

PABLO BETTIO MENDES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ELEMENTOS DE BIOENGENHARIA
NO CONTROLE DO PROCESSO EROSIVO DE UM TALUDE DE
ALTA INCLINAÇÃO EM UM CURTO PERÍODO DE TEMPO.**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Geotecnia.

Orientador: Prof. Adj. Alexandre Marco da Silva

Sorocaba
2018



Mendes, Pablo Bettio.

Análise comparativa de elementos de bioengenharia no controle do processo erosivo de um talude de alta inclinação em um curto período de tempo. / Pablo Bettio Mendes, Sorocaba, 2018
93 f. : il.

Orientador: Alexandre Marco da Silva


Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Sorocaba, 2018

1. Biomantas. 2. Erosão. 3. Contenção de taludes. 4. Mitigação de impactos ambientais. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PABLO BETTIO MENDES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de agosto do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) Auditório do ICT - Unesp de Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / ICT - Unesp / Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA do(a) Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar Sorocaba, Profa. Dra. SIMONE ANDREA FUREGATTI do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PABLO BETTIO MENDES, intitulada **APLICAÇÃO DE ELEMENTOS DE BIOENGENHARIA NO CONTROLE DO PROCESSO EROSIVO DE UM TALUDE DE ALTA INCLINAÇÃO EM UM CURTO PERÍODO DE TEMPO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA


Prof. Dr. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA


Profa. Dra. SIMONE ANDREA FUREGATTI

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO: **PABLO BETTIO MENDES**

DE: "APLICAÇÃO DE ELEMENTOS DE BIOENGENHARIA NO CONTROLE DO PROCESSO EROSIVO DE UM TALUDE DE ALTA INCLINAÇÃO EM UM CURTO PERÍODO DE TEMPO"

PARA:

Análise comparativa de elementos de bioengenharia no controle do processo erosivo de um talude de alta inclinação em um curto período de tempo.

Bauru, 24 de agosto de 2018.

Alexandre Marco da Silva
Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva

Orientador

Dedico este trabalho a Deus,
que a cada dia me dá forças para
levantar e trabalhar por um
futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho” – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – UNESP por primar pelo ensino de qualidade, em especial aos professores e colegas que sempre estiveram ao meu lado, em especial a:

- Meu orientador, Professor Dr. Alexandre Marco da Silva, que esteve comigo desde meu primeiro dia na UNESP, por todo o apoio prestado ao longo deste período, pelo conhecimento transferido e, em especial, por sua paciência na conciliação entre vida profissional e acadêmica.
- Ao colega Eng. Lucas Hubacek Tsuchiya que esteve bravamente empenhado no auxílio durante todo o projeto, mesmo diante das dificuldades manteve-se aí, desde a execução até seu desmanche.
- A estagiária Maria Isabel Rodrigues que esteve envolvida no início do projeto, fazendo alguns trabalhos de laboratório.
- A colega Maria Luiza Campanari que auxiliou na fase final do projeto fazendo a interpretação das imagens obtidas ao longo do projeto como parte de seu trabalho de conclusão de curso.
- Ao colega Biólogo Dr. Thiago Philipe de Camargo e Timo pelo excelente trabalho realizado na interpretação estatística dos dados levantados no experimento.
- Aos gerentes do Project Management da Wobben Windpower que autorizaram e apoiaram a minha participação no programa da pós-graduação em paralelo com as atividades de trabalho.

Aos queridos amigos que incentivaram esta jornada desde o seu início em especial a:

- Rafael Mendes dos Santos que pacientemente absorveu os desabafos durante o curso e ao final esteve junto acompanhando a correção gramatical do trabalho realizado.
- Rosiane Argenton e Livia Savioli Manetta que me guiaram sabiamente durante todo o curso, transferindo seus conhecimentos diante de novos desafios.

A FATEC José Crespo Gonzeles de Sorocaba, por ceder uma área para a realização do experimento durante todo o ano de 2017, pela atenção de todos seus funcionários.

Um especial agradecimento a minha família que apoio este novo desafio em minha vida, meus pais Rosa Bettio e Paulo Mendes e a meu irmão Michel Bettio Mendes.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Solos: conceito e indicadores de qualidade.....	18
3.2 Problemas ambientais relacionados ao solo	20
3.2.1 Erosão.....	20
3.2.1.1 Modalidades da Erosão Hídrica	21
3.2.1.1.1 Erosão por salpico (splash).....	21
3.2.1.1.2 Erosão laminar	22
3.2.1.1.3. Erosão Linear	23
3.2.1.2 A erosão no Brasil	24
3.2.2. Plantas invasoras	24
3.3 Formas de controle da erosão e alternativas para o combate às plantas invasoras	25
3.3.1. Controle Mecânico da erosão	26
3.3.2. Controle da erosão através de incremento da cobertura da terra por meio da revegetação.....	26
3.3.3. Controle através de uso de cobertura morta	27
3.3.4. Controle de plantas invasoras	27
3.3.4.1. Aplicação de químicos:	28
3.3.4.2 Controles mecânicos:.....	28
3.4. Fertilidade do solo	28
3.4.1. O monitoramento químico	28
3.4.2 A presença da matéria orgânica	29
3.5. Taludes.....	30
3.6. Uso de biomantas e hidrossemeadura para minimizar os impactos da erosão.....	31

3.6.1	Uso de biomantas	31
3.6.2	Uso de hidrossemeadura	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Escolha e preparação do local para execução do experimento	35
4.2	Construção e descrição das condições das unidades experimentais (parcelas).....	38
4.3	Procedimentos de obtenção de dados e coleta de amostras	48
4.3.1	Pluviometria	48
4.3.2	Coletas de amostras de solo para análises granulométrica, química e de massa específica.....	48
4.3.3	Coleta de amostras de sedimento gerado por erosão nos eventos pluviométricos	50
4.3.4	Análises de laboratório.....	50
4.3.4.1	Determinação do teor de Matéria Orgânica	51
4.3.5	Registro fotográfico e monitoramento da alteração da cobertura da terra.....	52
4.3.6	Análise de imagens em ambiente computacional	54
4.3.7	Tratamento estatístico dos dados	55
4.4	A importância dos primeiros quinze dias do experimento.....	56
5	RESULTADOS e DISCUSSÃO	57
5.1	Pluviometria do período analisado.....	57
5.2	A influência dos primeiros quinze dias.....	59
5.3	Análise do crescimento das sementes e seus percentuais	60
5.4	Quantificação e qualificação de atributos físicos do solo.....	60
5.5	Análise do resultado das parcelas com uso de juta:.....	62
5.6	Análise do resultado das parcelas de controle (solo exposto)	66
5.7	Análise do desempenho das parcelas com uso de hidrossemeadura	68
5.8	Análise dos resultados das parcelas com uso de biomanta (completa) .	71
5.9	Análise dos resultados das imagens da germinação.....	74
5.10	Análise dos atributos químicos	77
5.11.2	Minerais no Solo: MANOVA - Análise Multivariada da Variância ...	81
6	CONCLUSÕES.....	84
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 4.1 Vista aérea parcial do Campus de Sorocaba da FATEC.....	36
Figura 4.2 Croqui esquemático apresentando a inclinação do talude e o sentido do fluxo da água.....	36
Figura 4.3 Local de implantação do experimento em 23/06/2016.....	37
Figura 4.4 Ilustração dos trabalhos de limpeza do terreno para posterior instalação das parcelas experimentais.....	37
Figura 4.5 Ilustração da instalação das parcelas.....	38
Figura 4.6 Croqui apresentando o formato da instalação das parcelas no Campus da FATEC com suas devidas soluções.....	39
Figura 4.7 Apresentação de 3D esquemático das parcelas com medidas reais extraídas do local através do aparelho Garmin Montana 680.....	39
Figura 4.8 Sementes utilizadas na Hidrossemeadura. Fonte: foto Maria Isabel Rodrigues.....	41
Figura 4.9 Porcentagens de sementes conforme a espécie para uma amostra de cem gramas de sementes.....	42
Figura 4.10 Foto do dia da implantação das parcelas de controle P3 e P6...43	
Figura 4.11 Foto do dia da implantação das parcelas com juta natural P2 e P8.....	43
Figura 4.12 Foto do dia da implantação das parcelas com hidrossemeadura P1 e P5.....	44
Figura 4.13 Foto da confecção das biomantas (esquerda) lançamento do capim seco, foto (direita) costura e fechamento da biomanta em forma de sanduiche.....	46
Figura 4.14 Foto do dia da implantação das parcelas com manta biodegradável (biomanta) P4 e P7.....	47
Figura 4.15 Confecção e ensaio de instalação de silt fence, detalhe da instalação onde parte do geotêxtil foi inserido no solo.....	48
Figura 4.16 Imagem do arco circular para limitar a análise da foto.....	53

Figura 4.17 Exemplificação esquematizada dos métodos utilizados no ambiente computacional para gerar os gráficos finais	55
Figura 5.1 Apresentação esquemática dos volumes de chuva, em milímetros registrados no período da pesquisa, durante o verão de 2017.....	59
Figura 5.2 Crescimento de braquiária sob a camada de juta criando ondulações na manta.....	64
Figura 5.3 Fotos das plântulas que germinaram cerca de onze dias após o plantio.....	68
Figura 5.4 Fotos do dia 11/03/2017. Parcela P2, apenas juta (esquerda) e parcela P4, completa (direita).....	73
Figura 5.5 Apresentação do interior da biomanta após 2,5 meses de sua implantação. Foto do autor 13/04/2017.....	74
Figura 5.6 Distribuição de ocupação do talude através de média mensal nas parcelas com uso de biomanta (solução completa).....	76
Figura 5.7 Média mensal dos percentuais de vegetação germinadas nas parcelas com uso de Hidrossemeadura.....	76
Figura 5.8 Evolução dos índices químicos avaliados em laboratório antes e depois do experimento.....	79
Figura 5.9 Volume de sedimento perdido por parcela em mm ³ em relação à ordem dos eventos de precipitação e ao volume dos mesmos em mm ³ , por tratamento.....	80

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 3.1 Variação das perdas de solo em função do uso da terra.....	29
Tabela 4.1 Lista de espécies escolhidas e empregadas nos trabalhos de hidrossemeadura.....	40
Tabela 5.1 Valores dos volumes de chuva registrados entre os dias 31/01 e 21/04 de 2017 através do equipamento TFA Modelo 47.3003 instalado na UNESP de Sorocaba.....	57
Tabela 5.2 Valores de massa específica de solo para cada solução empregada.....	61
Tabela 5.3 Lâmina de chuva e valores de sedimento encontrado para cada parcela e para cada evento chuvoso.....	62
Tabela 5.4 Volume de sedimento perdido por parcela, em mm ³ , em relação à ordem dos eventos de precipitação e ao volume dos mesmos em mm ³ , por tratamento.....	80

RESUMO

A erosão dos solos é fenômeno natural que ocorre tanto em áreas rurais como urbanas, atuando através da remoção e arraste de material, tendo consequências muito sérias ocasionando diversas perdas financeiras e até de vidas humanas. A necessidade de conter ou controlar esse processo de degradação inspirou o desenvolvimento de várias tecnologias ligadas à área de bioengenharia. Duas delas, biomanta e hidrossemeadura, são atualmente vendidas separadamente no mercado provavelmente por razões comerciais, mas possuem o potencial de ser trabalhadas de maneira integrada. O objetivo do presente trabalho foi testar a eficácia do uso integrado de duas técnicas de controle de erosão causada pela água em encostas e taludes: biomanta e hidrossemeadura. O trabalho foi realizado no município de Sorocaba em um talude com forte pendente disponibilizado dentro do Campus da Faculdade de Tecnologia (FATEC). Foram usados materiais de baixo custo, além do uso de rejeitos de material proveniente de cortes de vegetação de baixo porte que muitas vezes não tem um destino adequado. Para tanto foram construídas oito parcelas retangulares de aproximadamente seis metros de extensão por um metro de largura. Duas destas parcelas foram mantidas continuamente descobertas (condição controle de terreno natural) e as outras seis foram cobertas / protegidas com mantas biodegradáveis, sementes ou sistema integrado de palha e sementes. Ao todo foram construídos quatro pares, cada um deles com uma técnica diferente de combate a erosão. Durante a pesquisa, foram avaliadas e quantificadas as mudas das espécies que germinaram, também foi medido o volume de chuva durante o período. Sem prejuízo, fez-se, também, a quantificação do volume do material erodido (sedimento) em cada tipo de recobrimento após cada evento de chuva.

Palavras chave: erosão, contenção de taludes, biomantas, mitigação de impactos ambientais.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural phenomenon that occurs in rural and urban areas, acting through the removal and dragging of material, with very serious consequences causing several losses including human lives. The need to contain or control this degradation process has inspired the development of several technological alternatives linked to the area of bioengineering. Two of them are currently sold separately on the market, probably for commercial reasons, but have the potential to be worked on in an integrated fashion. The aim of the present work is to test the effectiveness of two techniques integrated to avoid erosion caused by water on slopes used together: bio-blanket and hydroseeding. The work was carried out in Sorocaba in a slope with strong inclination made available within the Campus of the *Faculdade de Tecnologia* (FATEC). For the work, low cost materials were used as the litter usually coming from the tailings, vegetation cuts that often did not have an adequate destination. For this, eight rectangular plots of approximately six meters in length by a meter of width each were constructed. Two of these plots were kept continuously discovered (natural land control condition) and the other six were covered / protected with biodegradable blanket, seeds or integrated straw and seed system. Altogether there are four pairs compared, each with a different solution from the each other. During the research, the seedlings of the species that germinated were evaluated and quantified. The volume of rain was quantified and also the volume of the eroded material (sediment) in each type of cover were also measured right after every rain event.

Keywords: erosion, slope containment, bio-blanket, mitigation of environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

A erosão dos solos acarreta muitas perdas. Para tentar controlar esse processo natural de degradação, várias alternativas tecnológicas já foram geradas, algumas com o intuito de, ao mesmo tempo, ajudarem no controle ou minimização do processo erosivo e na recuperação do solo degradado. Uma delas é o uso de biomantas com várias finalidades, entre elas: proteger a superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva, redimir a formação precoce de enxurradas, fornecer suprimento de material orgânico ao solo, evitar perdas de nutrientes do solo, manter a umidade do terreno, dentre outros benefícios.

Além do uso da biomanta apresentado, usualmente são aplicadas sementes de várias espécies sob esta superfície. Essa atividade é denominada hidrossemeadura, e tem por objetivo repovoar o talude com espécies que ajudarão no controle erosivo através de seu enraizamento.

Neste projeto foi testado um tipo de biomanta constituída por uma camada de fibras de gramíneas formadas pelo reaproveitamento de folhas e galhos originados de podas e cortes de árvores e vegetação em geral onde um coquetel de sementes foi agregado à estas fibras.

A proposta de projeto pode ser enquadrada como uma pesquisa na Área de Engenharia Natural de acordo com a Federação Europeia que a regulamenta (EFIB). Entende-se por Engenharia Natural a disciplina da Engenharia orientada pela Biologia cujo domínio constitui as intervenções geotécnicas e de mecânica de solos (Florineth, 2004).

Tivemos como objeto da pesquisa a criação de uma nova técnica com eficácia comprovada, de baixo custo e fácil implantação para reduzir processos erosivos em taludes de estradas, encostas de rios, taludes artificiais de terraplanagem de pátios industriais, residências entre outros. Pode ser benéfico para diversos tipos de público tais como: grandes agricultores, pequenos produtores rurais, construtoras prediais, administradoras de estradas, prefeituras, departamento de vias e rodagem, etc.

