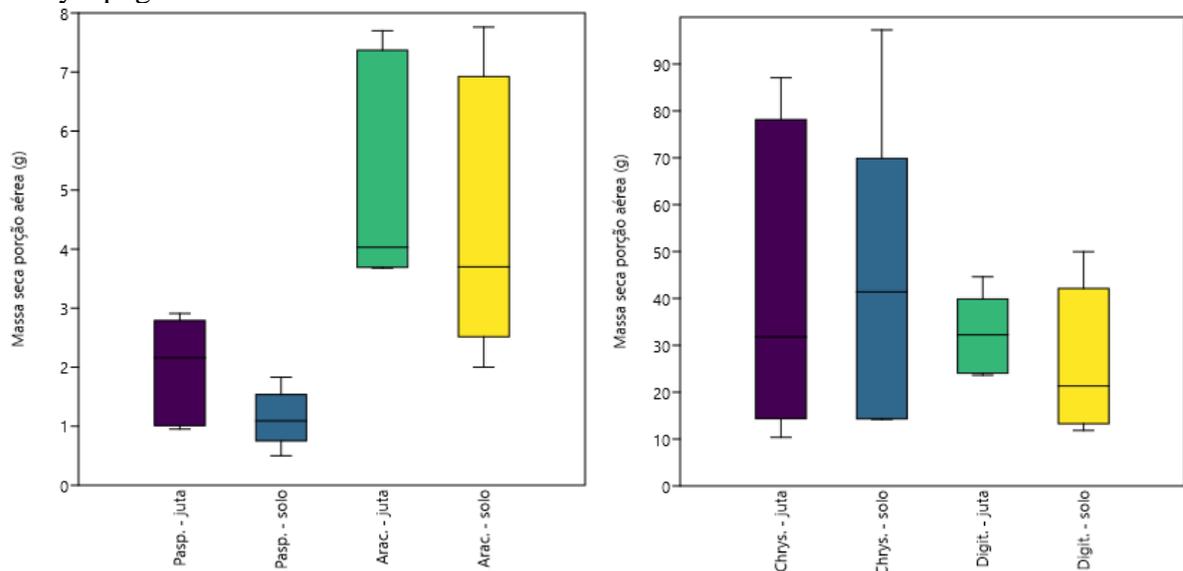


Fonte: elaborado pela autora.

Quanto à biomassa seca da porção aérea, está diretamente associado à capacidade de assimilação de carbono por uma espécie durante o processo fotossintético (LARCHER, 2006 apud ROQUETTE, 2018). Sendo que, entre as espécies plantadas, na data da medição deste atributo, as que apresentaram maiores biomassas secas da porção aérea foram a *Digitaria*

eriantha e *Chrysopogon zizanioides* (30g e 42g respectivamente). A *Arachis repens* apresentou uma biomassa média de 5g, todavia, esta varia conforme a estação do ano, visto que, com a chegada do inverno, houve perda folhar, o que impacta diretamente na massa aérea dos indivíduos. Quanto ao *Paspalum nicorae* a biomassa média correspondeu a 1,5g, sendo que valores mais baixos deste atributo já eram esperados, considerando o porte desta espécie (GRÁFICO 11).

GRÁFICO 11 - Box-plots do atributo funcional massa seca da porção aérea medido somente no final do experimento para as espécies *Arachis repens*, *Paspalum nicorae*, *Digitaria eriantha* e *Chrysopogon zizanioides*.



Fonte: elaborado pela autora.

4.6 COBERTURA VEGETAL E COLONIZAÇÃO ESPONTÂNEA

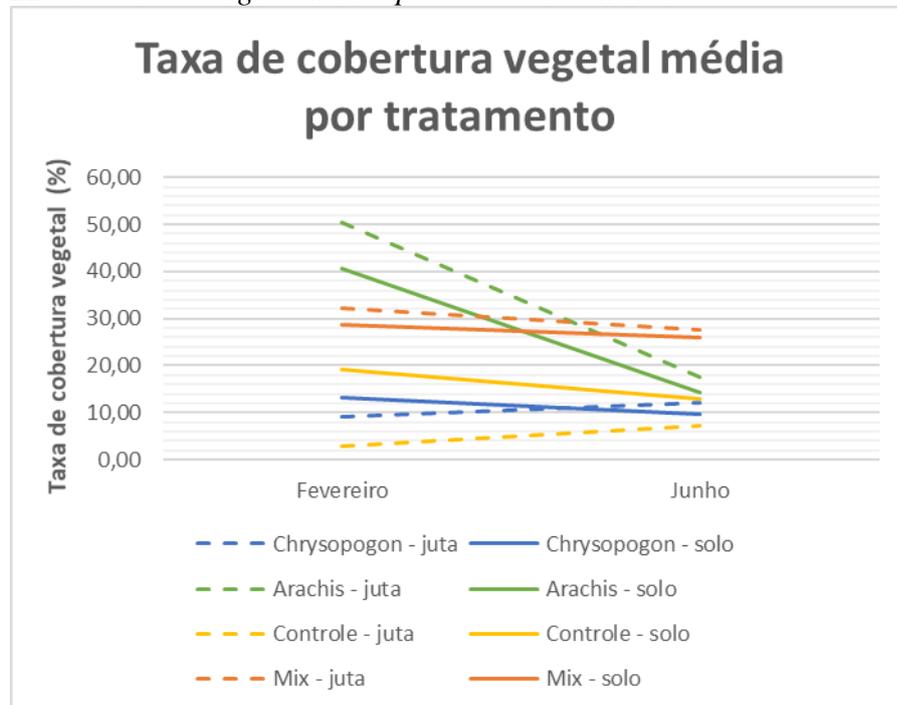
A partir do levantamento das espécies presentes nas parcelas experimentais, nos meses de fevereiro e junho, foi possível estimar a taxa de cobertura vegetal inerente a cada parcela experimental para os dois períodos citados.

Conforme demonstrados no GRÁFICO 12, para a maioria dos tratamentos, houve redução da média de cobertura vegetal do segundo levantamento em relação ao primeiro, a exceção das parcelas de controle e de *Chrysopogon zizanioides*, ambos com a presença da juta, sendo que tal fato pode ser explicado devido à aproximação do inverno e à presença de algumas espécies com redução de biomassa junto das parcelas. Entre os tratamentos, os que tiveram uma redução mais expressiva foram a *Arachis repens*, cujas taxas de coberturas

vegetais, tanto para o tratamento com juta, como para o sem juta, reduziram em, aproximadamente, 65% do mês de fevereiro para junho.

Apesar de constatar que a estação climática (período do ano) influenciou na cobertura vegetal, neste estudo esta variável não foi considerada na análise estatística, uma vez que a variável *tempo* não pode ser considerada uma variável independente, visto que a taxa de cobertura levantada no mês de junho está correlacionada aos indivíduos que já existiam no mês de fevereiro. Sendo assim, a análise foi realizada separadamente para o mês de fevereiro e, posteriormente, para o mês de junho, onde os fatores considerados foram a aplicação de cobertura (com e sem juta) e o tipo de vegetação plantada.

GRÁFICO 12 - Cobertura vegetal média para cada tratamento.



Fonte: elaborado pela autora.

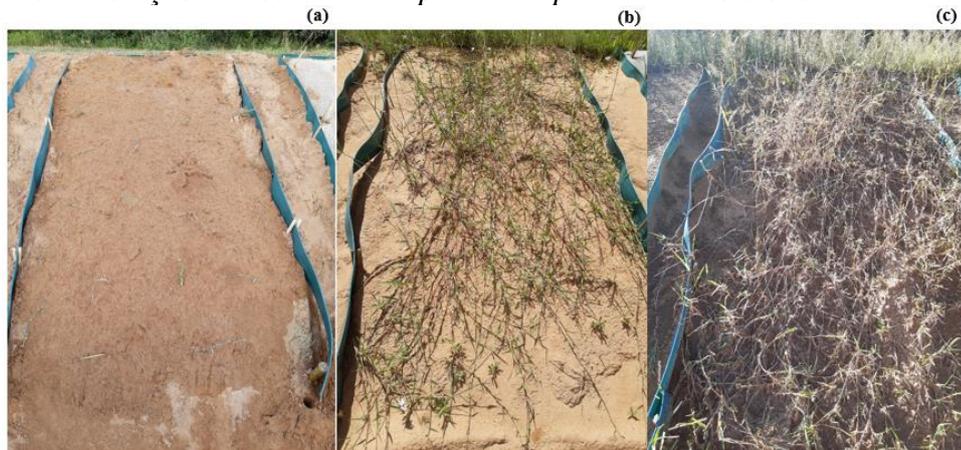
Para o mês de fevereiro, a variável controlada que apresentou diferença significativa foi a vegetação, de forma que a aplicação de cobertura e a interação entre os fatores cobertura e vegetação não geraram diferença quanto ao resultado da cobertura vegetal. A *Arachis repens* correspondeu ao nível que apresentou maior taxa de cobertura (46%), seguido do mix (31%) e, por fim, a *Chrysopogon zizanioides* e o controle (11%), visto que estes dois últimos não apresentaram diferença entre si.

Quanto ao mês de junho, a vegetação permaneceu como variável controlada que apresentou diferença significativa entre si (Dist $F < 0,05$), no entanto, o nível que se diferenciou dos demais quanto à taxa de cobertura vegetal foi o mix, com cobertura de 27%, ao passo que a *Arachis repens*, o *Chrysopogon zizanioides* e o controle apresentaram média de cobertura de 16%, 11% e 10% respectivamente.

Observa-se que a cobertura vegetal no mês de fevereiro impactou diretamente quanto ao controle de erosão do solo, visto que as parcelas com maior cobertura, que corresponde a *Arachis repens*, mostraram menos erosão do solo. Também o mix, que correspondeu ao nível , com a segunda maior cobertura, apresentou o mesmo comportamento quanto ao controle de erosão do solo. E, por fim, o mesmo comportamento foi observado junto às parcelas de controle. No entanto, quanto ao mês de junho, apesar do nível do mix apresentar média de cobertura superior às demais (FIGURA 28), a mesma não se diferenciou quanto ao controle de erosão do solo em relação à *Arachis repens* (FIGURA 29), à *Chrysopogon zizanioides* e ao controle.

O resultado também mostra a importância de realizar o plantio nos taludes minerados para propiciar o aumento da cobertura vegetal, uma vez que, apesar das mudas utilizadas nas parcelas experimentais do mix serem pequenas, as mesmas influenciaram no aumento significativo da cobertura vegetal do talude, assim como influenciaram no surgimento espontâneo de outras espécies.

FIGURA 28 - Evolução da cobertura da parcela experimental do bloco 3 - mix.

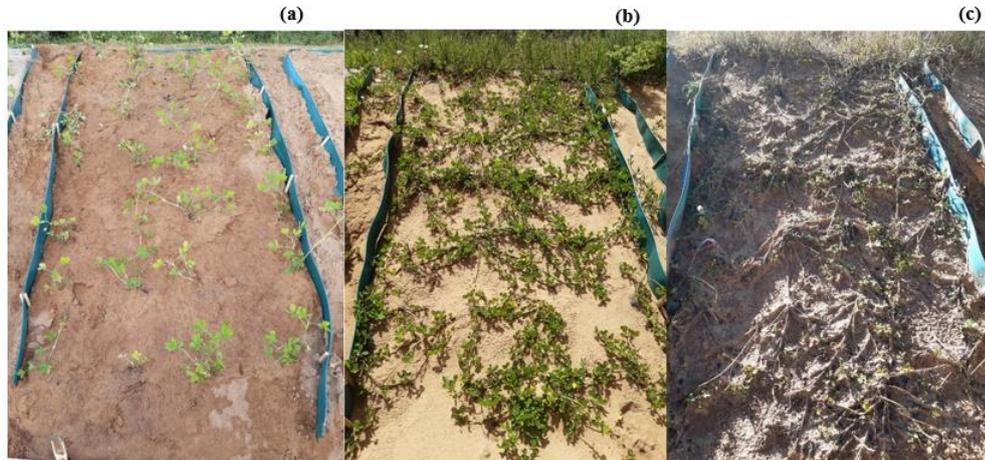


Legenda:

- a) a situação na data do plantio (novembro);
- b) três meses após o plantio (fevereiro);
- c) sete meses após o plantio (junho).

Fonte: elaborada pela autora.

FIGURA 29 - Evolução da cobertura da parcela experimental do bloco 3 – *Arachis repens*.¹.



Legenda:

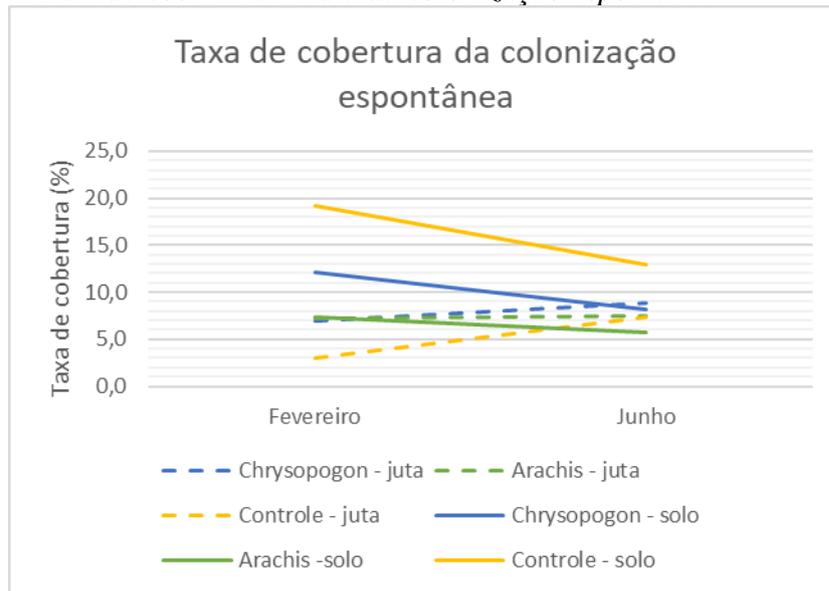
- a) a situação na data do plantio (novembro);
- b) três meses após o plantio (fevereiro);
- c) sete meses após o plantio (junho).