Partiu-se da hipótese de que as duas técnicas atualmente oferecidas separadamente no mercado, se trabalhadas conjuntamente, terão mesma eficiência (ou melhor) do que se compradas e aplicadas em separado, porém

com um volume de trabalho e custo menor, portanto ganhando potencial no mercado. Além disto, tratando-se de produto com baixo valor agregado em seus insumos o público alvo será ampliado, beneficiando maior número de pessoas, trazendo um retorno significativo à sociedade.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Criar e avaliar o desempenho de um novo produto para minimizar problemas de degradação do solo e regeneração de taludes através da aplicação simultânea de produtos conhecidos no mercado.

2.2 Específicos

- Comparar o desempenho de diferentes soluções no controle erosivo, comparando-se entre si e com o terreno natural exposto.
- Analisar o desempenho de malhas biodegradáveis na contenção de erosão e recuperação de solos degradados em encostas, estabilização de taludes e escarpas, margens, diques, aterros, assim como em outros espaços usando técnicas de bioengenharia que integram dois sistemas hoje existentes no mercado: biomanta e hidrossemeadura.
- Avaliar o sucesso de germinação de sementes quando submetidas ao tratamento de hidrossemeadura simples e conjugada com a biomanta. Acompanhar o crescimento de espécies invasoras na área monitorada tais como braquiária.
- Avaliar, através da perda de Carbono, a dinâmica da matéria orgânica do solo após cada evento de chuva.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Solos: conceito e indicadores de qualidade

Brevemente, podemos conceituar o solo como sendo um corpo tridimensional cuja gênese e evolução ocorreram e vem ocorrendo através de processos físicos, químicos e/ou biológicos. Os agentes de formação são basicamente cinco: clima, fatores topográficos, a comunidade biótica, rocha matriz subjacente (ou partículas provenientes de outras regiões transportadas pela água, pelo vento, pelo gelo e/ou pela fauna) e atualmente por atividades antrópicas. No perfil vertical de um solo é possível visualizar a existência de camadas horizontais, que são diferenciadas em função do tipo de cobertura que predomina sobre sua superfície, clima local e rocha matriz, entre outros fatores (Palm *et al.*, 2007).

O solo é o principal ator no processo erosivo, pois é ele que oferece maior ou menor resistência ao efeito da chuva. Esta influência se deve a diversas peculiaridades de sua composição, tais como: permeabilidade, propriedades físicas, químicas, biológicas, mineralógicas, textura, estrutura dentre outras (Capaz e Nogueira, 2016).

A textura, a granulometria e a coesão das partículas influenciam na capacidade de infiltração e absorção de água da chuva, e conseqüentemente, interferem diretamente no processo de erosão (Tundisi e Tundisi, 2011).

A porosidade é outro fator que exerce grande influência no processo erosivo, uma vez que terrenos arenosos, por exemplo, por serem mais porosos, possuem grande absorção de água, o que dificulta o escoamento superficial, o mesmo ocorrendo com os Latossolos, devido a sua estrutura micro-agregada ou granular e sua alta percentagem de poros (Chauvel, 1982).

A permeabilidade, por sua vez, determina a maior ou menor capacidade de infiltração de água no solo. Ela e a porosidade do solo são fortemente controladas pelo teor e distribuição dos argilominerais contidos no solo (De Toledo Carvalho *et al.*, 2016).

A massa específica do solo, relação entre a sua massa total e seu volume, também exerce influência no processo erosivo e é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade, devido a compactação do solo, ou

seja, seu aumento, que pode ser verificado quando os macroporos são reduzidos, significa menor permeabilidade e maior suscetibilidade à erosão (Beutler, 2001).

Já as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo interferem diretamente na união entre as partículas no seu estado de agregação, aumentando ou reduzindo a resistência do solo ao processo erosivo.

Necessário observar, também, que a matéria orgânica presente no solo e que já tenha sido incorporada a ele torna-o mais estável na presença de água, e mais poroso (Beutler, 2001).

Outra característica que exerce bastante influência no solo é a sua espessura. Solos rasos, por exemplo, são vulneráveis de sofrerem rápida saturação de água, favorecendo o desenvolvimento de escoamento laminar (Massad, 2010).

Outro aspecto bastante importante no processo erosivo é a localização da camada impermeável do terreno. Quanto mais próximo da superfície ela estiver, menos água será necessária para saturá-lo, e o excedente influenciará diretamente o processo erosivo por intermédio do escoamento superficial, que será abordado a seguir (Andrade, 1998).

Outros elementos também favorecem a geração de sulcos erosivos, como por exemplo, as trilhas, especialmente as de gado, de pedestres, de acessos, onde há concentração de águas pluviais. A ação antrópica como já mencionado é a causadora dos eventos mais agressivos, provenientes principalmente da remoção da camada vegetal, do manuseio inadequado do solo, do pastoreio excessivo de animais e da abertura de estradas e loteamentos (Magalhães, 2001).

Por fim, alguns solos estão mais propícios ao processo erosivo, como é o caso dos solos arenosos, sobretudo os constituídos por areia de granulometria predominantemente mais fina, majoritariamente secos, ácidos e pouco coesivos.

3.2 Problemas ambientais relacionados ao solo

3.2.1 Erosão

O termo erosão originou-se segundo Zachar (1982), do latim, do verbo *erodere*, que significa escavar. É um dos principais fenômenos geológicos que ocorre na Terra (Rodrigues, 1982). Para a área de Engenharia Geotécnica, erosão do solo pode ser compreendida como sendo um fenômeno físico de evolução natural em que ocorre transporte de partículas do solo através da ação de agentes erosivos como a água, o vento, o gelo/neve e a gravidade (Tóth e Van Beek, 2012 *in* Simões, 2013). Tal fenômeno é influenciado pelas características dos terrenos, tais como: inclinação, comprimento de rampa, formato da encosta, propriedades físicas e químicas do solo local, formas de manejo e cobertura vegetal.

A erosão é um processo mecânico caracterizado pelo desgaste e desagregação do solo, ocorrendo tanto na superfície quanto em profundidade, podendo ser considerado um processo natural indispensável à formação do solo, que só ocorre quando sua taxa de remoção excede à de sua de formação. De acordo com Odum (1988), o processo erosivo poderá ocorrer mesmo em ecossistemas naturais, sem a interferência do homem. Contudo, a ação antrópica, causadora de desequilíbrios ambientais, pode acelerar o processo erosivo (Vitte, 2007), designando-se assim, a erosão, como erosão antrópica.

No caso, por exemplo, das paredes de córregos e rios, o processo erosivo causa enorme instabilidade e, conseqüentemente, suscetibilidade a movimento de massa, ocorrendo, portanto, desprendimento e escorregamento. Como consequência, dentre outras, há considerável perda de solo, perda de nutrientes, assoreamento de rios e destruição de nascentes (Guerra, 2013).

No que se refere ao tema, é importante o conhecimento de alguns outros conceitos, como o de erosão bruta e sedimentos. O primeiro se refere à quantidade total de matéria desprendida e removida pela ação dos agentes erosivos, em uma determinada área relacionada a um determinado período de tempo. Já o segundo, sedimento, é o nome dado detrito rochoso resultante da erosão; é material removido, transportado e depositado.

Quanto ao processo erosivo em si, o impacto das gotas da chuva no solo corresponde apenas ao seu estágio inicial, que poderá evoluir com o passar do tempo. O tipo de solo e a sua cobertura vegetal interferem também nesse processo, assim como o arranjo interno das partículas do solo, a germinação das sementes, o enraizamento e a fixação da cobertura vegetal. Os terrenos argilosos, por exemplo, reduzem a capacidade de infiltração, o que provoca um aumento do escoamento superficial, assim favorecendo o processo erosivo (Simões, 2013).

O declínio da fertilidade do solo, decorrente do processo erosivo associado a práticas agrícolas inapropriadas, causa graves avarias ou até a destruição total de grandes áreas anteriormente férteis para a agricultura. Assim, com o passar dos anos, áreas de cultivo podem ser incapazes de reestabelecer o mesmo índice de fertilidade antes existente (Odum, 1988).

Especificamente quanto a erosão hídrica linear, tema deste estudo, observa-se que se desenvolve na seguinte sequência: formação de canal onde há concentração de escoamento, incremento rápido da profundidade e largura onde a cabeceira move-se para montante; declínio do aumento com a presença de vegetação natural, estabilização e reequilíbrio após desenvolvimento da vegetação (Goco, 2013). Segundo o site www.soilerosion.net este tipo de erosão inicia-se por dois fatores distintos: o primeiro é quando a intensidade da chuva é muito elevada e o solo não consegue infiltrar toda a água em tempo suficiente para que a mesma não corra; e segundo, quando o solo já está saturado ou congelado e não suporta mais absorver água.

3.2.1.1 Modalidades da Erosão Hídrica

3.2.1.1.1 Erosão por salpico (splash)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), os danos causados pelas gotas de chuva que se chocam no solo constituem o primeiro passo no processo erosivo, independentemente do grau de inclinação do terreno elas

são o principal agente de remoção das partículas do solo, por salpico, sendo o destacamento maior quanto mais intensa for a precipitação.

Assim, a erosão por salpico (*splash*) corresponde à desintegração ou remoção e movimento pelo ar de pequenas partículas de solo (podendo ser projetadas até cerca de um metro ou mais de distância) causada pelo impacto das gotas da precipitação nos solos (Ramos, 2008).

3.2.1.1.2 Erosão laminar

A erosão laminar é vista como o processo de remoção de uma camada fina e quase uniforme de solo superficial, através da ação da precipitação (que pode ser por salpico) e transporte pelo escoamento superficial difuso. Sendo assim, ela é uma das formas mais prejudiciais de erosão do solo por ação hídrica. Muitas vezes, é difícil reconhecer esse tipo de erosão, deste processo erosivo, pode levar a exposição do subsolo (Desta e Adugna, 2012).

Esse processo erosivo está muito ligado a práticas indevidas do uso do solo, remoção da vegetação, mau uso na agricultura e pecuária e, locais onde o solo se encontra solto, ou seja, pouco coerentes, estão mais suscetíveis a este tipo de erosão.

Os principais indícios da ocorrência da erosão laminar são: queda brusca na fertilidade do terreno, mudança na coloração do solo, aparecimento das raízes das plantas, marca no caule das plantas onde o solo tenha sido arrastado e dificuldade na reposição da cobertura vegetal (Ministério de Agricultura y Riego de Peru, 2014).

A característica principal da erosão laminar é a velocidade de atuação, arraste uniforme e suave em toda a extensão. A matéria orgânica e as partículas de argila são as primeiras porções do solo a se desprenderem, sendo as partes mais ricas e com maiores quantidades de nutrientes para as plantas. Por se tratar de uma atividade lenta, muitas vezes ela não é percebida, por isto, ao menor sintoma, listado anteriormente, é necessário observar o

local, para que o processo não evolua para outro tipo causando ainda mais prejuízo (Magalhães, 2001).

Por fim, é importante ressaltar, que as perdas de solo por erosão laminar são determinadas por alguns fatores específicos destacando-se a chuva, a cobertura do solo a topografia e os tipos de solos (Guerra *et al.*, 2001).

3.2.1.1.3. Erosão Linear

A erosão por sulcos, é um dos tipos de erosão linear causada pelo escoamento superficial, comum em terrenos com inclinações elevadas, no qual se formam numerosos canais aleatórios que podem ter apenas alguns centímetros de profundidade. A existência de processos de fragmentação ou remoção e de transporte de partículas do solo, por ação do escoamento superficial concentrado, origina a erosão por sulco (Cerdá, 2017).

Outro tipo de erosão, considerados os principais processos de erosão linear, são conhecidos por ravinas ou barrancos, que corresponde à formação de canais, tal como a formação de um sulco (embora as profundidades atingidas sejam consideráveis), no qual os impactos relacionados a erosão são ainda mais devastadores. Encontrada frequentemente em materiais característicos, com fraca coerência, tais como os solos pouco consolidados (arenosos) ou solos grosseiros a muito grosseiros (cascalhos), este tipo de erosão apresenta a sua secção numa primeira fase em forma de V, podendo, ainda, ser estreita, sendo certo que a cada ano, o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas podendo atingir alguns metros de profundidade (Bagarello e Ferro, 1999 *in* Alho, 2006).

Por fim, temos a voçoroca, que é o estágio mais avançado de erosão acelerada; é a fase causadora de maiores danos e corresponde à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático. Existem três tipos de voçorocas: ovoides, coalescentes e lineares (Marques, 2017).

3.2.1.2 A erosão no Brasil

Apesar de a erosão ser um problema mundial, ela é muito mais expressiva em países de clima tropical. Embora o tema seja objeto de diversas publicações em várias partes do mundo, o Brasil ainda carece de uma obra que apresente, em um mesmo material, a relação entre o clima e os desastres causados pela erosão.

Diversos fatores explicam a vulnerabilidade de nosso país a este fenômeno, tais como o regime hidroclimatológico, geomorfológico e as taxas de ocupação de terrenos (Guerra e Cunha, 1998). O processo erosivo causado pela água das chuvas ocorre em sua maioria na superfície da terra, principalmente nas regiões de clima tropical, onde as chuvas atingem índices pluviométricos elevados (especialmente durante seus verões quentes e úmidos). Este alto índice de chuvas, somados à concentração de chuvas em um determinado período do ano, é um grande agravante dos processos erosivos do solo.

A dinâmica da erosão seria perfeita caso não houvesse a ação antrópica, pois o sistema ambiental manter-se-ia em equilíbrio dinâmico caso não houvesse a mão do homem. Porém, devido à interferência humana, mais áreas são desmatadas para a produção agrícola, e o fenômeno erosivo somente aumenta.

O acelerado e descontrolado processo de urbanização verificado nas últimas décadas no Brasil levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, áreas essas invadidas pelo homem, tendo como consequência o aumentando das situações de perigo e de risco a desastres naturais (Guerra, 2013).

3.2.2. Plantas invasoras

Segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB (MMA, 2018), "Espécie Exótica Invasora", é definida como sendo aquela que ameaça ecossistemas, habitats ou espécies. Por suas vantagens competitivas e favorecidas pela ausência de inimigos naturais, elas têm capacidade de se proliferar e invadir ecossistemas.

As plantas invasoras de áreas agrícolas, urbanas e/ou faixas lindeiras (beira de estradas) são, sem dúvida, um dos maiores problemas ambientais encontrados para as atividades agrícolas, de paisagismo e de manutenção de estradas. Usualmente, tais plantas possuem um incremento descontrolado e tendem a reduzir a produtividade agrícola e ou pecuária, além de facilitarem a propagação de fogo e de doenças e de constituírem uma ameaça à biodiversidade local. O manejo e controle, embora necessários, são itens caros e complexos, nem sempre obtendo resultados desejados (Kettenring e Adams, 2011).

Provenientes de todas as partes do mundo são inúmeras as espécies de plantas invasoras, as quais foram espalhadas de maneira voluntária ou mesmo involuntária. Porém, especificamente para o território brasileiro, as gramíneas africanas do gênero *Brachiaria* sp. têm merecido destaque há tempos (Williams e Baruch, 2000).

A proliferação destas espécies invasoras está entre as principais causas de perda de biodiversidade. Mesmo áreas protegidas têm sofrido sérias consequências decorrentes de sua influência, como a alteração da composição de espécies e dos processos ecossistêmicos, e em casos extremos, devido ao seu domínio, a extinção local de espécies (Sampaio e Schmidt, 2014).

3.3 Formas de controle da erosão e alternativas para o combate às plantas invasoras

Controle de erosão do solo é um processo comumente empregado na construção civil, no paisagismo e em outros campos destinados a impedir que o solo, rochas, plantas, materiais orgânicos e outros elementos ambientais sejam removidos pelo vento ou por intermédio do fluxo de água proveniente da chuva.

3.3.1. Controle Mecânico da erosão

Trata-se do controle de erosão mediante a implementação de obras de engenharia. Existem diferentes técnicas atualmente empregadas para o controle mecânico de erosão e recuperação de solos degradados, como por exemplo, a instalação de sistemas de drenagens e também o uso de muros de contenção (que pode ser de pedras, gabiões, de concreto armado, com toras de madeira, com sacos de areia, com pneus descartados, etc.) (Quinta-Nova, 2013).

3.3.2. Controle da erosão através de incremento da cobertura da terra por meio da revegetação

Alternativa amplamente utilizada para contenção de encostas, o controle da erosão por meio da revegetação, é uma técnica altamente efetivas no controle do processo erosivo (Dabney e Gumiere, 2013), pois sua aplicação, que, como o próprio nome sugere, faz uso da vegetação, reduz significativamente a movimentação de material e, conseqüentemente, as quantidades de sedimentos gerados (Fullen e Booth, 2006).

Para viabilizar o crescimento e a fixação da vegetação em locais com inclinação elevada, é comum o uso de materiais previamente confeccionados, chamados de biomantas, que podem ser encontradas no mercado de duas formas: sintéticas ou naturais. Especificamente em relação à biomanta natural biodegradável, observa-se que é comercializada regionalmente, ou seja, cada local possuiu um tipo peculiar deste produto, sem necessidade de material de outros estados do país, o que viabiliza o seu uso (Mariani, 2016).

O uso da vegetação para recobrimento do solo proporciona a melhor proteção contra a erosão pluvial laminar e também contra a erosão eólica. Entretanto, o uso de vegetação não adequada, objetivando o recobrimento do solo, pode ocasionar resultados negativos em termos de conservação deste recurso natural (Morgan e Rickson, 1995).

As raízes, responsáveis pela absorção de nutrientes e de água, possuem função importante no processo de contenção de taludes. Os maiores benefícios se dão em função do incremento na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo, notadamente o fósforo, e do abrandamento dos problemas relacionados com o pH, Al e Mn nos solos ácidos, além de benefícios não-nutricionais (Siqueira e Franco, 1988; Furtini Neto *et al.*, 2000).

3.3.3. Controle através de uso de cobertura morta

Uma técnica simples e eficaz que pode ser empregada para se promover a conservação do solo é a utilização da cobertura morta sobre o mesmo (Galeti, 1972; Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Segundo vários autores, citados por Lombardi Neto *et al.* (1990), o principal efeito da cobertura morta é a absorção da energia cinética da chuva, induzindo a uma redução da desagregação do solo e, conseqüentemente, a uma diminuição da quantidade de solo transportado pela água da chuva. Ettlín e Stewart (1993), utilizando resíduos de podas de vegetação de jardins e praças como cobertura morta, obtiveram pequena perda de solo, mesmo quando colocados em terrenos com alta porcentagem de declividade (42%), evidenciando, assim, o potencial de amenização deste tipo de material no processo erosivo e a viabilidade de sua utilização para fins de conservação do solo. Por outro lado, ainda não há informações quantitativas sobre o comportamento deste tipo de material, em especial quanto à capacidade de reduzir a erosão por salpicamento.

Atente-se finalmente que a simples presença de resíduos vegetais sob a superfície aumenta a rugosidade hidráulica deste terreno, reduzindo a velocidade do fluxo superficial (Foster, 1982; Volk *et al.* 2004).

3.3.4. Controle de plantas invasoras

Existem diversas formas para controlar o alastramento ou o início da invasão destas espécies, sempre objetivando sua erradicação. Alguns deles são apresentados a seguir.

3.3.4.1. Aplicação de químicos:

Os herbicidas são a principal ferramenta usada para o controle de espécies invasoras. Entre as vantagens da aplicação de produtos químicos pode-se destacar: eficiência, praticidade, rapidez da aplicação e possibilidade de ser bem distribuído, e de ser aplicado em qualquer época do ano. Entre as desvantagens estão o custo, que é geralmente mais elevado que outras práticas, a possibilidade de ser tóxico ao meio ambiente e contaminar cursos d'água, a necessidade de equipamentos especiais para sua aplicação e de itens de segurança, bem como a possibilidade de deixar resíduos no solo e nos alimentos cultivados (Agostinetto, 2015).

3.3.4.2 Controles mecânicos:

Segundo Fleck (1992), os principais mecanismos de controle de espécies invasoras por método físico/mecânico são:

- Enterrio: lançar camada espessa de solo sob a vegetação, devido à falta de luz solar, a fotossíntese para de ocorrer e, então as plantas morrem.
- Corte: supressão total entre parte superior da planta e sua raiz.
- Dessecação: a planta morre por falta d'água.
- Supressão: corte da parte superior e lançamento no próprio local, onde haverá um bloqueio da luz.
- Fogo: é uma das formas mais antigas utilizadas pelo homem.

3.4. Fertilidade do solo

3.4.1. O monitoramento químico

À medida que a fertilidade declina, a estrutura edáfica enfraquece e o solo fica mais sujeito aos efeitos da erosão, formando um efeito em cadeia que pode culminar, em casos extremos, na desertificação da área (Galetti, 1972).

Jorge (1969) cita que a perda de solos e nutrientes em função da erosão em áreas sem nenhum tipo de vegetação é sempre muito maior que a perda causada por qualquer tipo de cultivo (Tabelas 3.1).

Tabela 3.1. Variação das perdas de solo em função do uso da terra:

Uso da Terra	Perdas médias em Kg*Ha⁻¹*Ano⁻¹
Mata natural	< 400
Pastagem	400 a 700
Cafezal	900 a 1100
Algodão	26600 a 38000

Fonte: Modificado de Lepsch (1993)

Osborne (2015) mostra que em uma área florestada que sofre um corte massivo de sua vegetação, o aporte de Nitrogênio para os corpos d'água das vizinhanças é 15 vezes maior do que quando a área estava em seu estado natural. Isto ocorre porque a água que deveria ser retida pela vegetação ou pelas raízes transita livremente sem que ocorram restrições, o que faz com que mais matéria química seja carregada.

As plantas necessitam de dezesseis elementos químicos para sua nutrição, subdivididos em duas classes distintas: micronutrientes e macronutrientes. Os macronutrientes são aqueles absorvidos em grandes quantidades tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (Primavesi, 2002). Já os micronutrientes são aqueles absorvidos em quantidades muito menores, como, por exemplo, ferro, cobre, manganês, zinco, boro, molibdênio e cloro que, quando em quantidades superiores ao seu necessário podem ser prejudiciais a fertilidade do solo (Kiehl, 1985).

3.4.2 A presença da matéria orgânica

Segundo a Encyclopedia of Soil Science (ESC, 2008), a matéria orgânica do solo (MOS) pode ser todo o material de origem animal ou vegetal incorporado ao solo, seja na forma viva ou em processo de decomposição.

A presença da matéria orgânica está diretamente ligada à fertilidade do solo, pois possui a capacidade de fornecer nutrientes que auxiliam o crescimento da vegetação. No entanto, as trocas catiônicas (CTC) são o principal benefício da presença da material orgânica no solo (Leite, 2004).

Um desses nutrientes, o carbono orgânico, representa, em média, 58% da composição da matéria orgânica e, portanto, sua presença interfere diretamente na fertilidade do solo, razão pela qual ações antrópicas ou o intemperismo, que podem causar ou acentuar a perda deste nutriente, devem ser, ao máximo, minimizados (Rheinheimer, 2008).

3.5. Taludes

Talude constitui um terreno inclinado, de área variável, que serve para dar sustentação e estabilidade ao solo próximo as suas partes mais elevadas (platô) (Corrêa, 2006).

Em taludes expostos, desprovidos de qualquer vegetação, o solo fica exposto e sujeito a quaisquer tipos de intempéries, sobretudo das águas da chuva que, por não encontrarem nenhum tipo de cobertura, acabam escoando ao longo do mesmo.

Quanto mais longo for o talude ou maior sua inclinação, piores são os efeitos; o escoamento acaba levando consigo partículas de solo, provocando o início de sulcos pouco profundos, que podem evoluir para ravinas e voçorocas. Esse processo de erosão, caracterizado por um movimento de massa, nos períodos de chuva intensa, compromete a estabilidade dos taludes assim como sua fertilidade (Neves *et al.*, 2006).

A camada superficial do talude retém a maior quantidade de nutrientes e, quando saturada pela água das chuvas, estão mais suscetíveis a processo erosivo e por consequência a perda de fertilidade.

Além das fracas características coesivas do material que recobre os taludes, o excesso de declive pode causar a erosão, que, muitas vezes,

comprometem a fertilidade do solo, devido às perdas de nutrientes importantes (Einloft *et al.*, 1997; Neves, 2006).

Sendo assim, os taludes e patamares artificiais devem, em toda a sua extensão, ser cobertos por vegetação adequada imediatamente após a sua construção, como é o caso de taludes de rodovias, de aterros sanitários, de edificações prediais, dentre outros (Alberte *et al.*, 2005).

Taludes íngremes apresentam fortes restrições à incorporação de matéria orgânica e à fixação de sementes. Por isso, o processo de hidrossemeadura, que se trata de uma técnica de inserção de sementes ao solo através de processos mecanizados, tem sido recomendado para a vegetação destas áreas, como se pode observar em taludes artificiais de rodovias do estado de São Paulo (Ibama, 1990).

A inclinação do terreno, além de poder reduzir a capacidade produtiva para as culturas, dificultando a proliferação das espécies, pode, também, determinar o seu potencial erosivo. Assim, quanto maior for o ângulo de declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte (Silva, 2016).

3.6. Uso de biomantas e hidrossemeadura para minimizar os impactos da erosão

3.6.1 Uso de biomantas

Uma das alternativas usadas para minimizar os impactos da erosão é o uso das biomantas. Trata-se de uma técnica utilizada principalmente no controle de erosão de rodovias que, de acordo com o site “Geofoco” (<http://geofoco.com.br/>), pode ser entendida como o uso de esteiras constituídas de fibras vegetais desidratadas, entrelaçadas por meio de costuras de fios, látex natural, colas ou ainda grelhas (malhas). Estas biomantas protegem o solo da erosão superficial retendo a umidade por mais tempo, o que propicia condições mais adequadas de germinação e desenvolvimento das espécies vegetais semeadas. Somado a isto, as biomantas, por serem

degradáveis, fornecem nutrientes e, conforme ocorre o processo de decomposição do material sobre o solo, servem de fonte de matéria orgânica para o mesmo, auxiliando na sua estruturação. Podem ser fabricadas utilizando diversos produtos tais como: celulose, sisal, fibra de coco, juta, taquara, colmo de diversas plantas, etc.

Além das biomantas naturais (biodegradáveis), também é possível encontrar no mercado biomantas sintéticas, formadas por algum tipo de polímero que não são degradadas ao longo do tempo (Sobral, 2012).

Além de evitar a erosão superficial, as biomantas proporcionam sombreamento e, também, a retenção da umidade no solo, além de facilitarem a germinação de sementes no local. Como se não bastasse, protegem o solo contra o impacto direto da chuva e mantêm suas propriedades químicas, retendo as sementes lançadas.

As biomantas podem ser aplicadas em qualquer declividade, sendo muito comum sua utilização nas laterais das pistas de rodagem de autoestrada, pois as pendentes destes locais são bastante acentuadas, quase em angulação de noventa graus, mais suscetíveis, portanto, ao processo erosivo, sendo necessária a implantação diretamente sobre a superfície que se deseja proteger (Álvarez-Mozos *et al.*, 2014).

A composição, degradabilidade, gramatura e resistência das biomantas devem adequar-se às necessidades dos projetos de recuperação e proteção ambiental específicos, já que esses se destinam a diferentes necessidades e situações.

Em alguns casos, a juta, que consiste em uma malha de tecido biodegradável, pode influenciar negativamente no crescimento da vegetação a depender do espaçamento da abertura, uma vez que ela pode impedir a entrada das sementes implantadas ou que as mesmas cheguem ao solo ou, ainda, que a vegetação cresça e não faça o transpasse entre o pequeno espaço do trançado da manta. Outro aspecto também observado e que pode ser apresentado como uma consequência negativa do uso da biomanta é a retenção da umidade e a consequente criação de fungos abaixo dela. Em contrapartida, as vantagens são diversas, tais como a redução da evaporação

do solo, retendo a água por mais tempo, redução do efeito *splash* e redução da erosão como um todo. (Álvarez-Mozos *et al.*, 2014).

3.6.2 Uso de hidrossemeadura

A hidrossemeadura é uma técnica de revegetação que permite rapidez e economia no revestimento vegetal de áreas extensas. De acordo com Verdyol (2002), consiste em um processo de revestimento vegetal, em situações em que haja necessidade de recobrimento rápido para diminuir ou evitar processos erosivos, utilizando jato ou propulsão de um composto de água com sementes e algum material aderente. Esta técnica surgiu nos últimos 15 a 20 anos e sua introdução se deve a grupos de empreiteiros sensibilizados com o problema do revestimento vegetal (Basso, 2008).

O sistema de hidrossemeadura é amplamente empregado como revestimento vegetal em alguns tipos de solo devido principalmente à facilidade de se promover o restabelecimento vegetal em áreas de cortes e aterros com inclinações acentuadas, onde o processo de plantio manual é lento e perigoso. Essa facilidade, a rapidez de execução, a uniformidade dos resultados obtidos e o maior controle do material semeado, propiciam um menor custo em comparação com outros métodos de revestimento vegetal (Alves Júnior, 1997).

As espécies empregadas na técnica de hidrossemeadura devem ser capazes de se desenvolver e de se adaptar a condições adversas, geralmente características das áreas a serem semeadas. As espécies potenciais devem se caracterizar por: rusticidade, rápido desenvolvimento, agressividade, fácil propagação, fácil implantação, baixo custo, adaptabilidade ao clima da região, fácil integração na paisagem e poucas exigências nas condições de solo (Alves Júnior, 1997).

A estabilização de áreas em taludes com o uso da hidrossemeadura realiza-se em um primeiro momento através do uso de gramíneas e leguminosas e, posteriormente, pelo do plantio de árvores (Barth, 1986).

Além disto, as espécies escolhidas devem ter suas características relacionadas quanto ao seu enraizamento analisadas, sendo certo que seu alto

potencial de germinação garantirá afixação das espécies ao solo e por consequência menores níveis de erosão (Fullen e Booth, 2006).

As raízes promovem maior infiltração da água no solo, especialmente as das gramíneas, que possuem uma arquitetura favorável à fixação (Melo, 2014), pois o volume de raízes desenvolvidas é superior ao da parte aérea, aumentando a estabilidade da região. O que reforça a indicação deste grupo de plantas para o combate a erosão é o sistema radicular fasciculado, onde as secundárias, bastante ramificadas e abundantes, desenvolvem-se com facilidade, o que reduz a quantidade de material erodido, visto que este tipo de raiz fica na camada mais superficial do solo, contribui para sua estrutura e aumenta a coesão entre as partículas do solo e a resistência ao cisalhamento (Gyssels *et al.*, 2005; Fullen e Booth, 2006).

Ao contrário da maioria das gramíneas, as leguminosas possuem o desenvolvimento das chamadas raízes primárias, o que significa que elas não crescem lateralmente, sendo, portanto, chamadas de pivotantes, permitindo a exploração de camadas mais profundas e com solo mais compactado (Kretschmer e Pitman, 1995).