Fonte: elaborada pela autora.

Também, através do levantamento das espécies nos dois períodos do experimento, foi possível verificar quais espécies surgiram de forma espontânea nas parcelas experimentais, sendo que as espécies identificadas no experimento e suas respectivas coberturas estão apresentadas no *APÊNDICE I – Cobertura média das espécies colonizadas*. No total, foram verificadas 51 espécies que colonizaram as parcelas experimentais, incluindo as espécies plantadas.

Para a análise estatística da taxa de cobertura referente à colonização espontânea dos tratamentos, foi desconsiderado o fator mix, visto que, neste, foram plantadas espécies que surgiram de forma espontânea em outras parcelas.

¹ Observa-se que, em junho, os indivíduos da *Arachis repens* perderam quase todas as folhas.

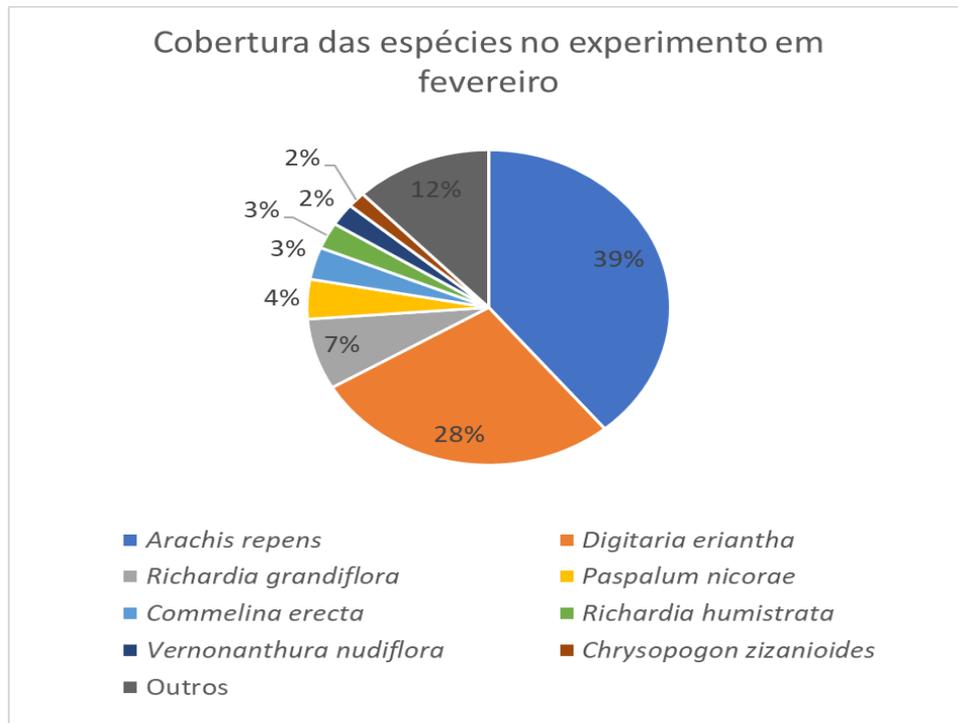
GRÁFICO 13 - Taxa de cobertura média da colonização espontânea.

Fonte: elaborado pela autora.

Através da utilização da ANOVA, verificou-se que, no levantamento realizado em fevereiro, os tratamentos referentes à cobertura e à interação entre os dois os tratamentos (cobertura e vegetação) apresentaram diferença significativa entre si ($\text{Dist } F < 0,05$), sendo que as parcelas com a juta tiveram a taxa média de colonização espontânea (5,7%), aproximadamente, a metade que as parcelas sem juta (12,9%). Quanto ao levantamento realizado em junho, nenhum tratamento apresentou diferença significativa entre si. Esta variação de comportamento pode ser observada no GRÁFICO 13, visto que a taxa de colonização espontânea de fevereiro para junho reduz para as parcelas sem juta e aumenta para as com juta.

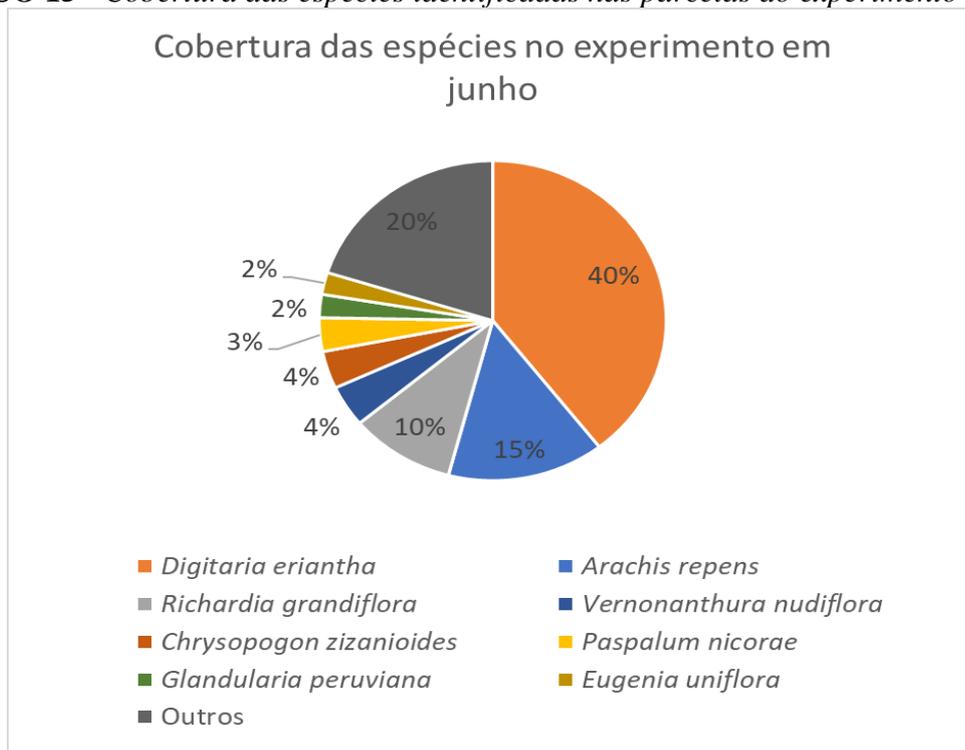
Ainda, conforme demonstrado no GRÁFICO 14 e no GRÁFICO 15, foi possível verificar quais espécies surgiram de forma espontânea e que foram mais representativas para a cobertura vegetal no experimento, sendo que as espécies *Richardia grandiflora*, *Richardia humistrata* e *Commelina erecta* eram as espécies mais abundantes que colonizaram as parcelas em fevereiro. Em junho, *Eugenia uniflora* também demonstrou uma abundância relativamente alta. Quanto à *Vernonanthura nudiflora*, apesar de terem sido plantados alguns indivíduos nas parcelas do mix, conforme já mencionado, a sua taxa de sobrevivência foi baixa, de forma que a taxa de cobertura de 3% ao longo dos dois levantamentos deve-se ao surgimento de forma espontânea, uma vez que esta espécie foi identificada em quase todas as parcelas. O mesmo fato ocorre quanto à espécie *Glandularia peruviana* com relação ao levantamento de junho.

GRÁFICO 14 - Cobertura das espécies identificadas nas parcelas do experimento em fevereiro.



Fonte: elaborado pela autora.

GRÁFICO 15 - Cobertura das espécies identificadas nas parcelas do experimento em junho.



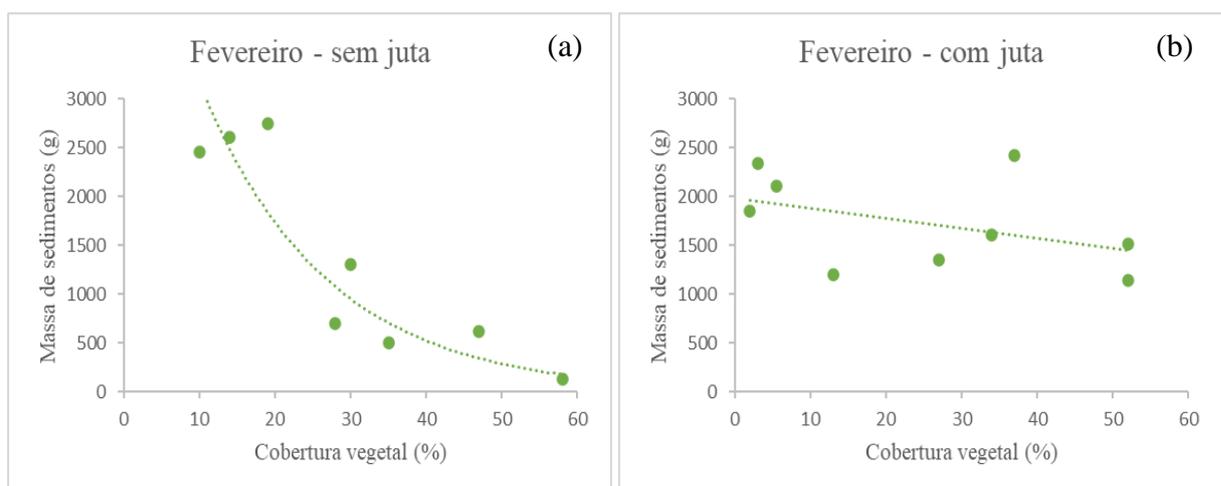
Fonte: elaborado pela autora.

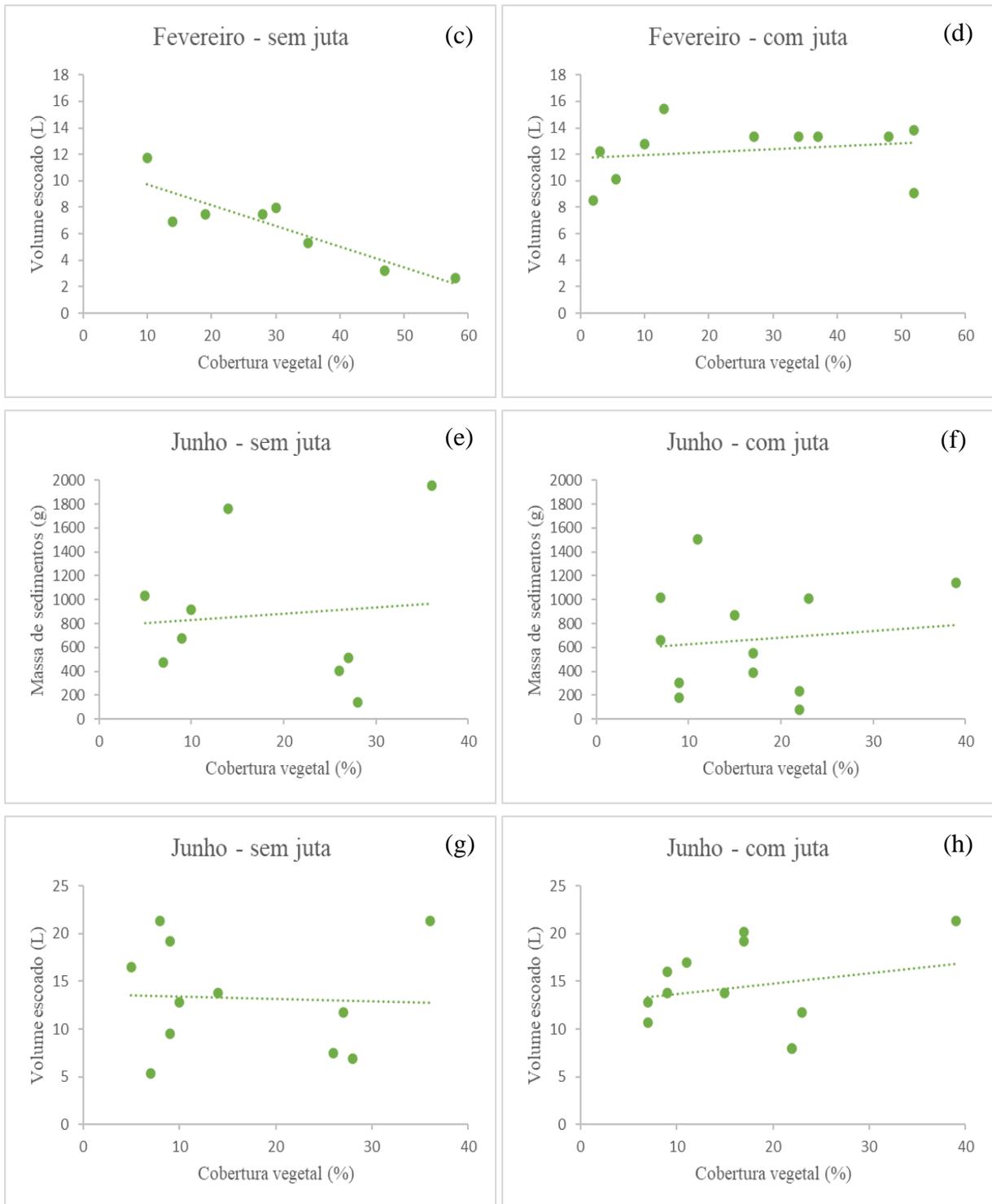
4.7 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL SOBRE OS PROCESSOS EROSIVOS

Além da análise quanto à influência do geotêxtil no desempenho da vegetação plantada, foi analisada qual a influência da cobertura vegetal quanto à erosão do solo, assim como quanto ao escoamento superficial causado pelas chuvas. Considerando que a cobertura de vegetação foi levantada em dois momentos no experimento, comparou-se a cobertura destes levantamentos com o volume de água acumulado nos baldes e com a massa de sedimento erodido para os períodos mais próximos aos do levantamento da cobertura vegetal. Para este estudo, optou-se por separar as parcelas com a aplicação de juta e as parcelas sem a aplicação de juta, uma vez que este fator cobertura apresentou diferença significativa em vários períodos quanto à erosão e ao volume escoado. Além disso, cabe destacar que os resultados obtidos nos dois períodos não foram apresentados em um único gráfico, visto que os eventos pluviométricos de cada período foram distintos, de forma que a taxa de erosão e escoamento superficial dos períodos apresentam magnitudes e comportamentos distintos (

FIGURA 30).

FIGURA 30 - Gráficos das análises comparativas com e sem juta nos meses de fevereiro e junho.





Legendas:

- gráfico da análise comparativa em **fevereiro** entre massa de sedimento erodido em função da cobertura vegetal para as parcelas **sem juta**, sendo que o r dos dados foi de $-0,878$ e r^2 da equação exponencial, de $0,785$.
- gráfico da análise comparativa, em **fevereiro**, entre massa de sedimento erodido em função da cobertura vegetal para as parcelas **com juta**, sendo que o r dos dados foi de $0,420$.
- gráfico da análise comparativa, em **fevereiro**, entre volume escoado em função da cobertura vegetal para as parcelas **sem juta**, sendo que o r dos dados foi de $0,900$ e r^2 da equação linear, de $0,810$.

- d) gráfico da análise comparativa, em **fevereiro**, entre volume escoado em função da cobertura vegetal para as parcelas **com** juta, sendo que o r dos dados foi de 0,202.
- e) gráfico da análise comparativa, em **junho**, entre massa de sedimento erodido em função da cobertura vegetal para as parcelas **sem** juta, sendo que o r dos dados foi de 0,009.
- f) gráfico da análise comparativa, em **junho**, entre massa de sedimento erodido em função da cobertura vegetal para as parcelas **com** juta, sendo que o r dos dados foi de 0,115.
- g) gráfico da análise comparativa, em **junho**, entre volume escoado em função da cobertura vegetal para as parcelas **sem** juta, sendo que o r dos dados foi de -0,052.
- h) gráfico da análise comparativa, em **junho**, entre volume escoado em função da cobertura vegetal para as parcelas **com** juta, sendo que o r dos dados foi de 0,225.

Fonte: elaborada pela autora.

Constatou-se que as parcelas com a presença do geotextil não apresentam correlação entre a cobertura vegetal e a massa de solo erodida, nem a correlação entre a cobertura vegetal com o volume escoado, o motivo ocorre devido ao fato de que a vegetação se desenvolveu, em parte, por cima da juta e, em parte, sob a juta, de forma que parte da influência da erosão e do escoamento superficial é controlada pela vegetação e parte pelo geotextil.

Com relação às parcelas onde as plantas foram plantadas diretamente no solo, foi possível identificar uma correlação no mês de fevereiro entre a massa erodida em relação à cobertura vegetal, sendo possível modelar uma equação não linear, demonstrando a redução exponencial da massa erodida com o aumento da taxa de cobertura da vegetação nas parcelas. Também, quanto ao escoamento superficial, para o mês de fevereiro, foi identificada uma correlação linear entre o aumento da cobertura vegetal com a redução do escoamento superficial. No entanto, essas correlações identificadas no mês de fevereiro não foram observadas para o mês de junho. Tal fato pode ser justificado considerando que a taxa de cobertura no segundo levantamento apresentou uma redução significativa, apresentando valores inferiores a 25%, devido à aproximação do inverno, de forma que a taxa de erosão e do escoamento superficial são influenciadas de forma mais acentuada por outros fatores, como o efeito das raízes na resistência ao cisalhamento do solo, bem como pela intensidade da chuva e rugosidade do solo.

Sendo assim, pode-se concluir que, para solos franco-arenosos, configurados em taludes de 30°, a correlação entre a taxa de cobertura vegetal e as taxas de erosão e escoamento superficial serão significativas somente quando a cobertura vegetal for superior a 25%.

5 CONCLUSÕES

A escolha de espécies vegetais e de técnicas de engenharia ainda apresenta um grande desafio para propiciar uma melhor recuperação de áreas degradadas geradas a partir da atividade de extração de areia em cava, considerando os escassos estudos que atualmente abordam este tema. Este estudo vem a contribuir com a ampliação dos conhecimentos na recuperação ambiental de cavas de areia, não só na mitigação de impactos visuais, como também no melhor entendimento do papel da vegetação no controle de erosão do solo.

Para analisar o efeito das variáveis (i) 4 (quatro) tipos de vegetação e (ii) 2 (duas) coberturas do solo, na erosão de solo observada, um experimento com 24 (vinte e quatro) parcelas experimentais foi instalado em um talude de corte em local de mineração de areia. O perfil escavado é todo formado por areia de granulometria média mal graduada não-plástica (teor de finos próximo de 10-12%). Sob o ponto de vista agrônomo, trata-se de um solo ácido, com baixa fertilidade.

Para medir o efeito de diferentes tratamentos, foram instalados 3 (três) blocos de experimentos, contendo 8 (oito) combinações de tratamento, com 2 (dois) fatores, que corresponderam à 'vegetação' e ao 'uso de geotêxtil', em um talude de corte com dimensões 2 x 1 m. Foram testadas 4 (quatro) diferentes arranjos de plantas, e a presença ou não do geotêxtil (juta). Entre as espécies selecionadas para o experimento, a espécie *Arachis repens* (Gramma Amendoim) foi a que teve o melhor desempenho quanto ao controle de erosão e à redução do escoamento superficial, além de apresentar melhor taxa de sobrevivência. Nos primeiros três meses após seu plantio, essa leguminosa gerou uma cobertura da parcela próxima de 50%; no entanto, com a aproximação do inverno e com a perda das folhas, esta cobertura decresceu em ~67%. Com isto, esta vegetação mostrou-se adequada nos primeiros meses da implantação (verão), no entanto, deve-se considerar o plantio associado com outras espécies que não sejam muito afetadas em períodos frios para que a cobertura vegetal do talude não reduza de forma tão abrupta nas diferentes estações.

A segunda planta estudada corresponde a um mix da vegetação local, sendo que as espécies que se mostraram mais adequadas ao transplante foram as gramíneas *Paspalum nicorae* (Gramma-cinzenta) e *Digitaria eriantha* (Capim-Angola), que apresentaram em torno de 70% de taxa de sobrevivência. Este mix de espécies apresentou um importante papel no controle da erosão do solo, assim como a *Arachis repens*, mas no período de temperaturas mais baixas, apresentou pouca redução da cobertura vegetal. As parcelas com este mix de vegetação local demonstraram a importância da realização de plantio sobre os taludes

artificiais, mesmo com mudas pequenas, visto que as parcelas de controle, sem plantio, apresentaram comparativamente pouco desenvolvimento espontâneo de vegetação em relação ao mix. O resultado referente à *P. nicorae* é especialmente interessante, já que se trata de uma espécie nativa com ampla distribuição. Futuros estudos deveriam focar nas técnicas mais eficientes de propagação e introdução da espécie. Por outro lado, *D. eriantha* ssp. *pentzii*, recentemente, foi apontada como espécie com potencial invasor na região (CEZIMBRA *et al.*, 2021), de forma que seu uso não deve ser recomendado, apesar do bom desempenho geral. Pode ser promissor investigar espécies nativas do gênero, com a mesma forma de crescimento.

Quanto à espécie *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver), o estudo não pode ser conclusivo, pois não se pode afirmar que a baixa taxa de sobrevivência dos indivíduos plantados foi resultante da não adaptação desta espécie aos solos arenosos da região ou à má qualidade das mudas. Neste estudo, as parcelas com esta espécie tiveram comportamentos similares às parcelas de controle.

Dos resultados gerais deste experimento, foi demonstrado que a cobertura vegetal maior do que 25% influencia de forma significativa no controle da erosão e na redução do escoamento superficial: quanto maior for a cobertura vegetal, menor é a taxa de sedimento carregado e o fluxo superficial de água da chuva. Para os taludes com cobertura vegetal inferior a 25%, a erosão e o escoamento superficial são controlados por outros fatores, tais como a presença das raízes no solo, intensidade da chuva e rugosidade do talude. Novos estudos devem ser realizados para melhor entendimento destes fatores

A bibliografia, de forma geral, indica a utilização de geotextil como uma técnica para auxiliar o controle da erosão do solo, bem como para um melhor desenvolvimento da vegetação. Todavia, o resultado obtido neste estudo, que foi realizado em taludes de solos arenosos e com inclinação de 30°, a utilização deste material não apresentou resultados satisfatórios. A presença da juta mostrou efeitos negativos ou nulos no controle de erosão do solo, sendo que em alguns períodos de amostragem, as parcelas que continham a juta produziram o dobro de sedimentos do que as parcelas sem juta. Além disto, o uso deste material não proporcionou um melhor desempenho da vegetação, considerando que não houve diferença em nenhum dos atributos funcionais medidos para a vegetação que foi plantada com o auxílio da juta ou plantada diretamente sobre o solo. Portanto, a utilização da juta em condições semelhantes às deste experimento não parece ser recomendada, considerando que, além de aumentar o custo da recuperação ambiental, teve efeitos negativos

no controle de erosão e não apresentou qualquer benefício no desempenho da vegetação plantada durante o período de observação.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir deste estudo, observa-se que ainda há muitos pontos que precisam ser melhor compreendidos quanto ao papel da vegetação e materiais de engenharia no controle de erosão de solos arenosos, bem como na recuperação de áreas degradadas. Sugere-se para trabalhos futuros a investigação dos seguintes pontos:

- analisar a influência das diferentes tensões superficiais da água junto a juta, bem como ao solo arenoso, para entender o motivo que pode ter influenciado o aumento da erosão nos taludes em que a juta foi aplicada;
- ensaios da resistência ao cisalhamento das raízes das espécies estudadas, para entender o quanto a raiz pode influenciar no controle da erosão quando há decréscimo da massa foliar;
- replicar o experimento adotado neste trabalho, utilizando parcelas com a espécie *Arachis repens* intercalada com a espécie *Paspalum nicorae*, para verificar a possibilidade de menor redução da taxa de cobertura vegetal no período de outono e inverno;
- sugere-se testar o transplante ou a semeadura da espécie *Richardia grandiflora*, visto que esta espécie, que surgiu de forma espontânea, teve uma influência considerável na cobertura vegetal das parcelas. Também, considerando o bom desempenho no controle de erosão e as altas taxas de cobertura vegetal da espécie *Digitaria eriantha*, sugere-se novos testes com espécies nativas com crescimento estolonífero;
- investigar técnicas de propagação e introdução de espécies nativas, bem como o desempenho de outras espécies nativas, a fim de definir espécies com potencial para uso na revegetação de taludes e na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia;
- por fim, indica-se realizar novos testes com as espécies estudadas neste trabalho considerando:
 - a fertilização do solo, para se verificar se haverá alteração dos desempenhos das vegetações plantadas e colonizadas de forma espontânea;
 - para as plantas transplantadas, deve-se realizar sua coleta e plantio em um período do dia mais fresco, preferencialmente após a ocorrência de chuva, de forma que o solo ainda estará úmido;

- também o replantio poderá ser reconsiderado, considerando que na execução de recuperação de áreas degradadas quando a perda das mudas é superior a 10%, as que não sobreviveram devem ser substituídas. Isto poderá ocasionar em resultados melhores de cobertura e conseqüentemente recuperação.
- ampliar o tempo de observação do desenvolvimento da vegetação por mais de um ano, para verificar o seu comportamento em diferentes estações do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K.; ZIEMER, R. R. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa/Canadá, v. 21, p. 1012-1019, jul. 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTCatálogo**. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=358011>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTCatálogo**. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=369841>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTCatálogo**. NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=7245>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTCatálogo**. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=353589>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTCatálogo**. NBR 7181: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=361658>>. Acesso em 16 de setembro de 2021.

AGUIAR, C. *Arquitetura de plantas*. Bragança/Portugal: Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária, 2014.

ANDRADE, B.; BOLDRINI, I. I.; CADENAZZI, M.; PILLAR, V. D.; OVERBECK, G. E. Grassland vegetation sampling - a practical guide for sampling and data analysis. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, vol. 33, n. 4, p.786-795, out./dez.2019.

ANDRADE, C.M.S.; ASSIS, G.M.L.; SALES, M.F.L.. *Estilosantes Campo Grande leguminosa forrageira recomendada para solos arenosos do Acre*. Acre: Embrapa, 2010.

ANTONELI, V.; REBINSKI, E.A.; BEDNARZ, J.A.; COMINO, J.R.; KEESSTRA, S.D.; CERDÀ, A.; FERNÁNDEZ, M.P. Soil erosion induced by the introduction of new pasture species in a faxinal farm of Southern Brazil. **Geosciences**, v.8, n.5, p.166, mai. 2018.

BAGARELLO, V., FERRO, V., KEESSTRA, S., COMINO, J.R., PULIDO, M.; CERDÀ, A. Testing simple scaling in soil erosion processes at plot scale. **Catena**, v.167, p.171-180, abr. 2018.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; ELRASHIDI, M. A. Toxicity and nutrient constraints in root growth. **HortScience**, Alexandria, v.36, n.3, p. 960–965, out. 1998.

BARBOSA, M. C. F. **Estudo da aplicação do Vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica - Escola de Minas - Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 128, 2012.

BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 303, 1999.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues. Reabilitação de Áreas degradadas por erosão em São Luís/MA. *In*: GUERRA, Antônio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira (orgs). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

BHATTACHARYYA, R.; FULLEN, M.A.; BOOTH, C.A.; KERTESZ, A.; TOTH, A.; SZALAI, Z.; JAKAB, G.; KOZMA, K.; JANKAUSKA, B.; BÜHMANN, C.; PATERSON, G.; MULIBANA, E.; NELL, J.P.; VAN DER MERWE, G.M.E.; GUERRA, A. J. T.; MENDONCA, J.K.S.; GUERRA, T.T.; SATHLER, R.; BEZERRA, J.F.R.; PERES, S.M.; YI, Z.; YONGMEI, L.; LI, T.; PANOMTARACHICHIGUL, M.; PEUKRAI, S.; THU, D.C.; CUONG, T. H.; TOAN, T. T.. Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments. **Land Degradation & Development**, v. 22, p. 495-504, jan. 2011.

BISSO, F.P. **Espécies vegetais para o manejo biotécnico de taludes e aspectos ambientais associados**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 205, 2013.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A.; CASTILHO, V.; ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Science Reviews**, v.78, n. 3-4, p.267-285, out. 2006.

BOLDRIN, D.; LEUNG, A. K.; BENGOUGH, A. G. Correlating hydrologic reinforcement of vegetated soil with plant traits during establishment of woody perennials. **Plant and Soil**, v. 416, p. 437–451, mar. 2017.

BRINDLE, F.A. Use of native vegetation and biostimulants for controlling soil erosion on steep terrain. **Journal of the Transportation Research Board Eighth International Conference on Low volume Roads**, v. 1, p. 203 – 209, jan. 2003.

CEZIMBRA, L. D.; PORTO, A. B.; OVERBECK, G. E. Invasão por gramíneas exóticas em campos sobre paleodunas: efeitos na diversidade florística. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, s/v, s/n, p. 1 - 22, jun. 2021. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/41060>>. Acessado em: 16 de setembro de 2021.

CHOK Y. H.; KAGGWA, W. S.; JAKSA, M. B.; GRIFFITHS, D. V.. Modelling the effects of vegetation on stability of slopes. **Proceedings of the 9th Australian New Zealand Conference on Geomechanics**, Auckland, s/v, s/n, p. 391–397, 2004.

COMINO E; MARENGO P; ROLLI V. Root reinforcement effect of different grass species: a comparison between experimental and models results. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n.1, p. 60 –68, set. 2010.

COOK, H. F.; VALDES, G. S. B.; LEE, H. C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. **Soil Tillage Research**, v.91, n. 1-2, p. 227-235, dez. 2006.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. *Use of Vegetation in Civil Engineering*. Londres/Inglaterra: Butterworths, 1990.

COPPIN, N.; STILES, R. Ecological principles for vegetation establishment and maintenance. *In*: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach**. London: E & FN SPON, 1995. P 59-87.

COUTO, Laércio; GONÇALVES, Wantuelfer; COELHO, Arnaldo Teixeira; PAULA, Cláudio Coelho; GARCIA, Rasmio; AZEVEDO, Roberto Francisco; LOCATELLI, Marcus Vinícius; ADVÍNCULA, Tatina Gontijo de Loreto; BRUNETTA, Juliana Margarido Fonseca Couto; COSTA, Cristiane Alves Barbosa; GOMIDE, Luis Carlos; MOTTA, Pedro Henrique. *Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil*. Viçosa, MG: CBCN (Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável), 2010.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; KNAPEN, A.; GALINDO, P. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.32, n.9, p. 1323–1345, ago. 2007.

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Manual de geotecnia - taludes e rodovias: Orientação para diagnóstico e solução de seus problemas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; RESENDE, A. S.; MOREIRA, J. F.; POLIDORO, J. C.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Influência da projeção das copas de espécies de leguminosas arbóreas nas características químicas do solo. **Pasturas Tropicais**, v.28, p.8-17, 2006.

DI IORIO, Antonino; LASSERRE, Bruno; SCIPPA, Gabriella S.; CHIATANTE, Donato. Root system architecture of *Quercus pubescens* trees growing on different sloping conditions. **Annals of Botany**, v. 95, n. 2, p. 351–361, jan. 2005.

DISARZ, Robson. **Desenvolvimento tecnológico em bioengenharia de solos aplicável a programas de restauração ecológica**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, p. 72, 2011.

EL KATEB, H.; ZHANG, H.; ZHANG, P.; MOSANDL, R. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. **Catena**, v.105, p.1-10, jun. 2013.

ELTZ, F. L. F.; ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.2, p.193-200, abr./jun. 2005.

FAN, C.C.; CHEN, Y.W. The effect of root architecture on the shearing resistance of root-permeated soils. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 6, p. 813-826, jun. 2010.

FARSHCHI, I. Engineering Advantages of Vegetation on Slope Stabilization. **International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)**, edição especial: International Conference on Advanced Engineering and Information Technology, p.75-79, nov. 2018. Disponível em: <<https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd19139.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

FAVERO, A. P.; VALLS, J.F.M. *Arachis repens – Arachis repens*. In: Coradin, L.; Camillo, J.; Pareyn, F.G.C. **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial - Plantas para o Futuro: Região Nordeste**. Brasília, DF: MMA, 2018.

FERNANDES, L. S. **Avaliação de mantas comerciais na vegetação de talude em corte de estrada**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.

FERREIRA, A.P. **Uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia no polo produtor de Seropédica/Itaguaí**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenheiro Florestal) - Departamento de Silvicultura, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, Adailton Pereira; CAMPELLO, Eduardo Francia Carneiro; FRANCO, Avílio Antônio; RESENDE, Alexander Silva de. *Uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia no polo produtor de Seropédica/Itaguaí*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

FIORI, Alberto Pio; CARMIGNANI, Luigi. *Fundamentos de mecânica dos solos e rocha aplicação na estabilidade de taludes*. Curitiba: Editora UFPR, 2009.

FORNERIS, F. D. V. **Estudio de reproducción y cultivo de las especies *Vernonanthura nudiflora* (Less.) H. Rob f. *nudiflora* y *Lessingianthus mollissimus* (D. Don ex Hook & Arn) H. Rob. var. *mollissimus***. Trabajo Académico Integrador (Tecnatura Universitaria en Jardinería y Floricultura), Facultad De Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, p. 95, 2018.

FRANCHI, J. G. **Aplicação de turfa na recuperação de solos degradados pela mineração de areia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, p.119, 2000.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. EMBRAPA, 2003. Disponível em: <<http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/15.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

GARBIN, E. J.; PINESE J. F. J.; RODRIGUES, S. C. Análise da variação da umidade em diferentes tipologias de uso da terra através do uso de parcelas de erosão. Fazenda Experimental do Glória, Uberlândia-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA: GEOMORFOLOGIA TROPICAL E SUBTROPICAL: PROCESSOS, MÉTODOS E TÉCNICAS, VI, Goiânia. **Anais**. Goiânia: S/E, 2006, p. 1-11. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/4/149.pdf>>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

GONZALEZ-OLLAURI, A.; MICKOVSKI, S. B. Plant-soil reinforcement response under different soil hydrological regimes. **Geoderma**, v. 285, n. 1, p. 141-150, jan. 2016.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Secretaria do Meio Ambiente**. PORTARIA SEMA nº. 79 de 31 de outubro de 2013. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201612/23180118-portaria-sema-79-de-2013-especies-exoticas-invasoras-rs.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 21.

GOVERNO FEDERAL. **Agência Nacional De Mineração (ANM)**. Consulta processos. Disponível em: <<https://sistemas.anm.gov.br/scm/extra/site/admin/pesquisarprocessos.aspx>>. Acesso em: 09 de junho de 2021.

GOVERNO FEDERAL. **DNIT** - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Norma DNIT 072/2006- ES: Tratamento ambiental de áreas de uso de obras e do passivo ambiental de áreas íngremes ou de difícil acesso pelo processo de revegetação herbácea - Especificação de serviço. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_072_2006_es.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

GREENWAY, D. R. Vegetation and Slope stability. *In*: ANDERSON, M. G.; RICHARDS, K. S. (orgs). **Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology**. Nova Jersey/EUA: Wiley-Blackwell, 1987.

GUERRA, Antonio José Teixeira. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p.32-37, 2005.

GUERRA, Antonio Jose Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira (orgs). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

JAMIL, M.; MUNIR, M.; QASIM, M.; JALAL-UD-DIN, Baloch; REHMAN, K. Effect of different types of mulches and their duration on the growth and yield of garlic (*Allium Sativum* L.). **International Journal of Agriculture & Biology**, v.7, n. 4, p. 588-591, 2005.

JASKULSKI, Tiane Maria. **Avaliação da influência de raízes de *Zoysia japonica* na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

JÚNIOR; José Fernando Pinese; CRUZ Lísia Moreira. Monitoramento de processos erosivos em parcelas experimentais no município de Uberlândia-MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.31, n.10, n. 31, p. 92 - 108, dez. 2009.

KERTÉSZ, Á.; SZALAI, Z.; JAKAB, G.; TÓTH, A.; SZABÓ, Sz.; MADARÁSZ, B.; JANKAUSKAS, B.; GUERRA, A.; BEZERRA, J. F. R.; PANOMTARANICHAGUL, M.; CHAU TU, D.; YI, Z. Biological geotextiles as a tool for soil moisture conservation. **Land Degradation & Development**, v. 22, s/n, p.472– 479, mar. 2011.

LEKHA, K. R. Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilized slopes - A case study. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 22, n. 5, p. 399-413, out. 2004.

LEMES, Marta Regina Tocchetto. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 140, 2001.

MACEDO, Renato Luiz Grisi; VALE, Rodrigo Silva; FRANCISO, Francinelli Aangeli; GOMES, Jozébio Esteves. Hidrossemeadura para a recuperação de áreas tropicais degradadas. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano 1, n. 1, s/p, fev. 2003.

MAFFRA, Charles; SOUSA, Rita; SUTILI, Fabrício; PINHEIRO, Rinaldo. The effect of the roots on shear strength of texturally distinct soils. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.26, p. 1-11, mai. 2019.

MAGALHÃES, Allan de Freitas. **Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso para o aterro sanitário de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 186, 2005.

MATTOS, Kelly Cristina Andrade. **Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: estudo na rodovia Castello Branco (SP 280), Km 305 a 313**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 126, 2009.

MELO, Frances Ley; SIMÃO, João Batista Pavesi; CAIADO, Marco Aurélio Costa; RANGEL, Otacílio José Passos. Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.8, n.5, p.116-124, 2013.

MENDES, Carlos André Ribeiro. **Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pouso no município de Bom Jardim - RJ**. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 236, 2006.

MENDES, P. B. **Análise comparativa de elementos de bioengenharia no controle do processo erosivo de um talude de alta inclinação em um curto período de tempo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2018.

MORETTO, Renata Lima. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR-386**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 155, 2012.

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J (orgs). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. London: E & FN SPON, 1995.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Nova Jersey/EUA: Wiley-Blackwell, 2005.

MORGAN, R. P. C.. Vegetative-based technologies for erosion control. *In*: STOKES, Alexia; SPANOS, Ioannis; NORRIS Joanne E.; CAMMERAAT, Erik (orgs). **Eco-and Ground Bio-**

Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability - Proceedings of the First International Conference on Eco-Engineering 13 - 17 September 2004. EUA: Springer, 2008.

MORRIS, L. A.; LUDOVICI, K. H.; TORREANO, S. J.; CARTER, E. A.; LINCOLN, M. C.; WILL, R. E.. An approach for using general soil physical condition–root growth relationships to predict seedling growth response to site preparation tillage in loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 227, n. 1–2, p. 169-177, mar. 2006.

MULUMBA, Lukman Nagaya; LAL, Rattan. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, v.98, n.1, p. 106-111, jan. 2008.

NABINGER, C., AGNOL, M. D. *Guia de Reconhecimento de Espécies dos Campos Sulinos*. Porto Alegre: IBAMA, 2019.

NOGUEIRA, Natiélia Oliveira; OLIVEIRA, Onair Mendes de; MARTINS, Camila Aparecida da Silva; BERNARDES, Carolina de Oliveira. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera - Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, p. 2121-2131, jun. 2012.

OLIVEIRA, M.A.M. **Mensuração de perdas de sedimentos por escoamento superficial em encostas, com uso de parcelas de erosão, em diferentes usos e coberturas do solo no Bioma Cerrado: Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama/DF**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, p. 78, 2015.

OVERBECK, Gerhard; HERMANN, Julia-Maria; ANDRADE, Bianca O.; BOLDRINI, Ilsi I.; KIEHL, Kathrin; KIRMER, Anita; KOCH, Christiane; KOLLMANN, Johannes; MEYER, Sebastian T.; MÜLLER, Sandra C.; NABINGER, Carlos; PILGER, Gabriele E.; TRINDADE, José Pedro P.; VÉLEZ-MARTIN, Eduardo; WALKER, Emer A.; ZIMMERMANN, Deonir G.; PILLAR, Valério D.. Restoration ecology in Brazil – time to step out of the forest. **Natureza & Conservação: Brazilian Journal of Nature Conservation**, v.11, p. 92-95, jul. 2013.

PEREIRA, A. R. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. Belo Horizonte: FAPI, 2006.

PEREIRA, A.F.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A; RESENDE, A., Uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia no polo produtor de Seropédica/Itaguaí. Seropédica, EMBRAPA Agrobiologia. 2007.

PEREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET-HARTE, M.S.; CORNWELL, W. K.; CRAINE, J. M.; GURVICH, D. E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, E. J.; REICH, P. B.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; RAY, P.; ENRICO, L.; PAUSAS, J. G.; DE VOS, A. C.; BUCHMANN, N.; FUNES, G.; QUÉTIER, F.; HODGSON, J. G.; THOMPSON, K.; MORGAN, H. D.; TER STEEGE, H.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SACK, L.; BLONDER, B.; POSCHLOD, P.; VAIERETTI, M. V.; CONTI, G.; STAYER, A. C.; AQUINO, S.; CORNELISSEN, J. H. C.. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v.61, p. 167-234, 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

POLLEN-BANKHEAD, Natasha; SIMON, Andrew. Hydrologic and hydraulic effects of riparian root networks on streambank stability: is mechanical root-reinforcement the whole story? **Geomorphology**, Oxford, v. 116, n. 3-4, p. 353-362, abr. 2010.