Enquanto o papel das raízes da maioria das gramíneas se restringe à proteção superficial, as raízes das leguminosas exploram camadas mais profundas, o que proporciona maior estabilidade aos taludes. Segundo Morgan e Rickson (1995), as árvores adicionam cargas ao talude aumentando seu peso e influenciando diretamente nas pressões internas do mesmo.

Segundo Coelho e Pereira (2016), o aumento da resistência ao cisalhamento e a estabilização de movimentos de massa são feitos pelas raízes pivotantes, que atuam como tirantes vivos, promovendo o ancoramento dos materiais do talude.

As sementes recalcitrantes são aquelas que possuem teores de água definidos como críticos. Fora dos quais a viabilidade é reduzida (De Medeiros, 2015). De acordo com Roberts (1973), são sementes incapazes de sobreviver ao armazenamento em ambientes relativamente secos e em nenhum momento se verifica sua tolerância à dessecação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Escolha e preparação do local para execução do experimento

O local de estudo, município de Sorocaba, possui verões quentes e bastante úmidos, com índice pluviométrico médio registrado de 1.300 mm por ano. Aproximadamente 60% deste total estão concentrados entre os meses de Dezembro e Abril, onde a ocorrência de temporais e chuvas de verão é frequente (Malvestio, 2013).

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os maiores acumulados de precipitação em 24 horas foram 104,4 mm em 14 de janeiro de 1981 e 101,4 mm em 2 de março de 1983. No período do estudo (26 de janeiro e 10 de abril de 2017), o maior volume registrado em 24 horas foi de 64,3 mm, no dia 05 de março.

A área do experimento situa-se dentro do Campus de Sorocaba da Faculdade de Tecnologia - José Crespo Gonzales – FATEC (Figura 4.1), localizada na Avenida Engenheiro Carlos Reinaldo Mendes, 2015 - Além Ponte, mais precisamente aos fundos do prédio de Tecnologia da Informação, tendo em uma de suas arestas as seguintes coordenadas geográficas S 23° 28.799' e W 47° 25.646', com altitude registrada em 587 m acima do nível do mar.

Para a elaboração do estudo, um acordo foi firmado entre a FATEC e os alunos da UNESP, no qual foi estipulado o período de uso da terra (de janeiro até dezembro de 2017), com posterior criação de um cronograma de instalação e acompanhamento.

O local mostrou-se apropriado, pois possuía declividade acentuada e cobertura do solo compatível para a execução do experimento (antes do experimento, o local era coberto por gramíneas, que foram removidas). As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram a configuração da área em termos de declividade.



Figura 4.1. Vista aérea parcial do Campus de Sorocaba da FATEC, obtida junto ao sistema GoogleEarth, destacando a área (retângulo amarelo) onde as parcelas experimentais foram instaladas. Observa-se, ainda, no rodapé da imagem, as coordenadas geográficas (em UTM, zona 23K) do local do experimento.

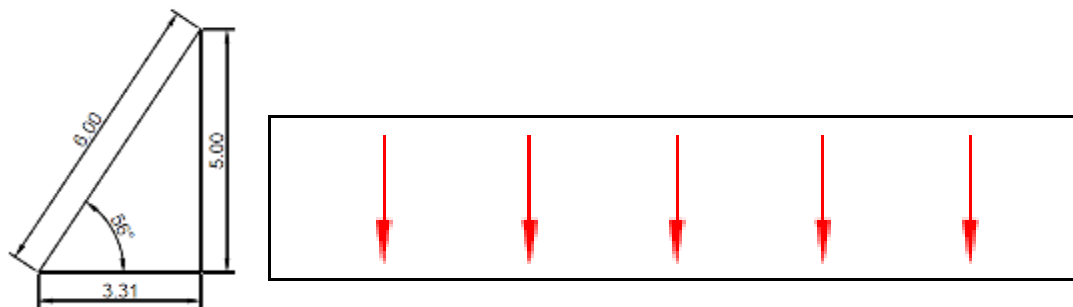


Figura 4.2 Croqui esquemático apresentando a inclinação do talude e o sentido do fluxo da água.



Figura 4.3 Local de implantação do experimento em 23/06/2016. Foto do autor.

A primeira etapa do trabalho ocorreu em meados de Janeiro de 2017, ocasião em que o local do experimento, que era coberto por capim braquiária (*Brachiaria* sp.), foi totalmente roçado com uma roçadeira mecânica para deixar o terreno desprovido de cobertura vegetal (Figura 4.4). O material vegetal removido durante este processo de limpeza foi recolhido e deixado sobre uma superfície de concreto para secagem ao sol, para posterior utilização como *mulch* das biomantas.

Após o tempo de secagem, uma nova limpeza fina foi feita, removendo a vegetação baixa que ainda estava presente no talude. Além disto, as marcações com os limites de cada parcela começaram a ser feitas, utilizando-se uma trena.



Figura 4.4 Ilustração dos trabalhos de limpeza do terreno para posterior instalação das parcelas experimentais. Foto do autor (19/01/2017).

4.2. Construção e descrição das condições das unidades experimentais (parcelas)

O estudo foi formado por oito parcelas retangulares de aproximadamente seis metros de extensão por um metro de largura cada (aprox. 6 m² cada), denominadas de P1 a P8, construídas no local indicado abaixo (Figura 4.5). As parcelas tinham seus limites laterais construídos com madeira compensada com altura de 15 centímetros. Para retardar degradação acelerada das suas divisas o topo foi recoberto com material impermeabilizante (fita adesiva plástica). Além disto, com a finalidade de evitar perda de material através das emendas das divisas, um transpasse de aproximadamente 10 centímetros de comprimento foi utilizado nas junções das peças, sempre no sentido contrário ao fluxo de material.



Figura 4.5. Ilustração da instalação das parcelas. Foto do autor – (26/01/2017)

Posteriormente, foi feita uma distribuição aleatória nas parcelas das técnicas abordadas neste estudo conforme figuras 4.6 e 4.7, apresentadas abaixo:

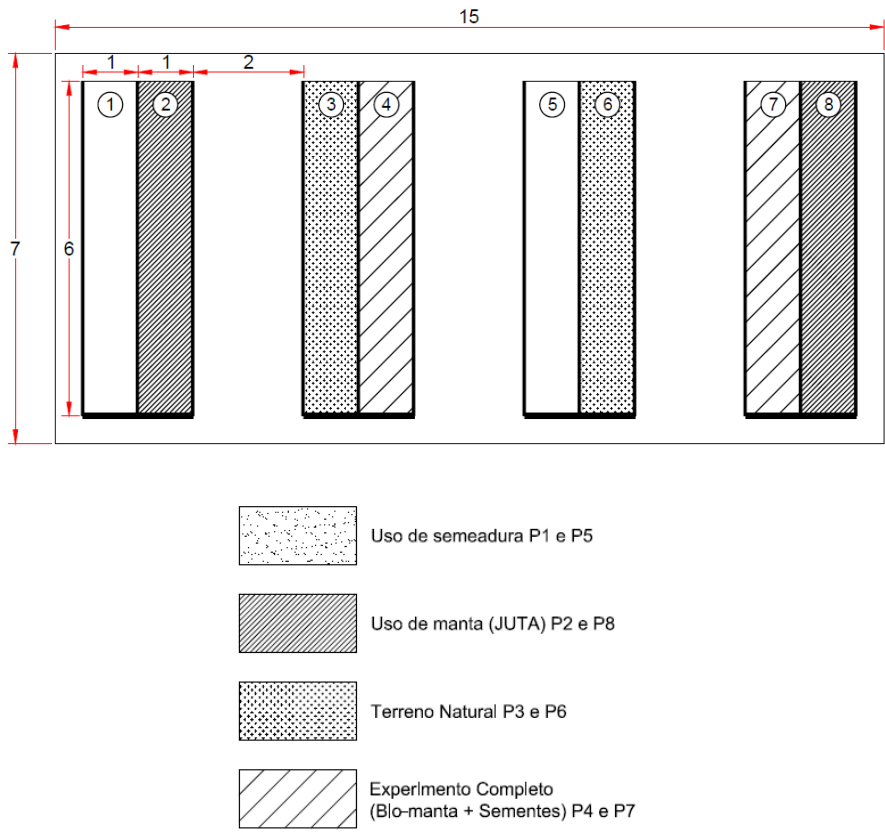


Figura 4.6 Croqui apresentando o formato da instalação das parcelas no Campus da FATEC com suas devidas soluções.

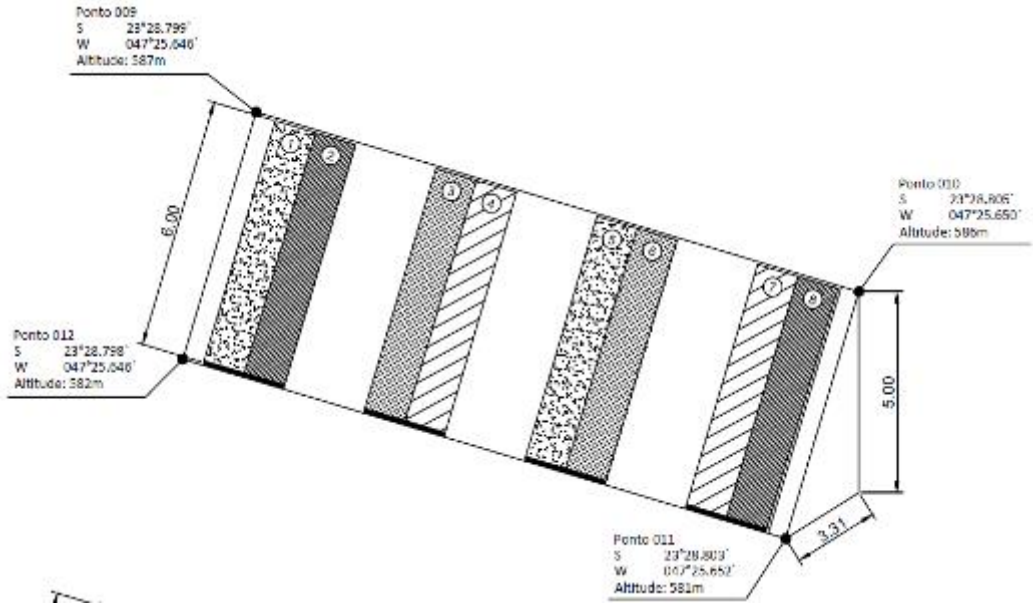


Figura 4.7 Apresentação de 3D esquemático das parcelas com medidas reais extraídas do local através do aparelho Garmin Montana 680.

Para o processo de hidrossemeadura, um coquetel de sementes proveniente da empresa Caiçara foi adquirido. Este mix é oferecido contendo de 5 a 11 tipos de sementes. Para este estudo foram escolhidas nove espécies (Tabela 4.1), tomando-se o cuidado de excluir a principal espécie invasora da região (braquiária), a qual também fazia parte da composição padrão do mix de sementes usualmente comercializado pela empresa.

Tabela 4.1 – Lista de espécies escolhidas e empregadas nos trabalhos de hidrossemeadura.

Espécie	Família Botânica	Nome Popular
<i>Avena strigosa</i>	Poaceae	Aveia ou Aveião
<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae	Ervilha de pombo ou Feijão Guandu
<i>Vicia sativa</i>	Fabaceae	Sativa ou Ervilhaca
<i>Dolichos lablab</i>	Fabaceae	Lablab
<i>Crotalaria juncea</i>	Fabaceae	Crotalária
<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae	Rabanete
<i>Stylosanthes capitata</i>	Fabaceae	Capitata
<i>Stylosanthes macrocephala</i>	Fabaceae	Mineirão
<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	Azevém-Italiano

Fonte: Joly (1987).

A seguir são apresentadas imagens obtidas previamente ao início da pesquisa de cada uma das sementes utilizadas para o experimento, para eventual identificação (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Sementes utilizadas na Hidrossemeadura. Fonte: foto Maria Isabel Rodrigues.

No início de dezembro de 2016, foi realizada uma contagem em laboratório do percentual de cada espécie numa amostragem de cem gramas do mix de sementes (Figura 4.9).

Após esta contagem, foram plantadas em recipiente controlado as nove espécies que compõem o mix de sementes e, posteriormente, realizou-se o acompanhamento, verificando-se o tamanho, a forma da planta, disposição das folhas dentre outros aspectos morfológicos. O objetivo deste plantio em laboratório foi a identificação de todas as espécies para reconhecimento em campo.

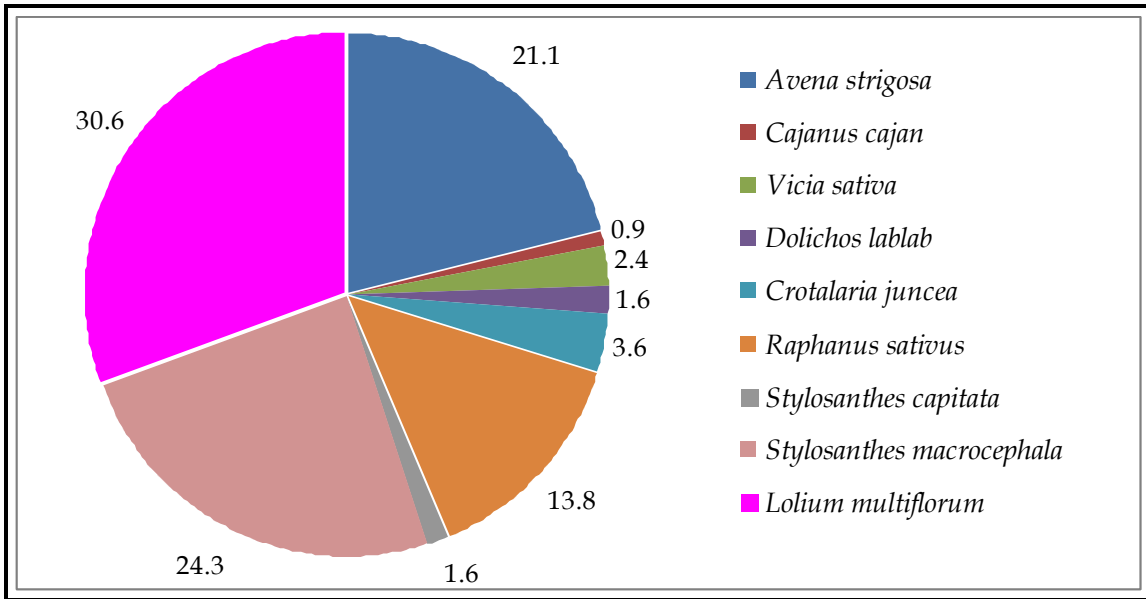


Figura 4.9 Porcentagens de sementes conforme a espécie para uma amostra de cem gramas de sementes.

Foram consideradas duas parcelas como controle. Nestas duas parcelas, codificadas como P3 e P6 (Figura 4.10), não se utilizou qualquer tipo de cobertura do solo. O intuito foi observar o desempenho do terreno natural, sem vegetação, com inclinação e solo originais. Em ambas, toda a vegetação foi removida e o solo recebeu ranhuras através da passagem de um rastelo. Nestas parcelas não foram inseridas sementes e ambas receberam proteção lateral de chapa de compensado (madeirite) para evitar perdas laterais. Em sua extremidade inferior receberam coletores no formato *silt fence*, onde foi medido o volume de sedimento logo após cada evento de chuva.



Figura 4.10 Foto do dia da implantação das parcelas de controle P3 e P6.