PRAMBAUER, M.; WENDELER, C.; WEITZENBÖCK, J.; BURGSTALLER, C. Biodegradable geotextiles – an overview of existing and potential materials. **Geotextiles and Geomembranes**, v.47, n. 1, p. 48-59, 2019.

ŘEHOUNKOVÁ, Klára; PRACH, Karel. Life-history trait sand habitat preferences of colonizing plants species long-term spontaneous succession in abandoned gravel–sand pits. **Basic and Applied Ecology**, v.11, p.45–53, fev. 2010.

REUBENS, Bert; POESEN, Jean; DANJON, Frédéric; GEUDENS, Guy; MUYS, Bart. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. **Trees**, v. 21, p.385–402, mar. 2007.

Ribeiro, K.T.; Filippo, D. C.; Paiva, C. L.; Madeira, J. A.; Nascimento, J. S.. Ocupação por *Brachiaria* spp. (Poaceae) no Parque Nacional da Serra do Cipó e infestação decorrente da obra de pavimentação da rodovia MG-010, na APA Morro da Pedreira, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS, I, Brasília. **Anais...** Brasília: S/E, 2005.

RICKSON, R. J; MORGAN, R. P. C. Introduction. In: MORGAN, R. P. C; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach**. Londres: E & FN SPON, 1995.

RICKSON, R. J.. Simulated vegetation and geotextile. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach**. Londres: E & FN SPON, 1995.

ROQUETTE, José Guilherme. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.3, p.1350-1363, 2018.

S/A. **Tropical Forages**. *Digitaria eriantha*. Disponível em: <https://www.tropicalforages.info/pdf/digitaria_eriantha.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2021.

S/A. **Weather Spark**. Condições meteorológicas médias de Viamão. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29677/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Viam%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 11 de maio de 2020.

S/A. **WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia**. Viamão. Disponível em: <[wikipedia.org/wiki/Viam%C3%A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Viam%C3%A3o)>. Acesso em: 08/07/2021.

SARAIVA, Thiago Silvestre. Efeitos alelopáticos de espécies do gênero *Arachis*: uma revisão da literatura. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, Coromandel, v. 1 n. 1, p. 08-27, ago./dez. 2016.

SCHWARZ, M.; PRETI, F.; GIADROSSICH, F.; LEHMANN, P.; OR, D.. Quantifying the role of vegetation in slope stability: A case study in Tuscany (Italy). **Ecological Engineering**, v. 36, n. 3, p. 285-291, mar. 2010.

SIGREN, Jacob M.; FIGLUS, Jens; ARMITAGE, Anna R.. Coastal sand dunes and dune vegetation: restoration, erosion, and storm protection. **Shore & Beach**, v. 82, n. 4, p. 05-12, dez. 2014.

SILVA, Rúben Alberto Fernandes da. **Aplicação da Engenharia Natural na Estabilização de Taludes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Funchal/Portugal, p. 127, 2014.

SIMON, Andrew; COLLISON, Andrew J. C. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27, 527-546, mai. 2002.

SINKEVIČIENĖ, A.; JODAugIENĖ, D.; PUPALIENĖ, R.; URBONIENĖ, M.. The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. **Agronomy Research**, v.7, p.485-491, 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - NÚCLEO REGIONAL SUL. *Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2004.

SOUSA, Rita dos Santos; MAFFRA, Charles Rodrigo Belmonte; DEWES, Júnior Joel; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa; SUTILI, Fabrício Jaques. Engenharia natural: o uso e a avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. **Scientia Vitae**, v.9, n. 27, p.1 - 13, jan./mar. 2020.

STOKES, Alexia; ATGER, Claire; BENGOUGH, Anthony Glyn; FOURCAUD, Thierry; SIDLE, Roy C.. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. **Plant Soil**, v. 324, p.1-30, nov. 2009.

STROOSNIJDER, Leo. Measurement of erosion: is it possible? **Catena**, v. 64, n. 2-3, p.162-173, dez. 2005.

STYCZEN M. E.; MORGAN, R. P. Engineering properties of vegetation, *In*: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach**. Londres: E & FN SPON, 1995.

SUTILI, Fabrício Jaques; DURLO, Miguel Antônio; BRESSAN, Delmar Antonio. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de cursos de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 13-20, mar. 2005.

TERUEL, Dioger Alexandre. **Caracterização arquitetural do sistema radicular de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 119, 1999.

THODE, Verônica Aydos; MENTZ, Lilian Auler. O gênero *Glandularia* J.F. Gmel. (Verbenaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, v. 24, n. 2, ago. 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio*. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Ecologia Quantitativa**. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acesso em 10 de abril de 2020.

VANNOPPEN, W.; VANMAERCKE, M.; DE BAETS, S.; POESEN, J.. A review of the mechanical effects of plant roots on concentrated flow erosion rates. **Earth-Science Reviews**, v. 150, p. 666-678, nov. 2015.

VANNOPPEN, W.; DE BAETS, S.; KEEBLE, J.; DONG, Y.; POESEN, J.. How do root and soil characteristics affect the erosion-reducing potential of plant species? **Ecological Engineering**, v. 109, Parte B, p.186-195, dez. 2017.

VENTURINI, Jéssica Anversa. **Avaliação do efeito da adição de raízes na erodibilidade de um solo arenoso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.148, 2019.

VILWOCK, Jorge Alberto. **Contribuição para a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 134, 1972.

VIOLLE, Cyrille; NAVAS, Marie-Laure; VILE, Denis; KAZAKOU, Elena; FORTUNEL, Claire; HUMMEL, Irène; GARNIER, Eric. Let the concept of trait be functional! **Oikos - Advancing Ecology**, v. 116, p. 882-892, mai. 2007.

VISHNUDAS, Subha; SAVENIJE, Hubert H. G.; VAN DER ZAAG, Pieter; ANIL, K. R.; BALAN, K.. The protective and attractive covering of a vegetated embankment using coir geotextiles. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, p. 565-574, 2006.

ZENNI, Rafael Dudeque; ZILLER, Sílvia Renate. An overview of invasive plants in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 431-446, jul./set. 2011.

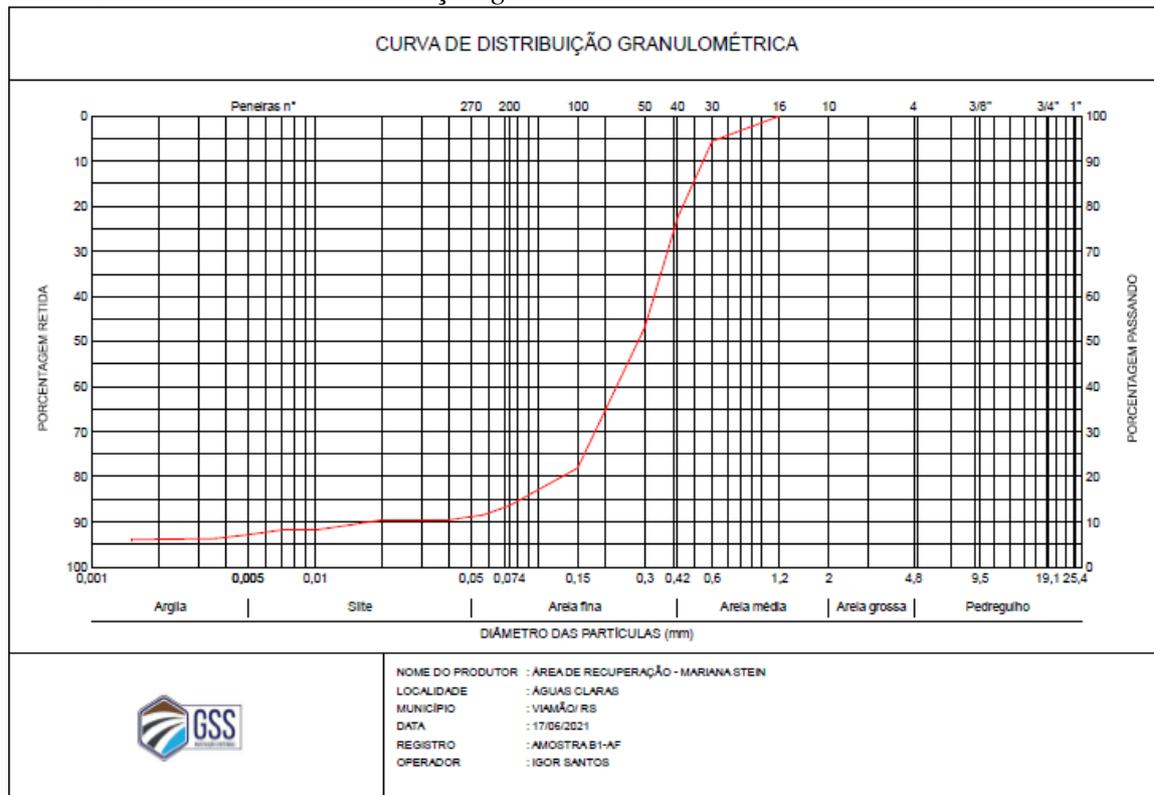
ZIEMER, R. R. Roots and the stability of forested slopes. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EROSION AND SEDIMENT TRANSPORT IN PACIFIC RIM STEEPLANDS, 1981, Christchurch. **Anais...** Christchurch: S/E, 1981, p. 343-361.

ZRIBI, Wided; ARAGÜÉS, Ramon; PUEYO, Eva T. Medina; FACI, J. M... Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 40-45, mai. 2015.

ZUAZO, Víctor Hugo Durán; PLEGUEZUELO, Carmen Rocío Rodríguez. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *In*: LICHTFOUSE, Eric; NAVARRETE, Mireille; DEBAEKE, Philippe; VÉRONIQUE, Souchere; ALBEROLA, Caroline (orgs). **Sustainable agriculture**. EUA: Springer Netherlands, 2009.

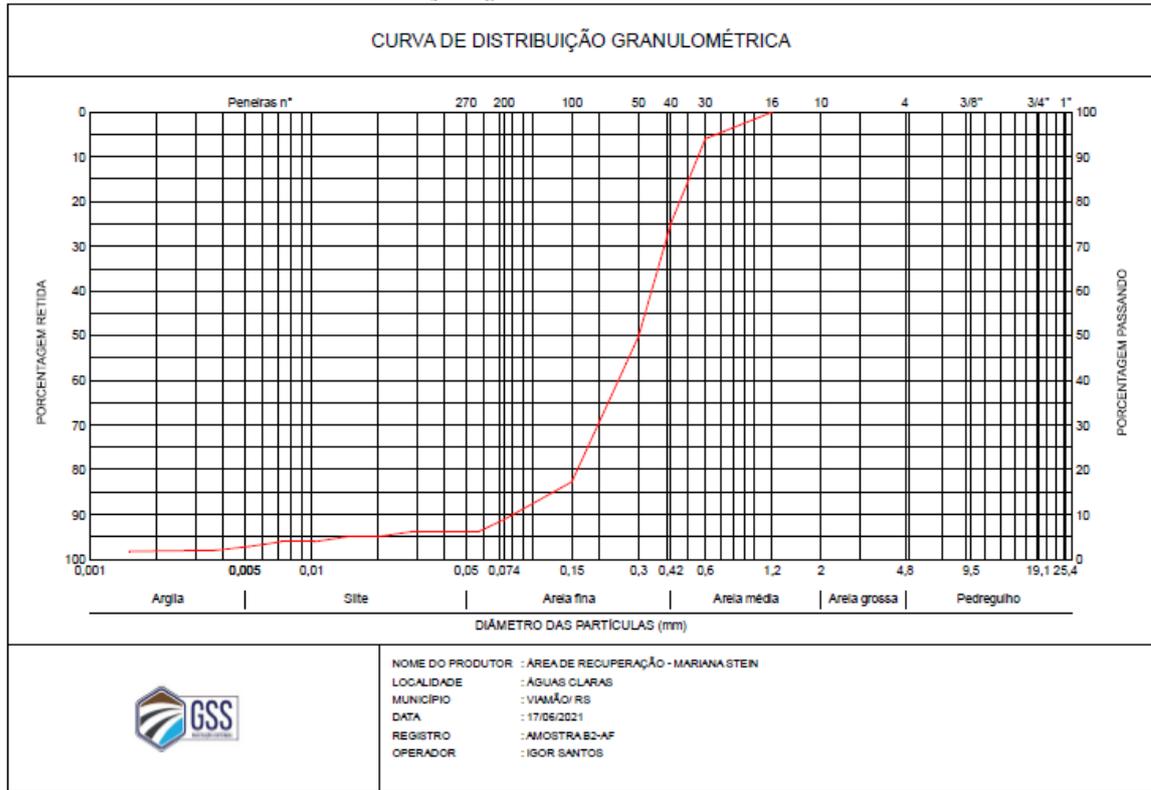
APÊNDICE A – Análise granulométrica do solo

GRÁFICO 16 - Curva da distribuição granulométrica da amostra coletada no bloco 1.



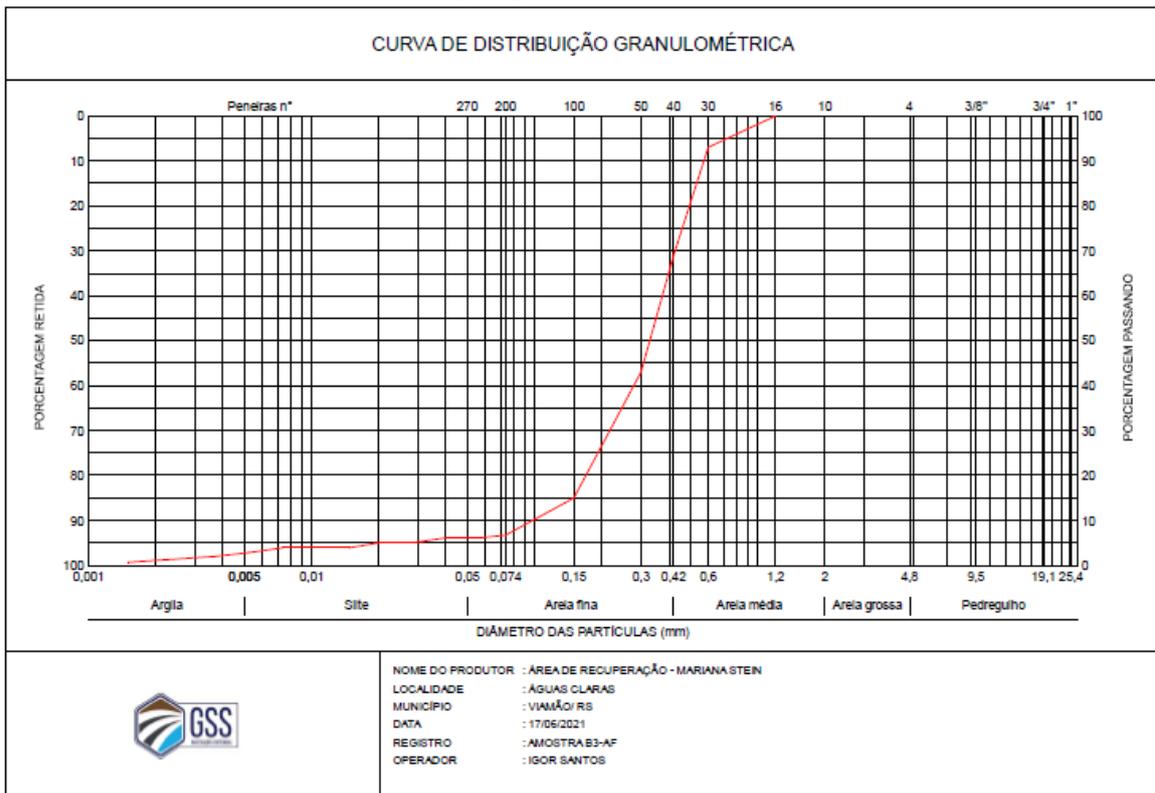
Fonte: GSS, 2021.

GRÁFICO 17 - Curva da distribuição granulométrica da amostra coletada no bloco 2.



Fonte: GSS, 2021

GRÁFICO 18 - Curva da distribuição granulométrica da amostra coletada no bloco 3.



Fonte: GSS, 2021

APÊNDICE B – Análise química do solo

FIGURA 31 - Laudo emitido pelo laboratório de agronomia de solos da UFRGS.

NUM	REGISTRO	ARGILA %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	M.O. %	Al _{troc.} cmol _c /dm ³	Ca _{troc.} cmol _c /dm ³	Mg _{troc.} cmol _c /dm ³
1	115/6	8	5.0	6.8	2.0	16	0.4	0.4	0.5	0.2
2	115/7	9	4.9	7.1	2.8	13	0.2	0.2	0.5	0.2
3	115/8	8	4.7	7.0	2.2	12	0.2	0.4	0.2	0.1

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P, K, Cu, Zn e Na determinados pelo método Mehlich 1; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al e Mn trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; S-SO₄ extraído com CaHPO₄, 500 mg L⁻¹ de P; B extraído com água quente.

NUM	H + Al cmol _c /dm ³	CTC cmol _c /dm ³	% SAT da CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM p/PRNT (t ha ⁻¹)			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	85	70	55
1	1.7	2.45	30	34.7	2.5	12	4.9				
2	1.2	1.94	38	21.1	2.5	15	6				
3	1.4	1.74	19	53.4	2	7	3.3				

CTC a pH 7.0. Necessidade de calcário para atingir pH 6.0 - calculada pela média dos métodos SMP e Al+Mg. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos e sob sistema de cultivo convencional. No sistema plantio direto, consultar um agrônomo.

NUM	S mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Cu mg/dm ³	B mg/dm ³	Mn mg/dm ³	Fe g/dm ³	Na mg/dm ³	OUTRAS DETERMINAÇÕES			
1	1.5	0.6	0.6	0.2	6						
2	1.4	0.4	0.6	0.1	9						
3	1.6	0.3	0.4	0.1	10						

Consulte um agrônomo para obter as recomendações de adubação

NUM	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	B 1
2	B 2
3	B 3


Clesio Gianello
 Eng^o Agr^o CREA-RS 11.476
 Chefe do Laboratório de Análises

Laboratório de Análises de Solo - Av. Bento Gonçalves, 7712 - Porto Alegre - RS - CEP 91540-000
 Fones/Fax: (0xx51) 3308-6023 - 3308-7457 - E-mail: lsolos@hotmail.com - www.ufrgs.br/labsolos

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE C – Análise estatística quanto à massa de solo

TABELA 12 - Massa da perda de solo das parcelas experimentais para cada coleta realizada ao longo do experimento.

Data de coleta	Vegetação	Com juta			Sem juta		
		Bloco 1 (g)	Bloco 2 (g)	Bloco 3 (g)	Bloco 1 (g)	Bloco 2 (g)	Bloco 3 (g)
18/12/2020	<i>Chrysopogon</i>	52	42	-(¹)	28	30	20
	<i>Arachis</i>	27	54	-(¹)	41	21	42
	Controle	28	37	31	34	20	31
	Mix	40	49	26	23	42	23
20/01/2021	<i>Chrysopogon</i>	66	66	34	63	57	61
	<i>Arachis</i>	46	56	-(¹)	73	46	104(³)
	Controle	48	52	47	48	39	-(¹)
	Mix	61	34	46	63	83	52
10/02/2021	<i>Chrysopogon</i>	1194	2110	5437(³)	-(²)	-(²)	2610
	<i>Arachis</i>	1509	1143	5276(³)	1306 (⁵)	498	129
	Controle	-(²)	2337	1850	2458	-(²)	2750
	Mix	1346	2424	1604	696	-(²)	621
06/04/2021	<i>Chrysopogon</i>	-(⁴)	-(⁴)	460	-(⁴)	169	84
	<i>Arachis</i>	85	229	270	100(⁵)	61	42
	Controle	-(⁴)	159	207	-(⁴)	-(⁴)	682
	Mix	71	52	61	55	-(⁴)	48
03/06/2021	<i>Chrysopogon</i>	385	300	1508	-(²)	3016(³)	919
	<i>Arachis</i>	79	871	553	675	476	513
	Controle	182	1020	661	1030	403	3698(³)
	Mix	237	1009	1139	139	1760	1952

(1) Intervenção de escoamento gerado fora dos limites das parcelas

(2) Obstrução da calha pelo acúmulo de sedimentos

(3) Outliers

(4) Obstrução da tubulação que conectava a calha ao coletor.

(5) Interferência de formigas cortadeiras

Fonte: elaborado pela autora.

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 13 - Análise de normalidade dos dados referente à coleta de sedimento.

		Análise de erosão (massa de sedimento)					
Método		18/dez	20/jan	10/fev	06/abr	06/abr - Erro Arachis x mix	03/jun
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9371	0,9688	0,9483	0,8254	0,9627	0,9267
	P-valor	0,1721	0,7062	0,3421	0,01047	0,8211	0,118
Anderson-Darling A	Estatística	0,4482	0,2679	0,3219	1,068	0,3294	0,4938
	P-valor	0,2532	0,6482	0,5063	0,005637	0,4603	0,1928

Fonte: Elaborada pela autora.

Para a análise da ANOVA, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 14 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à coleta de sedimento. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).

Data	Tratamento	SQ	Ngl	MQ	Estat. F	P-valor	dif. sig.
18/12/2020	C	614,08	1	614,08	7,14	0,02	sim
	V	203,67	3	67,89	0,79	0,52	não
	CV	259,10	3	86,37	1,00	0,42	não
	Erro	1376,78	16	86,05			
20/01/2021	C	275,40	1	275,40	2,21	0,16	não
	V	477,55	3	159,18	1,28	0,32	não
	CV	453,64	3	151,21	1,21	0,34	não
	Erro	1996,45	16	124,78			
10/02/2021 Arachis x mix x controle	C	1336966,77	1	1336966,77	17,21	0,00	sim
	V	7530703,07	2	3765351,53	48,46	0,00	sim
	CV	2517279,74	2	1258639,87	16,20	0,00	sim
	Erro	932434,24	12	77702,85			
06/04/2021 Arachis x mix	C	32261,07	1	32261,07	209,68	0,00	sim
	V	26564,43	1	26564,43	172,66	0,00	sim
	CV	26592,67	1	26592,67	172,84	0,00	sim
	Erro	1230,85	8	153,86			
03/06/2021	C	255750,26	1	255750,26	0,96	0,34	não
	V	866223,95	3	288741,32	1,08	0,38	não
	CV	173458,95	3	57819,65	0,22	0,88	não
	Erro	4258705,83	16	266169,11			

Fonte: elaborada pela autora

Para os fatores com mais de um nível que apresentaram diferença significativa, bem como as interações entre os fatores cujo P-valor foi inferior a 0,05, assumiu-se que aqueles que apresentaram diferença entre médias superior ao limite de decisão (Ld), que corresponde a 3 (três) desvios padrões das médias amostrais, a mesmas apresentam diferença significativa entre si.

Para a data de 10/02, o LD referente à vegetação foi de 341,40g, já a interação entre vegetação e cobertura o LD foi de 428,81. A TABELA 15 e TABELA 16 apresentam os valores superiores aos LD informado, indicando quais tratamentos apresentam diferença significativa entre si.

TABELA 15 - Para o fator de controle ‘vegetação’, referente à coleta de 10/02/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida.

	Arac	Cont
Cont	1529,05	
Mix	405,11	1123,94

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 16 - Para o fator da interação entre os tratamentos referente à coleta de 10/02/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações com o tipo de cobertura que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida.

	Arac - Juta	Cont -Juta	Mix - Juta	Arac - S/ Juta	Cont -S /Juta
Cont -Juta	767,35				
Mix - Juta	464,92	302,43			
Arac - S/ Juta	1013,00	1780,35	1477,92		
Cont -S /Juta	1277,75	510,40	812,83	2290,75	
Mix - S/Juta	667,70	1435,05	1132,62	345,30	1945,45

Fonte: elaborada pela autora.

Para a data de 06/04, o LD referente à interação entre vegetação e cobertura foi de 21,48. A TABELA 17 apresenta os valores superiores aos LD informados, indicando quais tratamentos apresentam diferença significativa entre si.

TABELA 17 - Para o fator da interação entre os tratamentos referente à coleta de 06/04/2021, em vermelho, são identificadas as vegetações com o tipo de cobertura que tiveram diferença significativa entre níveis quanto às médias de massa (g) erodida.

	Arac - Juta	Mix - Juta	Arac - S/ Juta
Mix - Juta	188,25		
Arac - S/ Juta	197,85	9,6	
Mix - S/Juta	197,8	9,55	0,05

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE D – Coluna e volume acumulado de água nos baldes

TABELA 18 - *Nível de água (m) medido nos baldes por período de amostragem.*

Coluna de água dos baldes (cm)																								
Data	Bloco 1								Bloco 2								Bloco 3							
	Chry	Arac	Cont	Mix	Arac	Chry	Cont	Mix	Arac	Cont	Mix	Cont	Chry	Chry	Arac	Mix	Cont	Mix	Chry	Arac	Arac	Cont	Mix	Chry
	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	S/	
	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	
05/dez	3,5	3,0	3,0	5,5	5,0	2,5	3,5	3,0	3,5	4,0	5,0	3,5	5,0	3,0	4,5	4,0	3,0	3,5	3,0	4,5	3,0	4,0	4,0	4,0
18/dez	5,0	3,0	4,5	7,0	6,5	2,5	4,0	3,0	5,0	4,0	5,0	4,0	6,0	3,5	6,5	4,0	4,0	4,0	3,0	6,0	4,0	4,0	4,0	5,0
20/jan	3,5	2,5	4,0	6,0	6,5	2,0	3,5	3,0	4,0	3,0	4,0	7,0	8,0	5,0	7,0	5,0	4,0	3,0	3,5	8,5	3,5	5,5	4,0	3,0
10/fev	18,0	10,0	15,0	18,5	19,5	5,0	9,0	10,0	9,0	7,0	16,5	18,5	17,5	7,0	15,5	7,0	12,0	15,5	10,0	21,0	6,0	12,5	7,0	15,0
06/abr	18,0	12,1	16,5	18,5	21,5	7,0	12,0	13,5	9,0	8,0	17,0	25,0	34,0	12,0	21,0	10,0	16,0	16,0	13,0	27,0	9,0	17,0	9,0	17,0
03/abr	37,0	21,0	32,0	26,0	29,0	10,0	27,0	20,0	14,0	15,0	28,0	37,0	47,0	30,0	34,0	23,0	26,0	36,0	25,0	45,0	20,0	37,0	29,0	33,0

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 19 - Volume estimado de água (L) acumulado nos baldes a partir da equação de calibração dos baldes.