Já as parcelas codificadas como P2 e P8 (Figura 4.11) foram cobertas apenas com tecido de juta natural, proveniente da empresa Castanhal Companhia Têxtil (Tela de Juta CCS-100 S/F), com abertura média de 5 mm. Para afixar este material e não ocorrer seu escorregamento, ele foi preso lateralmente por meio de pequenas estacas de madeira, garantindo sua estabilidade no talude analisado. Para manter a similaridade com a técnica principal desta pesquisa, esta cobertura foi aplicada em uma camada dupla.



Figura 4.11 Foto do dia da implantação das parcelas com juta natural P2 e P8

Quanto às parcelas codificadas como P1 e P5 (Figura 4.12), aplicou-se um coquetel de sementes de tamanho pequeno (até aproximadamente 3 mm de diâmetro) correspondente a sementes de espécies herbáceas e arbóreas pioneiras, já listadas acima (Figura 4.8), na proporção de 25 g.m⁻² de parcela, ou seja, cada uma das quatro parcelas onde esta técnica foi empregada recebeu 150 gramas de sementes. As sementes escolhidas para o uso nesta pesquisa foram: *Avena strigosa*, *Cajanus cajan*, *Vicia sativa*, *Dolichos lablab*, *Crotalaria juncea*, *Raphanus sativus*, *Stylosanthes capitata*, *Stylosanthes macrocephala* e *Lolium multiflorum*.

A forma encontrada para fixar as sementes na terra foi mergulhá-las numa solução de água + açúcar, na fração de 5 litros de água para 2 quilos de açúcar.



Figura 4.12 Foto do dia da implantação das parcelas com hidrossemeadura P1 e P5.

Antes deste procedimento, para avaliar previamente o crescimento e para que a houvesse a possível identificação das espécies que tiveram maior índice de germinação, foi realizado o plantio individual em laboratório de cada uma das espécies empregadas (Figura 5.4).

Por fim, nas parcelas codificadas como P4 e P7 (Figura 4.14) foram colocadas mantas biodegradáveis (biomanta). Estas mantas foram constituídas de gramíneas de diversas espécies geradas nas atividades de roçagem do próprio local do experimento.

Para cada metro quadrado de biomanta foram usados aproximadamente 4 quilos de capim braquiária coletados do próprio terreno da implantação do experimento, os quais foram submetidos à secagem ao sol durante o período de uma semana. De acordo com testes feitos anteriormente no Campus de Sorocaba (UNESP) com material similar ao empregado, o tempo de secagem necessário foi de sete dias, e este prazo foi respeitado.

O material era prensado em forma similar a um sanduíche, contendo duas malhas de tecido de juta unidas por uma costura de barbante biodegradável. Por se tratar de um experimento manufaturado, a proporção de capim presente em cada metro pode ter sofrido alguma variação, assim como a espessura total da biomanta pronta, que em média ficou com dez centímetros.

As mantas biodegradáveis foram manufaturadas sobre uma superfície de concreto plana (Figura 4.13), tendo sido o capim seco lançado e costurado em formato de sanduiche como já apresentado acima. Este processo de costura foi pensado para que o capim presente na biomanta não sofresse arraste durante os eventos pluviométricos. Após a confecção, a juta foi dobrada até que fosse instalada sobre o talude estudado.



Figura 4.13 Foto da confecção das biomantas (esquerda) lançamento do capim seco, foto (direita) costura e fechamento da biomanta em forma de sanduiche.

Antes da instalação das mantas no local e objetivando a criação de um sistema mais próximo a um terreno exposto, o solo recebeu raspagem com rastelo onde pequenas ranhuras foram realizadas.

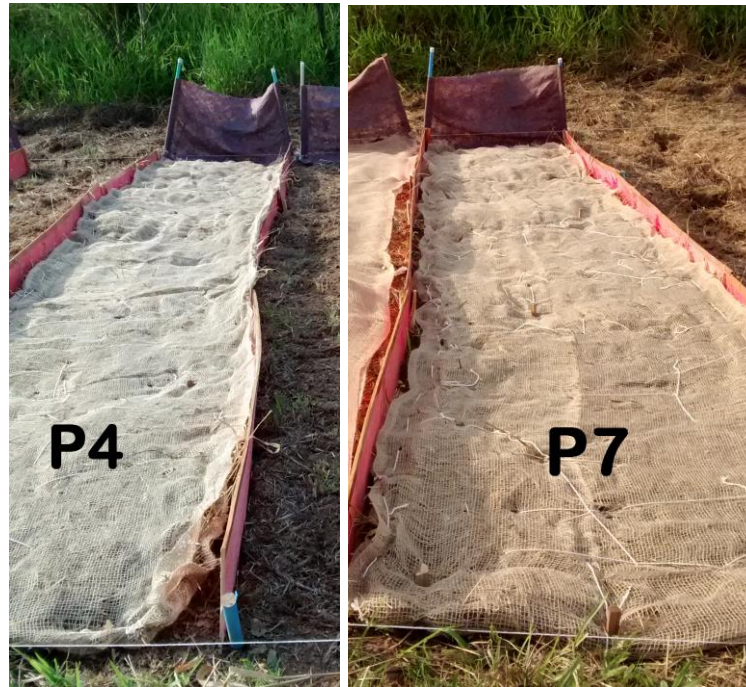


Figura 4.14 Foto do dia da implantação das parcelas com manta biodegradável (biomanta) P4 e P7.

Somente após a instalação das biomantas o processo pode ser concluído, com o lançamento das sementes, com delicadeza, sob as parcelas P4 e P7, além de P1 e P5. Conforme já apresentado, este processo foi feito nesta sequência com o intuito de as sementes ficarem aderidas nas fibras da biomanta, pois caso contrário, haveria grande probabilidade destas sementes se perderem durante a instalação.

Em paralelo a isto, foi desenvolvido um sistema coletor de material carreado no formato *silt fence* (Figura 4.15) objetivando reter todo o material proveniente das parcelas a montante. Tal sistema foi constituído com uma manta de geotêxtil cortada na altura de 1,00 metro, com comprimento de 1,20 metro, sendo afixado em dois suportes circulares de madeira. Para garantir a menor perda possível de material ao longo dos eventos pluviométricos, durante a instalação uma das bordas, a inferior, teve cinco centímetros do geotêxtil enterrados ao solo para completa vedação do sistema coletor. Quarenta dias após o início da pesquisa, alguns coletores, por terem sofrido desgaste durante as coletas, foram substituídos por outros com as mesmas características.



Figura 4.15 Confecção e ensaio de instalação de *silt fence*, detalhe da instalação onde parte do geotêxtil foi inserido no solo. Foto do autor (20/01/2017).

4.3 Procedimentos de obtenção de dados e coleta de amostras

4.3.1 Pluviometria

Para a medição da pluviometria do período estudado foi instalado nas imediações da UNESP de Sorocaba um equipamento pluviométrico da marca TFA Modelo 47.3003, do qual medições do volume de precipitação eram retiradas em intervalos de 24 horas. O *datalogger* do equipamento era sempre zerado após cada chuva entre 12:00 e 13:00 horas, quando, então os dados eram contabilizados pelos participantes do projeto.

O Campus da UNESP está localizado a cerca, aproximadamente, 500 metros do local onde o experimento foi implantado e as medições começaram a ser feitas no dia 27/01/2017 e encerraram-se no dia 01/05/2017, totalizando um período de 94 dias.

4.3.2 Coletas de amostras de solo para análises granulométrica, química e de massa específica.

Esta etapa foi realizada em dois períodos distintos. A primeira coleta foi feita na semana da implantação do experimento (fase inicial), conduzida no dia 23/01/2017. Esta coleta foi realizada com auxílio de um enxadão e de pás de jardineiro. Cerca de dez pontos ao longo da área do experimento foram aleatoriamente determinados para a coleta das amostras, sempre na camada superficial (0 – 20 cm). As amostras foram todas colocadas num recipiente plástico e misturadas entre si, a fim de extrair uma única amostra composta de aproximadamente 2 quilos. Esta amostra composta foi enviada ao laboratório para análises de indicadores físicos e químicos.

Ao término do estudo, que ocorreu na última semana do mês de Abril, foram coletadas quatro amostras provenientes de cada tipo de solução empregada na parte inferior de cada parcela. As coletas foram realizadas com as mesmas ferramentas e também na camada superficial. Coletou-se, então, aproximadamente 1 quilo de solo em cada situação experimental. Em todas as amostras foram removidos materiais orgânicos tais como raízes, minhocas, vegetação e etc.

Além das amostras de solo coletadas, conforme descrito nos parágrafos acima, também se coletava, após cada evento chuvoso, uma amostra de solo, além do material coletado no *silt fence* (este último descrito a seguir). Estas amostras eram coletadas no topo de cada parcela onde houve processo erosivo (na parte superficial do solo – 0-5 cm), evitando a retirada de raízes e folhas. O objetivo de coletar estas amostras foi fazer um estudo de dinâmica do carbono no solo, a fim de comparar as taxas de concentração de matéria orgânica e de carbono do material erodido com o do material do topo do talude.

Adicionalmente, no final do experimento, coletaram-se novas amostras indeformadas, com auxílio de anéis metálicos, para determinação da massa específica do solo de cada parcela (Embrapa, 1997). As amostras foram retiradas do primeiro horizonte em uma profundidade de até 10 centímetros da superfície e tomou-se o cuidado de retirar o material orgânico superficial presente nestas amostras para que ocorresse coleta apenas de solo.

Todo material coletado era transferido para uma estufa (60°C), onde permanecia até obtenção da massa constante, o que acontecia em até 48 horas. Após secagem, os anéis com solo eram pesados em uma balança semi

analítica. O material era então retirado individualmente em um recipiente plástico, obtendo-se, assim, a massa dos anéis vazios e limpos.

As medidas volumétricas foram realizadas utilizando um paquímetro (com erro aproximado de 0,05 mm), estabelecendo a média a partir de 3 medidas de altura e de diâmetro para redução de erros de leitura. Com estes dados e através da relação massa / volume, calculou-se a massa específica do solo para cada parcela e comparou-se com a massa específica de um ponto fora da área experimental.

4.3.3 Coleta de amostras de sedimento gerado por erosão nos eventos pluviométricos

Para medir o volume de solo carreado após cada evento pluviométrico, os participantes fizeram coletas do material proveniente do talude, depositado no sistema de coletores (*silt fence*). As coletas eram feitas no dia seguinte à precipitação, sempre entre 12:00 e 13:00 horas. Simultaneamente a esta tarefa, a medição do pluviômetro era realizada, para que os dados pudessem ser relacionados em seguida.

A retirada do material erodido foi feita, na maioria das vezes, com auxílio de uma pá de jardim ou, quando o volume era pequeno, com auxílio de uma colher de sopa. Todo o material coletado era separado individualmente em embalagens plásticas, tendo seu peso registrado pelos integrantes do grupo. Após cada coleta, o material era etiquetado e levado ao laboratório do Instituto de Ciências e Tecnologia de Sorocaba - UNESP para posterior análise.

4.3.4. Análises de laboratório

As amostras de solo coletadas nas fases inicial e final do experimento, após secagem e passagem por peneira de malha de 2 mm, foram levadas ao Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP em Piracicaba para análises granulométrica e química. Uma parte de cada amostra já seca e peneirada

ficou retida na UNESP para determinação da cor, tendo sido usada a Tabela de Munsell para análise deste indicador.

4.3.4.1 Determinação do teor de Matéria Orgânica

Inicialmente, colocaram-se 20 gramas de amostra de solo seca e peneirada em cadinhos de porcelana, os quais eram introduzidos em uma mufla no laboratório da UNESP. O equipamento era programado para atingir a temperatura de 400°C (NBR 13.600, ABNT-1996) dentro do qual o material permanecia por 2 horas. Em seguida, a mufla era desligada e aguardava-se até que os cadinhos atingissem a temperatura ambiente, quando então poderiam ser manipulados.

Os cadinhos, assim, eram levados novamente à balança analítica para uma nova pesagem. Os dados coletados foram dispostos em uma planilha digital e dinâmica na qual determinaram-se o teor de matéria orgânica (MOS) e a quantidade de carbono total (COT) com auxílio das equações 4.1 (Robertson, 2011) e 4.2 (Kaempf *et al.*, 2016).

$$\% \text{ matéria orgânica} = \frac{MI - MF}{MI} * 100$$

(Equação 4.1)

Onde :

MI: massa inicial antes do processo de calcinação

MF: massa final após o processo de calcinação

$$COT = \frac{MO}{1,72}$$

(Equação 4.2)

Onde:

COT: Carbono Orgânico Total (g de C) * (g de solo)⁻¹

MO: Matéria Orgânica (g de MO) * (g de solo)⁻¹

1,72: é um valor determinado para concentração de C no solo

O valor obtido através da primeira equação (equação 4.1) fornece o percentual de matéria orgânica presente no solo. Porém, a avaliação de nutrientes deve ser feita usando a quantidade de carbono total (COT) presente em cada amostra. Os estudos mostram que o teor de COT está associado diretamente à qualidade e produtividade do solo, auxiliando na escolha das melhores práticas de manejo e na identificação da perda de material orgânico (Leite, 2004). A segunda equação (equação 4.2) mostra o cálculo para determinação do COT partindo do conhecimento do teor da matéria orgânica.

Esta parte do trabalho foi desenvolvida em parceria com um aluno de graduação, o qual desenvolveu seu Trabalho de Conclusão de Curso sobre o tema (Tsuchiya, 2017).

4.3.5 Registro fotográfico e monitoramento da alteração da cobertura da terra

Para registrar o comportamento na cobertura do solo durante o período do experimento, efetuou-se o monitoramento fotográfico do local de implantação, através da geração de fotos semanais de cada parcela onde havia tratamento com sementes, utilizando-se, para tanto, uma câmera de 5MP.

Para delimitar a área da fotografia confeccionou-se um arco circular de material plástico (Figura 4.16), com área e diâmetro previamente determinados, o qual era arremessado duas vezes de forma aleatória sobre cada parcela, efetuando-se posteriormente o registro fotográfico.



Figura 4.16 Imagem do arco circular para limitar a análise da foto.

Após o monitoramento e agrupamento das fotos de acordo com a parcela correspondente, as fotografias eram editadas e posteriormente classificadas usando o software “Image J”, de uso livre. Esta análise visou a verificar quais dentre as nove espécies inseridas no talude sobreviveram e quais obtiveram maior sucesso com relação a sua taxa de germinação, o que foi possível pelo fato de as espécies terem sido analisadas em laboratório previamente a sua implantação.

As análises foram realizadas a partir de uma amostragem sistemática, através de fotografias georreferenciadas, as quais facilitam a estimativa dos tipos de coberturas presentes no solo a ser estudado.

O software utilizado para este estudo foi o “Image J” versão 1.49b (acesso: <http://imagej.nih.gov/ij>), que é um programa de processamento de imagens JAVA, de código aberto, o qual auxilia na observação de dados de uma imagem obtida, transformando-a em dados numéricos para manipulação em outros programas, facilitando a classificação de seus pixels - no caso, de coberturas de solo - bem como seu posterior diagnóstico.

Deste modo, este trabalho vislumbrou fazer uma análise do crescimento vegetativo nas parcelas onde foi empregado o uso de hidrossemeadura, através de imagens digitais processadas por um software que possibilita uma posterior manipulação de seus dados, fornecendo informações importantes para a aplicação futura dessa técnica. Toda esta etapa contou com a

colaboração de uma aluna de graduação, a qual desenvolveu seu Trabalho de Conclusão de Curso sobre o tema (Campanari, 2018).