Volume de água dos baldes (L)																								
Data	Bloco 1								Bloco 2								Bloco 3							
	Chry	Arac	Cont	Mix	Arac	Chry	Cont	Mix	Arac	Cont	Mix	Cont	Chry	Chry	Arac	Mix	Cont	Mix	Chry	Arac	Arac	Cont	Mix	Chry
	Juta	S/ Juta	S/ Juta	Juta	Juta	S/ Juta	Juta	Juta	S/ Juta	S/ Juta	Juta	Juta	Juta	Juta	S/ Juta	S/ Juta	Juta	Juta	S/ Juta	Juta	S/ Juta	S/ Juta	S/ Juta	Juta
05/dez	3,4	2,9	2,9	5,5	5,0	2,3	3,4	2,9	3,4	3,9	5,0	3,4	5,0	2,9	4,5	3,9	2,9	3,4	2,9	4,5	2,9	3,9	3,9	3,9
18/dez	5,0	2,9	4,5	7,1	6,6	2,3	3,9	2,9	5,0	3,9	5,0	3,9	6,1	3,4	6,6	3,9	3,9	3,9	2,9	6,1	3,9	3,9	3,9	5,0
20/jan	3,4	2,3	3,9	6,1	6,6	1,8	3,4	2,9	3,9	2,9	3,9	7,1	8,2	5,0	7,1	5,0	3,9	2,9	3,4	8,7	3,4	5,5	3,9	2,9
10/fev	18,9	10,3	15,7	19,4	20,5	5,0	9,3	10,3	9,3	7,1	17,3	19,4	18,3	7,1	16,2	7,1	12,5	16,2	10,3	22,1	6,1	13,0	7,1	15,7
06/abr	18,9	12,5	17,3	19,4	22,6	7,1	12,5	14,1	9,3	8,2	17,8	26,3	35,9	12,5	22,1	10,3	16,7	16,7	13,5	28,4	9,3	17,8	9,3	17,8
03/abr	39,1	22,1	33,8	27,4	30,6	10,3	28,4	21,0	14,6	15,7	29,5	39,1	49,7	31,6	35,9	24,2	27,4	38,0	26,3	47,6	21,0	39,1	30,6	34,8

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE E – Análise estatística ao volume escoado

TABELA 20 - Volume de água escoado nas parcelas experimentais em decorrência dos eventos de chuvas.

Data de coleta	Vegetação	Juta			Solo		
		Bloco 1 (L)	Bloco 2 (L)	Bloco 3 (L)	Bloco 1 (L)	Bloco 2 (L)	Bloco 3 (L)
05/12/2020	<i>Chrysopogon</i>	3,5	5,0	4,0	2,5	3,0	3,0
	<i>Arachis</i>	5,0	4,5	4,5	3,0	3,5	3,0
	Controle	3,5	3,5	3,0	3,0	4,0	4,0
	Mix	5,5	5,0	3,5	3,0	4,0	4,0
18/12/2020	<i>Chrysopogon</i>	1,6	1,1	-(¹)	0,0	0,5	0,0
	<i>Arachis</i>	1,6	2,1	-(¹)	0,0	1,6	1,1
	Controle	0,5	0,5	1,1	1,6	0,0	0,0
	Mix	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
20/01/2021	<i>Chrysopogon</i>	-1,6	2,1	-2,1	-0,5	1,6	0,5
	<i>Arachis</i>	0,0	0,5	-(¹)	-0,5	-1,1	-0,5
	Controle	-0,5	3,2	0,0	-0,5	-1,1	-(¹)
	Mix	-1,1	-1,1	-1,1	0,0	1,1	0,0
10/02/2021	<i>Chrysopogon</i>	15,4	10,1	12,8	-(³)	-(³)	6,9
	<i>Arachis</i>	13,8	9,1	11,5	8,0	5,3	2,7
	Controle	-(³)	12,2	8,5	11,7	-(³)	7,5
	Mix	13,3	13,3	13,3	7,5	-(²)	3,2
06/04/2021	<i>Chrysopogon</i>	-(⁴)	-(⁴)	16,0	-(⁴)	18,0	12,0
	<i>Arachis</i>	7,5	13,0	10,3	9,0	5,0	11,0
	Controle	-(⁴)	12,0	10,0	-(⁴)	-(⁴)	20,0
	Mix	7,5	11,0	20,0	6,5	-(⁴)	20,0
03/06/2021	<i>Chrysopogon</i>	20,2	13,8	17,0	-(²)	19,2	12,8
	<i>Arachis</i>	8,0	13,8	10,9	9,5	5,3	11,7
	Controle	11,7	12,8	10,7	16,5	18,9	21,3
	Mix	8,0	11,7	21,3	6,9	14,1	21,3

(1) Intervenção de escoamento gerado fora dos limites das parcelas

(2) Obstrução da calha pelo acúmulo de sedimentos

(3) Obstrução da tubulação que conectava a calha ao coletor.

(4) Interferência de formigas cortadeiras

Fonte: elaborado pela autora.

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 21 - Análise de normalidade dos dados referente ao volume de água escoado nas parcelas.

Análise de escoamento superficial (volume de água dos baldes)								
		05/dez	05/dez Erro	18/dez	18/dez Erro	10/fev	06/abr	03/jun
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9184	0,9358	0,826	0,9601	0,9402	0,916	0,9577
	P-valor	0,05378	0,1313	0,0013	0,4396	0,2195	0,1264	0,3947
Anderson-Darling A	Estatística	0,8167	0,7049	1,55	0,4694	0,436	0,5362	0,3253
	P-valor	0,02962	0,05715	0,0004	0,226	0,2703	0,1445	0,5052

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise da ANOVA, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 22 - Resultado da ANOVA para os dados referentes ao volume de água escoado. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).

Data	Tratamento	SQ	Ngl	MQ	Estat. F	P-valor	dif. sig.
05/12/2020	C	4,59	1	4,59	13,78	0,00	sim
	V	1,95	3	0,65	1,95	0,16	não
	CV	3,11	3	1,04	3,11	0,06	não
	Erro	5,33	16	0,33			
18/12/2020	C	3,42	1	3,42	10,91	0,00	sim
	V	3,37	3	1,12	3,58	0,04	sim
	CV	0,82	3	0,27	0,87	0,48	não
	Erro	5,01	16	0,31			
10/02/2021 Arachis x mix x controle	C	130,95	1	130,95	39,95	0,00	sim
	V	15,93	2	7,97	2,43	0,13	não
	CV	48,72	2	24,36	7,43	0,01	sim
	Erro	39,34	12	3,28			
06/04/2021 Arachis x mix	C	2,57	1	2,57	0,10	0,76	não
	V	45,83	1	45,83	1,77	0,22	não
	CV	5,40	1	5,40	0,21	0,66	não
	Erro	207,42	8	25,93			
03/06/2021	C	7,63	1	7,63	0,42	0,53	não
	V	149,41	3	49,80	2,74	0,08	não
	CV	78,28	3	26,09	1,44	0,27	não
	Erro	290,63	16	18,16			

Fonte: elaborada pela autora.

Para os fatores com mais de um nível que apresentaram diferença significativa, bem como as interações entre os fatores cujo P-valor foi inferior a 0,05, assumiu-se que aqueles que apresentaram diferença entre médias superior ao limite de decisão (Ld), que corresponde a 3 (três) desvios padrões das médias amostrais, a mesmas apresentam diferença significativa entre si.

Para a data de 18/12, o LD referente à vegetação foi de 0,68L. A TABELA 23 apresenta os valores superiores aos LD informado, indicando quais tratamentos apresentam diferença significativa entre si.

TABELA 23 - Para o fator referente à vegetação, cuja medida foi realizada em 18/012/2020, estão representados em vermelho os níveis que tiveram diferença significativa quando comparados às médias de volume escoado (L).

	Chry	Arac	Cont
Arac	0,62		
Cont	0,13	0,75	
Mix	0,40	1,02	0,27

Fonte: elaborada pela autora.

Para a data de 10/02, o LD referente à interação entre vegetação e cobertura foi de 3,14L. A TABELA 24 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cuja medida foi realizada em 10/02/2021, estão representados, em vermelho, os níveis que tiveram diferença significativa quando comparado às médias de volume escoado (L). apresenta os valores superiores ao LD informado, indicando quais tratamentos apresentam diferença significativa entre si.

TABELA 24 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cuja medida foi realizada em 10/02/2021, estão representados, em vermelho, os níveis que tiveram diferença significativa quando comparado às médias de volume escoado (L).

	Arac - Juta	Cont -Juta	Mix - Juta	Arac - S/ Juta	Cont -S /Juta
Cont -Juta	1,12				
Mix - Juta	1,83	2,95			

Arac - S/ Juta	7,47	6,35	9,30		
Cont -S /Juta	1,87	0,75	3,70	5,60	
Mix - S/Juta	6,13	5,02	7,97	1,33	4,27

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE F – Análise estatística referente à taxa de sobrevivência dos indivíduos plantados

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 25 - Análise de normalidade dos dados referente à taxa de sobrevivência das espécies plantadas.

Análise da taxa de sobrevivência das espécies plantadas					
Método		Fev	Jun	Fev - erro	Jun - erro
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,876	0,880	0,953	0,961
	P-valor	0,001	0,001	0,127	0,224
Anderson-Darling A	Estatística	1,442	1,450	0,701	0,599
	P-valor	0,001	0,001	0,061	0,111

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise da ANOVA, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 26 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à taxa de sobrevivência das espécies plantadas. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).

Data	Tratamento	SQ	Ngl	MQ	Estat. F	P-valor	dif. sig.
Fevereiro	C	0,01	1	0,01	0,58	0,46	não
	V	3,52	5	0,70	29,13	0,00	sim
	CV	0,33	5	0,07	2,73	0,04	sim
	Erro	0,58	24	0,02			
Junho	C	0,01	1	0,01	0,61	0,44	não
	V	3,21	5	0,64	27,66	0,00	sim
	CV	0,31	5	0,06	2,71	0,04	sim
	Erro	0,56	24	0,02			

Fonte: elaborada pela autora.

Para os fatores com mais de um nível que apresentaram diferença significativa, bem como as interações entre os fatores cujo P-valor foi inferior a 0,05, assumiu-se que aqueles que apresentaram diferença entre médias superior ao limite de decisão (Ld), que corresponde

Digit - juta	0,27	0,44	0,10								
Gland - juta	0,26	0,98	0,63	0,53							
Vern - juta	0,18	0,89	0,55	0,45	0,08						
Chry - solo	0,20	0,92	0,57	0,47	0,06	0,02					
Arac - solo	0,70	0,01	0,33	0,43	0,96	0,88	0,90				
Pasp - solo	0,30	0,41	0,07	0,03	0,57	0,48	0,51	0,40			
Digit - solo	0,37	0,34	0,00	0,10	0,63	0,55	0,57	0,33	0,07		
Gland - solo	0,15	0,56	0,22	0,12	0,42	0,33	0,36	0,55	0,15	0,22	
Vern - solo	0,18	0,89	0,55	0,45	0,08	0,00	0,02	0,88	0,48	0,55	0,33

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 30 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cujo levantamento da taxa de sobrevivência foi realizado em junho.

	Chry - juta	Arac - juta	Pasp - juta	Digit - juta	Gland - juta	Vern - juta	Chry - solo	Arac - solo	Pasp - solo	Digit - solo	Gland - solo
Arac - juta	0,67										
Pasp - juta	0,38	0,28									
Digit - juta	0,28	0,38	0,10								
Gland - juta	0,25	0,92	0,63	0,53							
Vern - juta	0,17	0,83	0,55	0,45	0,08						
Chry - solo	0,19	0,86	0,57	0,47	0,06	0,02					
Arac - solo	0,68	0,01	0,30	0,40	0,93	0,85	0,87				
Pasp - solo	0,32	0,35	0,07	0,03	0,57	0,48	0,51	0,36			
Digit - solo	0,35	0,32	0,03	0,07	0,60	0,52	0,54	0,33	0,03		
Gland - solo	0,17	0,50	0,22	0,12	0,42	0,33	0,36	0,51	0,15	0,18	
Vern - solo	0,17	0,83	0,55	0,45	0,08	0,00	0,02	0,85	0,48	0,52	0,33

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE G – Análise estatística referente aos atributos funcionais

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 31 - Análise de normalidade dos dados referente aos atributos medidos nos dois períodos para a espécie *Chrysopogon zizanioides*.

Atributos medidos nos dois períodos - <i>Chrysopogon zizanioides</i>					
		Fev - altura	Jun - altura	Fev - perfilos	Jun- perfilos
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9271	0,958	0,9386	0,9561
	P-valor	0,07461	0,3764	0,1126	0,3202
Anderson-Darling A	Estatística	0,7889	0,4984	0,484	0,3143
	P-valor	0,03511	0,1915	0,2099	0,5241

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 32 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo medido nos dois períodos para a espécie *Arachis repens*.

Atributos medidos nos dois períodos - <i>Arachis repens</i>							
		Fev - altura	Jun - altura	Fev - altura - erro	Jun - altura - erro	Fev - altura - Log	Jun - altura - Log
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9571	0,9430	0,9698	0,9600	0,9258	0,9442
	P-valor	0,0001	0,0000	0,0013	0,0002	0,0000	0,0000
Anderson-Darling A	Estatística	2,4610	2,7620	1,7320	2,0650	3,1540	2,2830
	P-valor	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 33 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional comprimento específico de raiz.

Comprimento específico de raiz						
		<i>Paspalum</i>	<i>Chrysopogon</i>	<i>Chrysopogon</i> - Log	<i>Digitaria</i>	<i>Arachis</i>
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,8495	0,8004	0,9186	0,9644	0,8886
	P-valor	0,0573	0,0207	0,3810	0,8342	0,1928
Anderson-Darling A	Estatística	0,5673	0,8066	0,3503	0,2053	0,4607

P-valor	0,1050	0,0222	0,3842	0,8207	0,1951
---------	--------	--------	--------	--------	--------

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 34 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional comprimento de raiz.

		Comprimento de raiz			
		<i>Paspalum</i>	<i>Chrysopogon</i>	<i>Digitaria</i>	<i>Arachis</i>
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,8963	0,8966	0,9670	0,9619
	P-valor	0,2313	0,2008	0,8614	0,8077
Anderson-Darling A	Estatística	0,4508	0,4427	0,1934	0,2183
	P-valor	0,2076	0,2261	0,8555	0,7779

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 35 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional massa seca de raiz.