4.3.6 Análise de imagens em ambiente computacional

Uma vez de posse das fotografias, estas eram editadas (recortadas de acordo com seu molde), deixando apenas a parte colorida de seu interior. Logo após, verificaram-se suas características enquanto arquivo digital e efetuou-se a correção do seu tamanho para 8 bits, para obter uma escala de 0 à 255 pixels. No ambiente do software Image J, abria-se a imagem, pelo comando “File” e “Open”, e, criava-se uma tabela de classificação de pixels, contendo as possibilidades de Vegetação; Biomanta ou Mulch; e Solo Exposto, apenas arrastando o cursor pela tela e anotando seus valores, os quais aparecem na tela inicial do software.

Posteriormente, através do comando *Analyze*, gerava-se o histograma da imagem a ser analisada e, conseqüentemente, uma tabela com a quantificação específica de cada pixel dela.

Em planilha digital, os dados eram dispostos em ordem decrescente, e calculando sua porcentagem, de acordo com a equação 4.4, classificava-se, utilizando a tabela anteriormente feita, 95%, ou mais, dos pixels gerados. Estes passos estão exemplificados na Figura 4.17.

$$P = \frac{Q_u}{Q_T} \times 100$$

(Equação 4.4)

Onde:

P é a porcentagem do pixel, *Q_u* é a quantidade da unidade do pixel e *Q_T* é a quantidade total de pixels

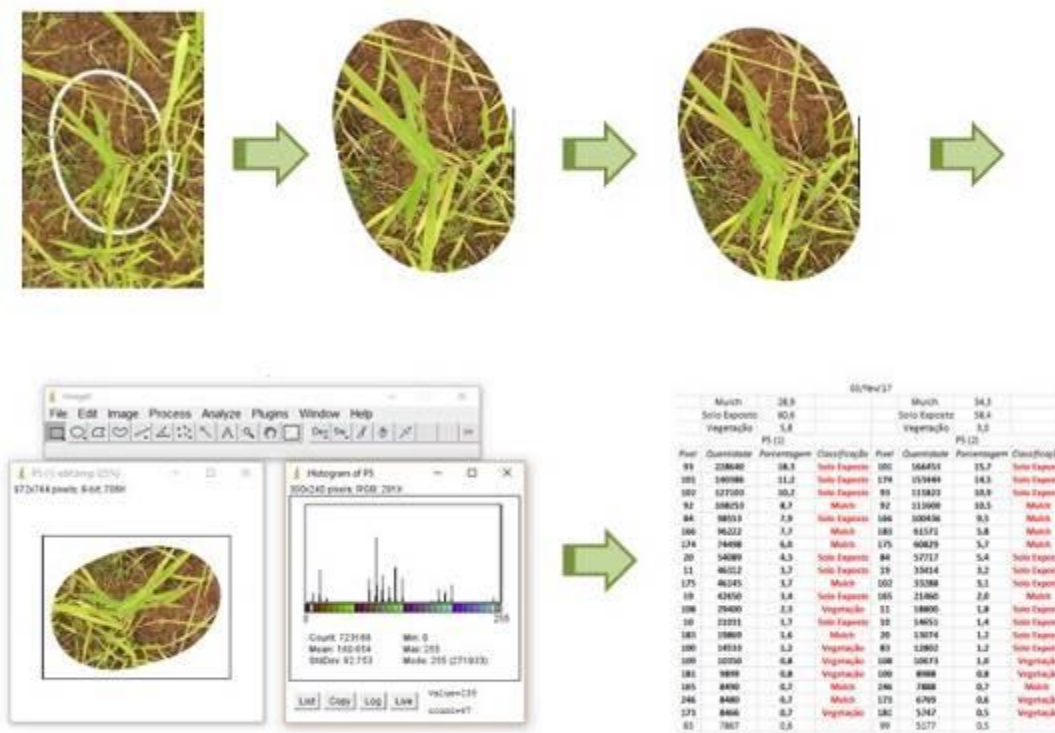


Figura 4.17 Exemplificação esquematizada dos métodos utilizados no ambiente computacional para gerar os gráficos finais, desde a imagem bruta, passando pelos seus tratamentos e, finalmente, obtendo as tabelas com os valores dos pixels. Fonte: Campanari (2018). Após esse procedimento, montaram-se os gráficos finais.

4.3.7 Tratamento estatístico dos dados

Os dados são os ingredientes básicos da estatística enquanto disciplina, sendo esta definida como a coleção, organização, sumário, análise e interpretação dos mesmos. Esta análise criteriosa foi balizadora para tomada de decisões e conclusões a respeito dos números encontrados após a conclusão total do experimento.

Os dados obtidos consistem na medição de volume de precipitação por evento e de volume de sedimento perdido por tratamento de cobertura. Para

embasar as análises, foi utilizado um modelo polinomial linear generalizado misto, cujos parâmetros e quantidades derivadas foram estimados por Cadeias Monte Carlos Markov (MCMC).

A distribuição da probabilidade do erro da variável resposta (volume do sedimento perdido em mm^3) foi considerada como tendo distribuição normal com média $\mu.Y$ e variância $\tau.Y$. O primeiro, $\mu.Y$, foi estimado através da equação de máxima verossimilhança; já o segundo, $\tau.Y$, foi amostrado de uma distribuição T com forma 0.1 e escala 0.1.

4.4 A importância dos primeiros quinze dias do experimento

Sabia-se, desde o início, que, após a implantação das biomantas, a primeira quinzena seria de fundamental importância para o sucesso do experimento. Os cuidados e a atenção deveriam ser redobrados, uma vez que, durante os primeiros dias, o volume de sedimento gerado seria maior, pois o solo, recém mexido, estaria mais propenso à erosão. Além disto, neste período era esperado haver os primeiros aparecimentos das sementes germinadas, ou seja, a primeira brotação começaria a surgir no talude estudado.

5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Serão apresentados, a seguir, os resultados obtidos com cada uma das soluções implementadas no talude da FATEC, assim como serão discutidos os volumes de sedimentos encontrados em cada tipo de cobertura do solo, sua expectativa inicial, sua efetividade, suas desvantagens, seus potenciais, limitações, etc.

5.1 Pluviometria do período analisado

As medições foram tomadas entre os dias 26 de Janeiro e 21 de Abril de 2017. Ao todo foram registrados dez eventos pluviométricos, sendo o primeiro em 31/01/2017, que ocasionaram perdas de solo em algumas das parcelas analisadas (Tabela 5.1). O volume total de todos os eventos pluviométricos registrado no período foi de 424 mm.

Tabela 5.1 Valores dos volumes de chuva registrados entre os dias 31/01 e 21/04 de 2017.

Data	Evento	Volume Total de chuva (mm) entre 12:00 até 12:00 do dia seguinte
31/01/2017	Chuva 1	52.4
05/02/2017	Chuva 2	47.6
01/03/2017	Chuva 3	26.3
03/03/2017	Chuva 4	35.7
05/03/2017	Chuva 5	64.3
14/03/2017	Chuva 6	22.6
17/03/2017	Chuva 7	53.1
05/04/2017	Chuva 8	34.8
06/04/2017	Chuva 9	24.6
21/04/2017	Chuva 10	62.6

O volume de chuva registrado para o período de estudo foi 19,4% superior ao valor médio que usualmente ocorre na região que, segundo o portal Clima dos Municípios Paulistas é de 355 mm (CEPAGRI, 2018). Especificamente em relação ao ano de 2017, a altura de chuva reportada para o período do estudo correspondeu a 27% da altura total anual, de acordo com dados obtidos no site do Inmet.

Do período total do estudo, pouco mais de 10% dos dias foram chuvosos. Com resultados pluviométricos levemente superiores à média, de acordo com os dados históricos registrados pelo INMET, o volume total médio para os meses analisados está em 337 mm, o que foi bastante favorável à geração de dados para a pesquisa.

Além disto, para confirmar os dados obtidos através da medição com o equipamento próprio, os dados de uma estação meteorológica pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) eram obtidos e comparados aos dados da pesquisa para certificação dos valores (Figura 5.1). A estação do INMET está localizada a 100 metros do local de implantação do experimento, dentro das dependências da FATEC Sorocaba, conhecida como Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional número: 83851 o que dá mais confiabilidade aos dados obtidos.

Como os dados obtidos eram sempre referentes às últimas 24 horas, o estudo não pode apresentar um dado importante, que está relacionado à intensidade da chuva num determinado período de tempo.

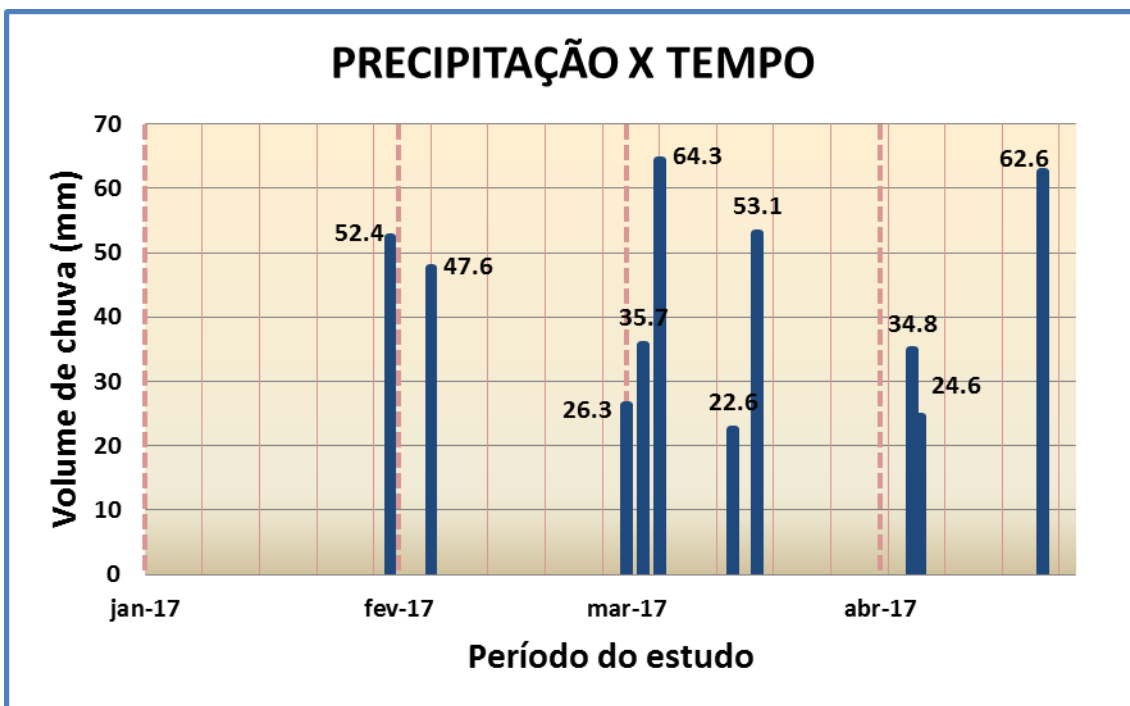


Figura 5.1 Apresentação esquemática dos volumes de chuva, em milímetros registrados no período da pesquisa, durante o verão de 2017.

5.2 A influência dos primeiros quinze dias.

Como já mencionado no item 4.4, a primeira quinzena após a implantação do estudo foi considerado o período mais crítico, exigindo atenção especial da equipe, com visitas diárias ao talude onde o estudo foi implementado. Isto por que havia necessidade de verificar se o material das mantas não estava escorregando, se as *silt fence* não estava caída ou danificada, se as proteções laterais de cada parcela não tinham sido arrastadas, ou até mesmo se o local não havia sofrido alguma interferência externa. Tudo isto para identificar necessidade de possíveis reparos ou manutenção no sistema para que não houvesse interferência nos resultados da pesquisa.

Além disto, verificou-se que, no citado período, os volumes de sedimento foram significativamente maiores que nos dias subsequentes, um motivo a mais para que a equipe estivesse acompanhando o desempenho mais de perto.

Segundo Brandy e Weil (1996), a massa específica da vegetação ou das folhas intercepta de 5% a 40% da precipitação, não deixando as gotas da chuva entrarem em contato direto com o solo, o que reduz a geração de sedimentos e o potencial da perda de solo. O que foi registrado através desta pesquisa confirma o dado apresentado e reforça que a existência de uma camada absorvente eliminou integralmente a geração de sedimento e as perdas de solo.

5.3 Análise do crescimento das sementes e seus percentuais

A análise do crescimento das sementes não apresentou os resultados inicialmente esperados, conforme testes de germinação realizados anteriormente em laboratório, algumas razões podem ser listadas como possíveis causas do baixo desempenho desta taxa, tais como período do plantio, espessura das biomanta, presença de formigas no local, ainda assim são apenas hipóteses, sem comprovação.

Conforme dados apresentados no item 3.8.2, apesar de as sementes recalcitrantes serem aquelas incapazes de sobreviver em determinados ambientes, possuindo necessidade de luz e umidade específica, o seu plantio em laboratório mascara estes resultados, pois neste local todas as condições para o desenvolvimento da plântula são ideais.

5.4 Quantificação e qualificação de atributos físicos do solo

Estudos de erosão de solos mostram que as características do solo, tais como sua massa específica e a estabilidade de seus agregados, podem interferir nas perdas de solo (Bradford e Foster, 1996) e que o uso de técnicas que prevejam o incremento de matéria orgânica pode trazer mais estabilidade a taludes (Piccolo e Mdagwu, 1990). Os resultados preliminares obtidos através das medições realizadas em laboratório com o material extraído em cada uma das quatro alternativas analisadas são apresentados na tabela abaixo (Tabela 5.2) e mostram que houve um incremento da massa específica do material nas

parcelas onde houve o uso de biomanta e de juta, mostrando, como descrito por Piccolo e Mdagwu (1990), um ganho de estabilidade no talude.

Tabela 5.2 Valores de massa específica de solo para cada solução empregada.

Tipo de solução empregada	Massa específica (g.cm⁻³)
Fora da área experimental (antes)	1.35
Controle	1.34
Biomanta (completa)	1.51
Juta	1.54
Hidrossemeadura	1.4

Durante o período estudado os dados de pluviometria e de geração de sedimentos foram registrados após cada evento chuvoso. As coletas ocorreram nos dias 01/02, 06/02, 02/03, 04/03, 06/03, 15/03, 18/03, 06/04, 07/04 e 22/04 do ano de 2017, totalizando dez coletas no período de 94 dias de estudo (Tabela 5.3). Sendo assim, chegou-se a seguinte média de erosão para cada par de soluções analisadas:

Tabela 5.3 Lâmina de chuva e valores de sedimento encontrado para cada parcela e para cada evento chuvoso.

Média das duas parcelas de cada tipo - Erosão média (massa seca)				
	Controle	Sementes	Juta	Biomanta
Chuva (mm)	Erosão (g)	Erosão (g)	Erosão (g)	Erosão (g)
52.4	2670	2805	0	0
47.6	454.5	210	0	0
26.3	78.95	30.1	0	0
35.7	161.39	32.54	0	0
64.3	1837.35	1071.52	0	0
22.6	30.34	32.21	5	0
53.1	153.92	38.16	0	0
34.8	0	45.17	0	0
24.6	176.65	80.71	0	0
62.6	700.22	439.16	0	0
Total:	6263.32	4784.57	5	0

Os resultados obtidos através das quatro soluções empregadas mostraram que os pares tiveram comportamento similar quando comparados. Por exemplo, as parcelas P1 e P5, que receberam hidrossemeadura, apresentaram produção de sedimento bastante próxima uma da outra.