		Massa de raiz seca			
		<i>Paspalum</i>	<i>Chrysopogon</i>	<i>Digitaria</i>	<i>Arachis</i>
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9189	0,9203	0,8925	0,8771
	P-valor	0,3476	0,3595	0,1807	0,1209
Anderson-Darling A	Estatística	0,3355	0,3874	0,5275	0,5579
	P-valor	0,4295	0,3163	0,1324	0,1114

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 36 - Análise de normalidade dos dados referente ao atributo funcional massa aérea seca.

		Massa aérea seca			
		<i>Paspalum</i>	<i>Chrysopogon</i>	<i>Digitaria</i>	<i>Arachis</i>
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9004	0,8766	0,9642	0,8819
	P-valor	0,2214	0,1192	0,8325	0,1373
Anderson-Darling A	Estatística	0,5081	0,5137	0,1935	0,5778
	P-valor	0,1499	0,1446	0,8552	0,0984

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise dos dois tratamentos, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 37 - *Análise de hipótese nula entre as diferentes coberturas quando analisados os atributos medidos somente em dois períodos do experimento.*

			Fevereiro	Junho
Nº de ramos - Chrysopogon	Mann- Whitney	Estatística (z)	1,0383	0,5756
		P-valor	0,2991	0,5649
Altura folhar - Chrysopogon	Teste t	Estatística	0,1034	0,5385
		P-valor	0,9185	0,5954
Nº de perfilos - Arachis	Teste t	Estatística	0,3587	0,5049
		P-valor	0,7229	0,6182

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 38 - *Análise de hipótese nula entre as diferentes coberturas quando analisados os atributos medidos somente no final do experimento.*

		<i>Paspalum</i>	<i>Chrysopogon</i>	<i>Digitaria</i>	<i>Arachis</i>
Comprimento específico de raiz	Estatística	1,3604	0,6254	1,8449	0,9003
	P-valor	0,2108	0,5516	0,1023	0,3979
Comprimento de raiz	Estatística	1,7838	2,1761	0,3401	0,3435
	P-valor	0,1177	0,0612	0,7426	0,7401
Massa de raiz seca	Estatística	2,1881	0,1957	1,8252	0,5938
	P-valor	0,0601	0,8497	0,1054	0,5691
Massa aérea seca	Estatística	1,7945	0,0661	0,6950	0,5196
	P-valor	2,3060	0,9489	0,5067	0,6174

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE H – Análise estatística quanto à cobertura vegetal

A TABELA 39 apresenta os valores de cobertura vegetal total levantado em campo por parcelas, nos meses de fevereiro e de junho. Sendo estes dados utilizados como base para a análise estatística.

TABELA 39 - Taxa de cobertura vegetal de cada parcela experimental correspondente ao levantamento realizado nos meses de fevereiro e junho.

Data de levantamento	Vegetação	Juta			Solo		
		Bloco 1 (%)	Bloco 2 (%)	Bloco 3 (%)	Bloco 1 (%)	Bloco 2 (%)	Bloco 3 (%)
Fevereiro	<i>Chrysopogon</i>	12,50	5,50	9,50	15,00	10,50	14,00
	<i>Arachis</i>	52,00	52,00	47,50	30,00	34,50	57,50
	Controle	4,00	3,00 *	2,00	9,50	29,50	18,50
	Mix	26,50	36,50	34,00	28,00	11,50	46,50
Junho	<i>Chrysopogon</i>	17,00	9,00	10,50	11,00	8,50	9,50
	<i>Arachis</i>	21,50	14,50	16,50	9,00	7,00	27,00
	Controle	8,50	6,50	7,00	5,00	26,00	8,00
	Mix	21,50	23,00	38,50	27,50	14,00	36,00

(*) Estimado

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 40 - Análise de normalidade dos dados referente à cobertura vegetal dos tratamentos.

Análise da taxa de cobertura dos tratamentos				
Método		Fev	Jun	Jun - erro
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,9208	0,8795	0,943
	P-valor	0,06092	0,008101	0,1898
Anderson-Darling A	Estatística	0,6503	1,057	0,5501
	P-valor	0,07877	0,007236	0,1399

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise da ANOVA, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 41 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à cobertura vegetal. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).

Data	Tratamento	SQ	Ngl	MQ	Estat. F	P-valor	dif. sig.
Fevereiro	C	16,67	1	16,67	0,20	0,66	não
	V	5029,58	3	1676,53	19,80	0,00	sim
	CV	564,58	3	188,19	2,22	0,12	não
	Erro	1354,50	16	84,66			
Junho	C	1,26	1	1,26	0,02	0,89	não
	V	1052,53	3	350,84	5,66	0,01	sim
	CV	76,36	3	25,45	0,41	0,75	não
	Erro	991,50	16	61,97			

Fonte: elaborada pela autora.

Para os fatores com mais de um nível que apresentaram diferença significativa, bem como as interações entre os fatores cujo P-valor foi inferior a 0,05, assumiu-se que aqueles que apresentaram diferença entre médias superior ao limite de decisão (Ld), que corresponde a 3 (três) desvios padrões das médias amostrais, as mesmas apresentam diferença significativa entre si. Os valores representados em vermelho na TABELA 42 e TABELA 43 correspondem às médias da taxa de cobertura vegetal que tiveram diferença significativas entre si.

TABELA 42 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da cobertura vegetal foi realizado em fevereiro.

	Chry	Arac	Cont
Arac	34,42		
Cont	0,08	34,50	
Mix	19,33	15,08	19,42

Fonte: elaborada pela autora.

TABELA 43 - Para o fator referente à vegetação, cujo levantamento da cobertura vegetal foi realizado em junho.

	Chry	Arac	Cont
Arac	5,00		

Cont	0,75	5,75	
Mix	15,83	10,83	16,58

Fonte: elaborada pela autora.

A TABELA 44 apresenta os valores de cobertura vegetal da colonização espontânea por parcelas, no mês de fevereiro e junho, do qual não foi considerada a o nível mix do fator vegetação. Os dados foram utilizados como base para a análise estatística.

TABELA 44 - Taxa de cobertura de colonização espontânea de cada parcela experimental correspondente ao levantamento realizado nos meses de fevereiro e de junho.

Data de levantamento	Vegetação	Juta			Solo		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3
Fevereiro	<i>Chrysopogon</i>	12,0	3,5	5,5	14,5	10,0	12,0
	<i>Arachis</i>	12,0	2,0	7,5	10,0	4,5	7,5
	Controle	4,0	3,0	2,0	9,5	29,5	18,5
Junho	<i>Chrysopogon</i>	15,0	5,0	6,5	9,0	8,0	7,5
	<i>Arachis</i>	11,5	4,5	6,5	7,0	3,0	7,0
	Controle	8,5	6,5	7	5,0	26,0	8,0

Fonte: elaborado pela autora.

Para a análise de normalidade dos dados, aceita-se a hipótese de que, quando P-valor for maior que 0,05, os dados são normais.

TABELA 45 - Análise de normalidade dos dados referente à colonização espontânea dos tratamentos.

Análise da taxa de cobertura da colonização espontânea dos tratamentos					
Método		Fev	Fev - erro	Jun	Jun - erro
Shapiro-Wilk W	Estatística	0,862	0,961	0,704	0,911
	P-valor	0,013	0,615	0,000	0,091
Anderson-Darling A	Estatística	0,690	0,245	1,886	0,617
	P-valor	0,059	0,723	0,000	0,092

Fonte: elaborada pela autora.

Para a análise da ANOVA, aceita-se a hipótese nula, ou seja, quando existe diferença significativa entre as medidas das variáveis analisadas quando P-valor for menor que 0,05.

TABELA 46 - Resultado da ANOVA para os dados referentes à taxa de cobertura de colonização espontânea. Os tratamentos corresponderam à cobertura (C) e à vegetação (V).

Data	Tratamento	SQ	Ngl	MQ	Estat. F	P-valor	dif. sig.
Fevereiro	C	133,39	1	133,39	10,16	0,01	sim
	V	16,36	2	8,18	0,62	0,55	não
	CV	88,19	2	44,10	3,36	0,06	sim
	Erro	157,50	17	13,13			
Junho	C	5,01	1	5,01	0,17	0,69	não
	V	38,58	2	19,29	0,65	0,53	não
	CV	48,86	2	24,43	0,82	0,46	não
	Erro	356,17	17	29,68			

Fonte: elaborada pela autora.

Para o fator vegetação que apresenta mais de um nível e cujo P-valor foi inferior a 0,05, assumiu-se que aqueles que apresentaram diferença entre médias superior ao limite de decisão (Ld), que corresponde a 3 (três) desvios padrões das médias amostrais, as mesmas apresentam diferença significativa entre si. Os valores representados em vermelho na TABELA 47 correspondem às médias de cobertura de colonização espontânea que tiveram diferenças significativas entre si.

TABELA 47 - Para o fator referente à interação entre vegetação e cobertura, cujo levantamento da cobertura da colonização espontânea foi realizado em fevereiro.

	Chry - juta	Arac - juta	Cont - juta	Chry - solo	Arac - solo
Arac - juta	0,17				
Cont - juta	4,00	4,17			
Chry - solo	5,17	5,00	9,17		
Arac - solo	0,33	0,17	4,33	4,83	
Cont - solo	12,17	12,00	16,17	7,00	7,00

Fonte: elaborado pela autora.

APÊNDICE I – Cobertura média das espécies colonizadas por tipo de tratamento

TABELA 48 - Cobertura média das espécies colonizadas por tipo de tratamento.

Espécie	Fevereiro		Junho	
	Juta	Solo	Juta	Solo
<i>Aeschynomene</i> sp.	0,00%	0,08%	0,00%	0,13%
<i>Arachis repens</i> Handro	22,03%	16,95%	7,84%	6,80%
<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) Kuntze	0,17%	0,34%	0,26%	0,65%
<i>Bolboxalis</i> sp.	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
<i>Borreria</i> sp.	0,00%	0,08%	0,26%	0,26%
<i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) C.B.Clarke	0,08%	0,25%	0,92%	0,39%
<i>Cantinoa mutabilis</i> (Rich.) Harley & J.F.B.Pastore	0,51%	0,85%	0,13%	0,78%
<i>Carex sororia</i> Kunth	0,08%	0,08%	0,00%	0,00%
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	0,17%	0,25%	0,39%	0,92%
<i>Chromolaena hirsuta</i> (Hook. & Arn.) R.M.King & H.Rob.	0,00%	0,17%	0,26%	0,78%
<i>Chromolaena</i> sp.	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty	1,10%	0,51%	2,61%	1,18%
<i>Commelina erecta</i> L.	0,25%	3,14%	0,00%	0,39%
<i>Crotalaria</i> sp.	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
<i>Cyperus reflexus</i> Vahl	0,08%	0,08%	0,52%	0,26%
<i>Cyperus sesquiflorus</i> (Torr.) Mattf. & Kük.	0,08%	0,25%	0,13%	0,26%
<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
<i>Dichanthelium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
<i>Digitaria eriantha</i> subsp. <i>pentzii</i> (Stent) Kok	13,05%	14,49%	18,69%	20,78%
<i>Diodia dasycephala</i> Cham. & Schltld.	0,00%	0,17%	0,00%	0,13%
<i>Eragrostis polytricha</i> Nees	0,00%	0,00%	0,26%	0,00%
<i>Eryngium nudicaule</i> Lam.	0,08%	0,08%	0,00%	0,26%
<i>Eryngium</i> sp.	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
<i>Eugenia uniflora</i> L.	0,17%	0,25%	1,70%	0,52%
<i>Euphorbia papillosa</i> A.St.-Hil.	0,59%	0,93%	0,52%	0,39%
<i>Galium richardianum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Endl.	0,42%	0,00%	0,13%	0,00%
<i>Glandularia peruviana</i> (L.) Small	0,51%	0,68%	0,65%	1,70%
<i>Paspalum nicorae</i> Parodi	1,95%	2,12%	1,57%	1,83%
<i>Paspalum notatum</i> Flügge	0,42%	0,00%	0,52%	0,26%
<i>Passiflora</i> sp.	0,08%	0,08%	0,13%	0,00%
<i>Pavonia hastata</i> Cav.	0,08%	0,25%	0,65%	0,92%
Planta não-identificada 1	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
Planta não-identificada 2	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
Planta não-identificada 3	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
<i>Poaceae</i> sp.	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Rhynchospora</i> Vahl	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%
<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. & Schltld.) Steud.	1,78%	5,51%	7,19%	2,61%
<i>Richardia humistrata</i> (Cham. & Schltld.) Steud.	1,78%	0,93%	0,26%	0,26%

<i>Scutellaria racemosa</i> Pers.	0,34%	0,08%	0,26%	0,39%
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B.Sm. & Downs	0,34%	0,00%	0,13%	0,00%
<i>Senecio madagascariensis</i> Poir.	0,17%	0,00%	0,65%	0,13%
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen	0,25%	0,00%	0,78%	0,00%
<i>Sida regnellii</i> R.E.Fr.	0,08%	0,34%	0,13%	1,18%
<i>Sida</i> sp.	0,17%	0,08%	0,26%	0,00%
<i>Solanum</i> sp.	0,08%	0,17%	0,26%	0,52%
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br.	0,08%	0,00%	0,00%	1,05%
<i>Stylosanthes montevidensis</i> Vogel	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Tagetes osteni</i> Hicken	0,17%	0,42%	0,52%	0,39%
<i>Vernonanthura nudiflora</i> (Less.) H.Rob.	0,85%	1,44%	1,70%	2,48%
<i>Waltheria communis</i> A.St.-Hil.	0,00%	0,08%	0,26%	0,00%
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	0,08%	0,08%	0,13%	0,00%
Total	48,31%	51,69%	50,72%	49,28%

Fonte: elaborado pela autora.