Quando houve a comparação entre as soluções, o resultado foi bastante distinto: as quatro parcelas que fizeram o uso do tecido de juta (manta ou completo) conseguiram reter o solo do seu interior integralmente, não gerando sedimento, enquanto as quatro parcelas como o solo exposto ou apenas com hidrossemeadura tiveram movimentação de material elevada.

Os resultados alcançados através desta análise foram satisfatórios, superando as expectativas iniciais, pois praticamente não houve registro de sedimentos após os eventos pluviométricos.

Para melhor compreensão, cada uma das quatro soluções será abordada e explorada individualmente, tendo seus resultados apresentados de forma única e, logo após, comparados entre si.

5.5 Análise do resultado das parcelas com uso de juta:

A solução usando apenas tecido de juta (P2 e P8) foi uma solução simples e de fácil manuseio. A única dificuldade para sua instalação foi

relacionada à inclinação do talude, uma vez que a forte pendente do local de implantação somada ao terreno úmido fizeram o local escorregadio, tornando o trabalho difícil e lento.

Segundo Wandt (2003), técnicas conservacionistas são implementadas objetivando conciliar ganhos econômico com ganhos ambientais, a fim de minimizar os efeitos oriundos das perdas de solo, claramente estes dois objetivos foram alcançados com o uso de juta em taludes com a inclinação estudada, onde a perda de solo foi nula durante o período estudado.

Além da simplicidade e do fácil manuseio, esta solução apresenta outros pontos favoráveis. Um deles se refere ao seu baixo custo de implantação; outro, à facilidade de comercialização, com uma logística favorável ao transporte. Mas os benefícios não param por aí. Por ser um material biodegradável, esta solução não requer trabalho extra de remoção e nem geração de dejetos. Como se não bastasse, os resultados decorrentes de sua utilização também foram positivos quanto a retenção de solo. O único registro de sedimento feito ao longo do experimento pode ser desprezado devido a seu baixo valor e ao fato de não ter sido registrado novamente, não gerando, portanto, dados estatísticos a pesquisa.

Como estas parcelas não receberam o tratamento de hidrossemeadura, o acompanhamento feito ao longo da pesquisa restringiu-se ao controle de erosão após cada evento de chuva e ao monitoramento do crescimento de espécies invasoras, como, por exemplo, a braquiária, com acompanhamento fotográfico semanal.

Com relação ao controle erosivo, esta solução também se mostrou bastante eficaz, com exceção do evento do dia 14/03, quando houve um pequeno movimento de material em uma das parcelas (apenas 5,55 g), o que, para efeito deste estudo, pode ser desprezado.

Por fim, foi possível observar que com esta pequena camada de tecido juta sobre o solo exposto, o efeito cinético das gotas da chuva (*splash*) conseguiu ser banido nas duas parcelas, não havendo o início do processo erosivo com destacamento de partículas do solo. Conseqüentemente, as outras fases do processo erosivo, tais como criação de sulcos, lâminas ou ravinas, não foram verificadas nestas parcelas.

Em contrapartida, com relação ao controle de espécies invasoras, esta solução não teve sua eficiência comprovada. Houve um pequeno retardo no aparecimento e crescimento de plântulas da espécie braquiária. Porém, após alguns dias, logo apareceram as primeiras folhas da espécie exótica, conforme é possível ver na foto abaixo do dia 1º de Fevereiro (Figura 5.2). Nesta foto também é possível observar uma pequena elevação, ocorrida em alguns locais específicos deste tipo de solução.



Figura 5.2 Crescimento de braquiária sob a camada de juta criando ondulações
- Fotos do autor (17/02/2017)

Tal vegetação invasora devido à abertura da malha de apenas 5 mm desenvolveu-se apenas no seu interior, causando elevação (embarrigamento) do tecido de juta. Observou-se ainda que estas espécies invasoras tiveram menos dificuldade de crescimento se comparado a biomanta (completa) uma vez que nesta última, devido à maior espessura da cobertura os feixes de luz eram bloqueados de forma mais eficaz, deixando o solo mais protegido dos raios solares dificultando assim o aparecimento de tais espécies.

Um fato importante que ocorreu, foi que no processo de preparo de todas as parcelas, apesar de ter sido realizada a roçagem do capim, não foi feita a remoção das raízes da vegetação ali existente, nem mesmo algum tratamento químico para inviabilizar a germinação delas, o que pode ter influenciado no aparecimento de espécies indesejadas. Entretanto, a maior luminosidade trouxe benefícios ao solo, uma vez que, através da avaliação dos resultados de laboratório do solo (antes e depois), ficou evidente que as características do solo ligadas a fertilidade foram potencializadas. Foi o caso, por exemplo, do índice que mede a capacidade de troca catiônica, que teve

seu valor dobrado desde o início do experimento, resultado este não apresentado pelas demais soluções.

Fica então uma importante recomendação técnica em termos de melhoria desta proposta tecnológica, qual seja, dado o alto potencial de germinação do banco de sementes de espécies invasoras, especialmente do gênero *Brachiaria* sp. (Silva e Dias Filho, 2001), há de se efetuar algum tratamento prévio à instalação das biomantas nos locais para aumentar a eficiência de controle destas invasoras.

Em regra geral, tirou-se como lição deste experimento que, caso haja necessidade de fertilidade de espécies, é importante utilizar juta com malha com maior abertura que a usada nestas parcelas.

Os resultados apresentados através da análise do solo, presente abaixo desta solução revelou performance positiva da tecnologia ora criada. O pH analisado em solução de CaCl_2 passou de 4,7 iniciais para 5,8 um crescimento bastante significativo neste índice. O teor de matéria orgânica que subiu de 15 para 26 g.dm³, já o Potássio (K) teve uma pequena redução, passando de 2,3 para 2,0 mmolc.dm³, o Cálcio (Ca) passou de 22 para 65 mmolc.dm³, o Magnésio (Mg) também teve leve aumento passando de 15 para 24 mmolc.dm³, o Alumínio (Al) diminuiu de 3 para 2 mmolc.dm³, já o H+Al (SMP) foi de 18 para 11 mmolc.dm³ com uso da técnica do Método IAC adaptado, na soma das bases tivemos um aumento elevando o valor inicial 39,3 para 91 mmolc.dm³, o mesmo ocorreu com o índice de capacidade de troca catiônica (CTC) que passou de 57,3 para 102 mmolc.dm³, o percentual de grau de saturação (V%) foi de 69 para 89%, o índice M% andou no sentido contrário aos demais, caindo de 7 para 0 %.

Por fim, esta solução mostrou-se bastante eficiente na conservação dos elementos químicos estudados assim como no controle da erosão em taludes com a inclinação proposta, sendo recomendada ao uso em propriedades rurais com problemas de perda de solo, em taludes artificiais de rodovias, nos taludes de platôs industriais ou até mesmo no perímetro urbano em zonas residenciais, sendo uma proposta de baixo custo, com insumos acessíveis em qualquer localidade e de fácil implementação.

5.6 Análise do resultado das parcelas de controle (solo exposto)

As parcelas P3 e P6 denominadas neste trabalho como parcelas de controle foram de grande valia para o reconhecimento do comportamento do terreno natural.

Em um estudo similar, Adams (1996) conseguiu comprovar a redução da erosão do solo de $0,97 \text{ m t ha}^{-1}$ para $0,34 \text{ m t ha}^{-1}$ justamente por conta do efeito de interceptação das folhas, da redução do efeito *splash* e, também, assim como também por conta do efeito fibroso das raízes que estavam mais próximas à superfície. Estes dados estão condizentes com os resultados encontrados neste estudo, no qual houve maior movimentação de material para jusante do talude no par de parcelas de controle.

Por estarem inicialmente desprotegidas da vegetação, estas parcelas apresentaram elevados volumes de material carregado, tendo quantidade média de material erodido aproximadamente 20% maior que a segunda posição na classificação de perda de solo.

Assim como as demais parcelas, aqui também foi possível verificar que o volume de sedimento era reduzido simultaneamente após cada evento pluviométrico, ou seja, as camadas inferiores do terreno apresentaram maior resistência ao arraste.

Além disto, este par de parcelas serviu para mostrar o que foi perdido em termos de fertilidade onde não foi empregada solução alguma, comportamento similar ao que ocorre terrenos baldios, onde não há presença de vegetação, segundo Alho (2006) o declive é fator primordial para este impacto, uma vez que este associada às perdas de solo, torna difícil a regeneração natural e fixação de espécies vegetais.

Na maioria dos ensaios laboratoriais de solo, os resultados deste par de parcelas foram inversamente proporcionais aos demais: onde as outras alternativas apresentaram um aumento (como no caso de CTC, SB e V%). Estas parcelas de controle apresentaram redução, enquanto as demais parcelas tiveram o percentual da presença de Alumínio reduzido, as de controle tiveram elevação, o que para efeitos de fertilidade do solo poderá ser prejudicial.

Ainda com respeito às duas parcelas de controle, é válido mencionar que o local foi o mais afetado com o aparecimento de espécies invasoras onde a proliferação foi rápida.

Os resultados finais, baseados na análise do solo exposto antes e depois dos 94 dias do experimento, foram bastante contrastantes com os demais ensaios realizados nas outras parcelas, como por exemplo, o pH em CaCl_2 que passou de 4,7 iniciais para 4,6 com decaimento (inverso aos demais). O Potássio (K) também teve uma pequena redução, passando de 2,3 para 2,1 mmolc.dm^3 , ficando semelhante aos demais, o Cálcio (Ca) passou de 22 para 14 mmolc.dm^3 , o Magnésio (Mg) também teve leve redução, indo no sentido oposto aos demais parcelas, passando de 15 para 11 mmolc.dm^3 , o Alumínio (Al) aumentou de 3 para 9 mmolc.dm^3 , da mesma forma que o ensaio anterior, já o H^+Al (SMP) foi de 18 para 20 mmolc.dm^3 , com uso da técnica do Método IAC adaptado, na soma das bases tivemos redução do valor inicial 39,3 para 27,1 o mesmo ocorreu com o índice de capacidade de troca catiônica (CTC) que passou de 57,3 para 47,1 mmolc.dm^3 , o percentual de grau de saturação (V%) foi de 69 para 58 %, o índice M% andou no sentido contrário aos demais, caindo de 7 para 25 %, assim como os demais, estes quatro últimos índices químicos do solo exposto também andaram no sentido contrário daqueles onde havia algum tipo de solução para contenção de erosão implementada, ficando evidenciado através destes ensaios as perdas geradas pela exposição do solo aos efeitos das intempéries ao longo do estudo.

Em todos os ensaios laboratoriais elaborados com solo coletado do local da implantação (antes e depois), apenas o teor de potássio respeitou a mesma ordem de modificação quando comparamos as parcelas de controle com as demais parcelas em que houve intervenção, quer seja por meio de biomanta completa, juta ou sementes. Além disto, todos mostraram curvas de desenvolvimento contrárias nas parcelas de controle, indicando que a intervenção através da implantação de algum tipo de solução influenciou positivamente a taxa de fertilidade do solo, além de evitado perdas de solo e nutrientes e ensejado um ganho de potencial de germinação em determinadas posições.

5.7 Análise do desempenho das parcelas com uso de hidrossemeadura

A solução usando somente hidrossemeadura (P1 e P5) composta pelo mix de nove tipos de sementes diversas, já apresentadas acima, não atingiu as expectativas iniciais do projeto no que se refere ao crescimento e ao enraizamento e teve resultados pouco satisfatórios em relação à proteção do solo se comparada às demais alternativas, retendo 18% mais solo que a média das parcelas de controle, ou seja, ficou melhor apenas que o solo exposto.

De fato, considerando que as sementes estavam posicionadas diretamente sobre o solo, esperava-se que um maior número de espécies germinasse, uma vez que o resultado da análise prévia em laboratório mostrou crescimento satisfatório das espécies estudadas apenas onze dias após o plantio, tal como é possível verificar nas fotos abaixo (Figura 5.3).



Figura 5.3 Fotos das plântulas que germinaram cerca de onze dias após o plantio. Arquivo Maria Isabel Rodrigues.

O que pode justificar essa diferença entre expectativa e realidade é o fato de que nosso experimento se utilizou de um mix de sementes pré-determinado pelo fornecedor, sem que houvessem sido verificadas suas taxas de germinação ou adequabilidade à região onde foi implementado o estudo. Corroborando essa suspeita, Tilton (1996) afirma que a correta escolha das espécies é um dos fatores de sucesso desta técnica. Além disso, as sementes empregadas podem ser enquadradas em um grupo de sementes recalcitrantes, onde a exigência de umidade e luz solar é muito particular para cada uma das

espécies usadas, não se adaptando a condições adversas, tais como baixa incidência solar ou baixa umidade. Assim, considerando que o ambiente onde foram inseridas as sementes não teve condições tão adequadas quanto às fornecidas em laboratório onde a incidência da luz era indireta e a umidade era controlada, a germinação não apresentou os mesmos resultados do ambiente controlado.

Outra possível justificativa para esse resultado negativo refere-se ao pequeno grau de aderência das sementes ao solo. Considerando que durante o processo de hidrossemeadura o composto foi lançado sem pressão sobre o solo, de forma manual, sem uso de ferramentas e equipamentos auxiliares, não houve o aprofundamento das sementes. Por isso, e devido à alta inclinação do talude, acredita-se que a grande maioria das sementes tenha sido transportada junto com o solo das camadas mais superficiais quando houve o primeiro grande evento pluviométrico, ocorrido seis dias após a execução da hidrossemeadura. Também, devido à presença do açúcar na mistura de hidrossemeadura, que foi empregado com objetivo de auxiliar na fixação das sementes ao solo, formigas foram atraídas para o local, as quais podem ter transportado as sementes para lugares diversos. Para evitar essa perda de sementes, Albaladejo Montoro *et al.* (2000) mencionam que, quando a hidrossemeadura é aplicada diretamente sobre a superfície, deve-se usar alguma matéria orgânica, tal como ácido húmico, para facilitar sua incorporação ao solo, garantir mais estabilidade e maior grau de germinação. O que se verificou, foi que muitas das sementes aplicadas escorregaram para a parte mais baixa do talude. Inclusive, durante a própria instalação algumas sementes correram para baixo e outras tantas foram carregadas junto com o solo nas primeiras precipitações do estudo, o que ocasionou perdas que não puderam ser mensuradas pelos integrantes do grupo de pesquisa. Assim, é provável que se as sementes tivessem recebido mais força durante sua aplicação ou se a superfície do estudo tivesse sido coberta com palhas secas, conforme feito por Albaladejo Montoro *et al.* (2000), elas estariam mais protegidas e menos vulneráveis ao arraste. Segundo Gariglio (1987), recomenda-se uma irrigação que atinja pelo menos 10 cm de profundidade do solo, perdurando até a germinação de, no mínimo, 50 % das sementes. Como mencionado acima, este requisito não foi cumprido neste experimento, visto

que as sementes ficaram no nível do terreno natural e o experimento foi conduzido na época de chuvas, sendo a atividade de irrigação algo dispensável para a época do ano. No sentido oposto ao apresentado, o aprofundamento demasiado destas sementes também poderia ser prejudicial à germinação das sementes.

Ao longo dos 94 dias de análise, a perda de solo foi de 12.621g de massa total seca, dos quais 4.211 g foram provenientes da parcela P1 e os outros 8.409 g da parcela P5. Não foi possível, entretanto, identificar a razão para a diferença a mais de aproximadamente o dobro na quantidade de sedimento entre as parcelas P1 e P5 com a mesma solução. Uma das possibilidades é que a proliferação da espécie invasora tenha sido maior na parcela P1 e com isto as raízes presentes tenham impedido a erosão. Outra possibilidade pode ser devido a melhores condições de compactação da parcela P1, cujo solo pode estar mais bem acomodado ou apresentar melhor coesão.

Necessário observar que, apesar de Diaz *et al.* (1994) mencionarem que o solo onde será implementado o uso de hidrossemeadura deverá apresentar características mínimas de fertilidade previamente a sua implantação, este, seguramente, não foi o fator que ocasionou a baixa taxa de germinação das parcelas com hidrossemeadura, uma vez que o solo do local do estudo possuía inicialmente uma taxa de matéria orgânica de 15%, o que mostra seu potencial para recebimento de sementes.

Importante mencionar, ainda, que um dos limitantes da hidrossemeadura é que esta solução, após sua aplicação, precisa ficar 24 horas sem receber água, ou seja, quando aplicada há necessidade de que não haja previsão de precipitação para este período de tempo (Kentucky Erosion Prevention and Sediment Control Field Guide, 2005). Considerando, assim, que durante o processo de implantação do objeto deste estudo houve o registro da primeira precipitação 9:30 horas após a conclusão total da implantação, este fato pode ter interferido diretamente no resultado final da pesquisa.

Em projeto similar realizado pela USEPA nos Estados Unidos (1997) os pesquisadores obtiveram resultados bastante satisfatórios quanto à germinação de sementes quando houve uso de hidrossemeadura agregado a pequenos percentuais de fertilizantes. Para projetos futuros em que haja

intenção de uso desta técnica pode-se, portanto, considerar o uso de fertilizantes para que os percentuais de germinação sejam superiores aos encontrados nos resultados do estudo.

Em síntese, o tratamento com hidrossemeadura foi de fácil implementação, com custo baixo de instalação e resultados laboratoriais condizentes com as demais soluções, apesar de terem sido aquém do que se esperava na prática. Como sugestão para algum eventual estudo com esta técnica, sugerimos o não uso do açúcar como cola, assim como o uso de equipamento para lançamento das sementes no solo, objetivando garantir o atingimento da profundidade ideal para que um maior número de espécies possa vir a germinar.

5.8 Análise dos resultados das parcelas com uso de biomanta (completa)

Para as parcelas P4 e P7, o comportamento com relação ao volume de material sedimentado foi o mesmo, como é possível observar na Tabela 5.2. É possível verificar que ambas não apresentaram sedimento ao longo dos dez eventos pluviométricos analisados ao longo do verão de 2017, não deixando dúvidas quanto a sua verdadeira efetividade com relação a este requisito.

A inexistência de sedimento nestas duas parcelas mostrou que foi possível conter a erosão para este tipo de talude com esta inclinação, sem que houvesse perdas de solo e de material. Lombardi (2012) salienta a importância de evitar o desprendimento das partículas durante o impacto das gotas da chuva, objetivando minimizar as perdas de solo. Tal fato pode ser comprovado com o uso das biomantas neste estudo, garantindo assim a preservação do solo local, sem alteração de seus índices de fertilidades, muito embora isto não tenha ocorrido, as espécies inseridas no meio da biomanta não germinaram.

Muzzi *et al.* (1997) indica um grande grau de efetividade com o uso de cobertura vegetal na redução do movimento do solo através de águas pluviais, quando aplicada a técnica de hidrossemeadura e mantas de juta, sistema bastante similar ao empregado neste estudo. Porém, é importante ressaltar que para o talude estudado os efeitos da erosão foram igualmente retardados com o uso da técnica mais simplificada, que consistiu no uso de mantas de juta, mostrando que nem sempre o mais complexo é melhor.

A respeito do crescimento das plântulas, comparando os resultados encontrados em laboratório com os resultados de campo, verificou-se um número inferior de plântulas, tempo superior de crescimento e tamanho inferior ao que estava sendo esperado. Acredita-se que tal efeito tenha ocorrido devido à falta de luminosidade no interior da biomanta, uma vez que a espessura do sistema se aproximava dos 10 centímetros.

Esta falta de luz no interior do conjunto, embora tenha sido um impeditivo para o crescimento das novas plântulas semeadas, terminou sendo um ponto positivo da proposta tecnológica devido ao grande benefício do sistema. Por exemplo, a falta de luminosidade no interior da biomanta dificultou o aparecimento de espécies invasoras, tais como braquiária, o que pode ser constatado através de verificação visual comparativa com as parcelas vizinhas.

Enquanto as parcelas do entorno permitiram o crescimento da invasora braquiária com mais facilidade, nas parcelas com solução completa o processo foi mais lento e, em alguns casos, cem por cento eliminados (Figura 5.4). Colocando lado a lado as imagens de uma parcela com solução simples apenas com tecido de juta e outra com a solução completa da mesma data, é possível verificar que onde há solução simples apenas com juta (foto esquerda) a proliferação da invasora braquiária é muito maior que na parcela completa (foto direita).



Figura 5.4 Fotos do dia 11/03/2017. Parcela P2, apenas juta (esquerda) e parcela P4, completa (direita).

Embora o crescimento das novas sementes não tenha ocorrido na velocidade esperada, algumas espécies invasoras apareceram no local, embora em quantidades inferior à das parcelas com outros tipos de solução.

Devido ao uso da biomanta, os efeitos do sol, dentre os quais a evaporação da umidade do solo abaixo dela, foram retardados, visto que a camada oferecia resistência a luz, mantendo, assim, a umidade do solo por mais tempo após os períodos de chuva, o que pode ser considerado um dos grande benefícios da solução estudada.

A foto abaixo (Figura 5.5), feita no dia 13/04/2017, ou seja, aproximadamente 2,5 meses após a implementação das soluções, mostra tanto o estado real do solo abaixo da biomanta quanto a parte da própria biomanta que ficou diretamente em contato com o solo.



Figura 5.5 Apresentação do interior da biomanta após 2,5 meses de sua implantação. Foto do autor 13/04/2017.

Verifica-se, portanto, que o uso conjunto de técnicas para controle de erosão é promissor. Comparativamente, Albaladejo Montoro *et al.* (2000) num experimento similar, porém usando um composto alternativo a base de ácido húmico, verificaram que o efeito combinado foi muito mais eficiente do que *quando* as técnicas foram aplicadas separadamente.

Necessário atentar, entretanto, que conforme é reportado por Faucette *et al.* (2005), os resultados positivos da utilização solitária da hidrossemeadura só foram verificados após três meses da instalação do experimento, ou seja, após período superior ao acompanhado no presente estudo.

5.9 Análise dos resultados das imagens da germinação

Através do uso do software Image J foi possível fazer uma análise computacional das imagens das fotos tiradas nas parcelas onde houve a utilização do processo da hidrossemeadura. Usando dados manipulados no histograma das imagens do Excel, foi possível determinar o crescimento vegetativo das parcelas estudadas.

Faucette (2006), em um trabalho similar a este, apresentou dados indicando que cobertura com biomanta tiveram melhores resultados de nascimento de vegetação nos primeiros três meses de pesquisa se

comparados aos locais onde houve o uso da hidrossemeadura. De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, a afirmação citada acima não pode ser confirmada. Para nossas condições de terreno e de solo as parcelas com hidrossemeadura tiveram aproximadamente 10% mais vegetação do que as parcelas com biomanta, nos três primeiros meses. A diferença encontrada pode estar correlacionada ao método de aplicação das sementes ou, também, à diferença na espessura da biomanta usada nos estudos.

Sendo assim, identificaram-se quais parcelas obtiveram um melhor índice de germinação e de ocupação pela vegetação. Porém, ao longo desta medição não foi possível estabelecer, dentre a vegetação encontrada, quais eram as plantas provenientes do plantio da hidrossemeadura e quais eram simplesmente espécies invasoras, pois o percentual obtido é um valor bruto, que engloba tanto espécies provenientes do plantio proposto pela pesquisa quanto espécies invasoras e locais.

A figura 5.6 mostra um resumo final com as médias encontradas através dos dados fotográficos semanais dos pares de parcelas P4 e P7. Cada imagem foi analisada e classificada em três categorias de cobertura: biomanta, solo exposto ou vegetação viva.

A análise das imagens ao longo das semanas mostrou um aumento da vegetação viva ao longo de cada mês. Exemplificando, em fevereiro apenas 13,52% do total das imagens mostrava vegetação; passados dois meses, foi possível verificar um aumento destas taxas. Em abril, o percentual de solo coberto por vegetação subiu para 31,76%, mostrando que a vegetação estava se alastrando e ocupando cada vez mais espaço nas parcelas com biomanta.

Na mesma análise foi possível constatar um decréscimo nos percentuais de biomanta na proporcionalidade inversa, decaindo de 86.48% para 68.24%. Ainda, foi possível avaliar o potencial de germinação e crescimento de espécies devido ao uso em paralelo de hidrossemeadura e de biomanta.

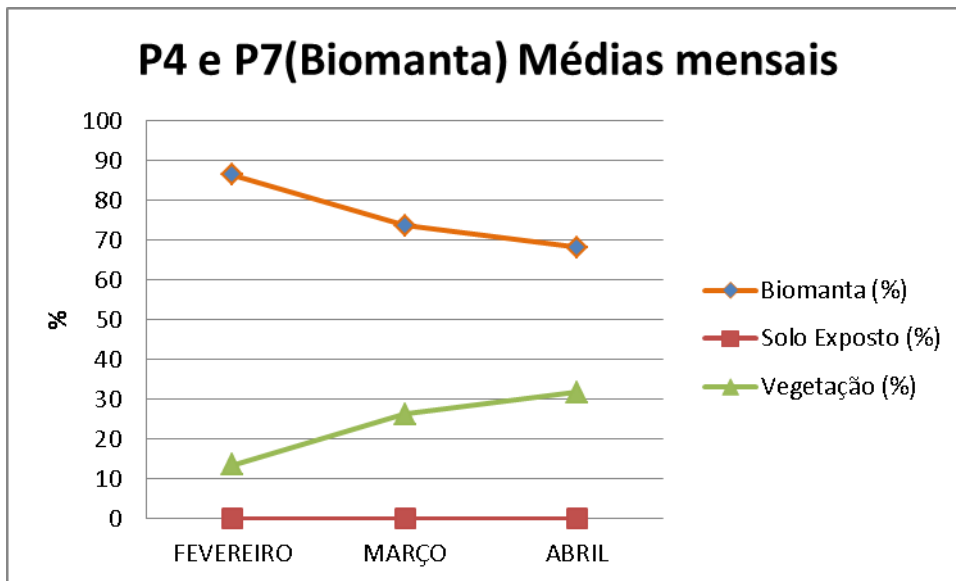


Figura 5.6 Distribuição de ocupação do talude através de média mensal nas parcelas com uso de biomanta (solução completa).

Na Figura 5.7 são apresentados os resultados das médias mensais dos percentuais de vegetação verificadas através de análise fotográfica das parcelas P1 e P5, nas quais foi utilizada somente a técnica da hidrossemeadura direta ao terreno natural do talude estudado.

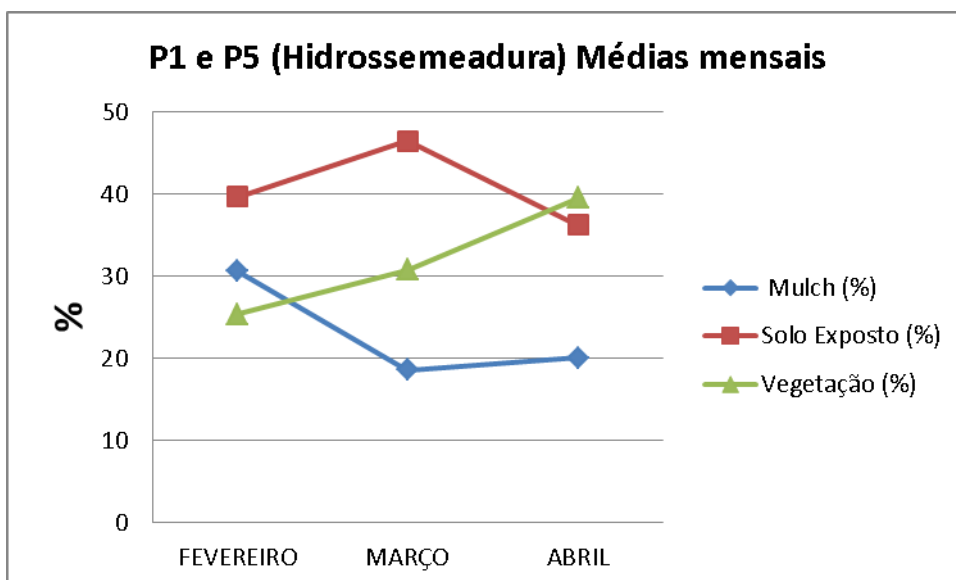


Figura 5.7 Média mensal dos percentuais de vegetação germinadas nas parcelas com uso de Hidrossemeadura

É possível verificar que a vegetação esteve mais presente desde o início das medições, ou seja, nas parcelas onde as sementes foram lançadas diretamente ao solo, a velocidade de germinação foi maior. No primeiro mês de medição, a taxa de vegetação já estava acima dos vinte e cinco por cento. A cada mês analisado, a média de vegetação presente teve acréscimo, como era esperado, chegando ao final da pesquisa com 41,46% da área analisada coberta por vegetação viva.

No sentido contrário ao aparecimento da vegetação, os resultados das medições de solo exposto ou de vegetação seca nas parcelas com hidrossemeadura foram reduzindo gradativamente. No caso do solo exposto, por exemplo, passou de 42,67% no início da pesquisa para 37,46% no final dos três meses de monitoramento.

O percentual final de germinação das parcelas P1 e P5 foi o maior encontrado em todo o experimento (a taxa final de vegetação ultrapassou os quarenta por cento). Quando comparado aos 31,76% das parcelas com biomantas (P4 e P7), verificamos que a utilização de hidrossemeadura resultou uma taxa de aparecimento da vegetação maior.

Porém, assim como descrito acima, não foi possível distinguir se a categoria “vegetação viva” era composta somente por indivíduos das espécies plantadas que eventualmente germinaram, por espécies invasoras do local ou por uma mistura destas duas “subcategorias”.

Ainda quanto a identificação, taxa de crescimento das espécies que foram plantadas no local, quantidades de plântulas e germinação das sementes, uma constatação simples foi alcançada: no caso das parcelas P4 e P7, o fato de as espécies terem ficado no interior da biomanta e, no caso da hidrossemeadura, as parcelas não terem recebido o recobrimento de solo adequado (entre 4 e 10 centímetros de material local), interferiram negativamente nos resultados finais encontrados.

5.10 Análise dos atributos químicos

Segundo Gomes e Filizola (2006) para que haja desenvolvimento de cobertura vegetal em determinado local, faz-se necessário uma adequada estrutura do solo, além de condições de fertilidade e umidade que também são

afetadas pela dinâmica do solo, as análises de laboratório realizadas com o solo antes e depois do experimento mostram como se comportou o terreno após os 94 dias de estudo em cada uma das parcelas, considerando os quatro tipos diferentes de parcelas empregadas na pesquisa.

Abaixo são apresentadas tabelas (Figura 5.8) com os principais índices químicos avaliados mostrando o comportamento dos mesmos conforme mencionado anteriormente onde é possível verificar a evolução de cada ponto avaliado. Através da análise direta destes resultados pode-se constatar que houve uma tendência de conservação do solo principalmente com o uso da biomanta e da juta.

Figura 5.8 Evolução dos índices químicos avaliados em laboratório antes e depois do experimento.

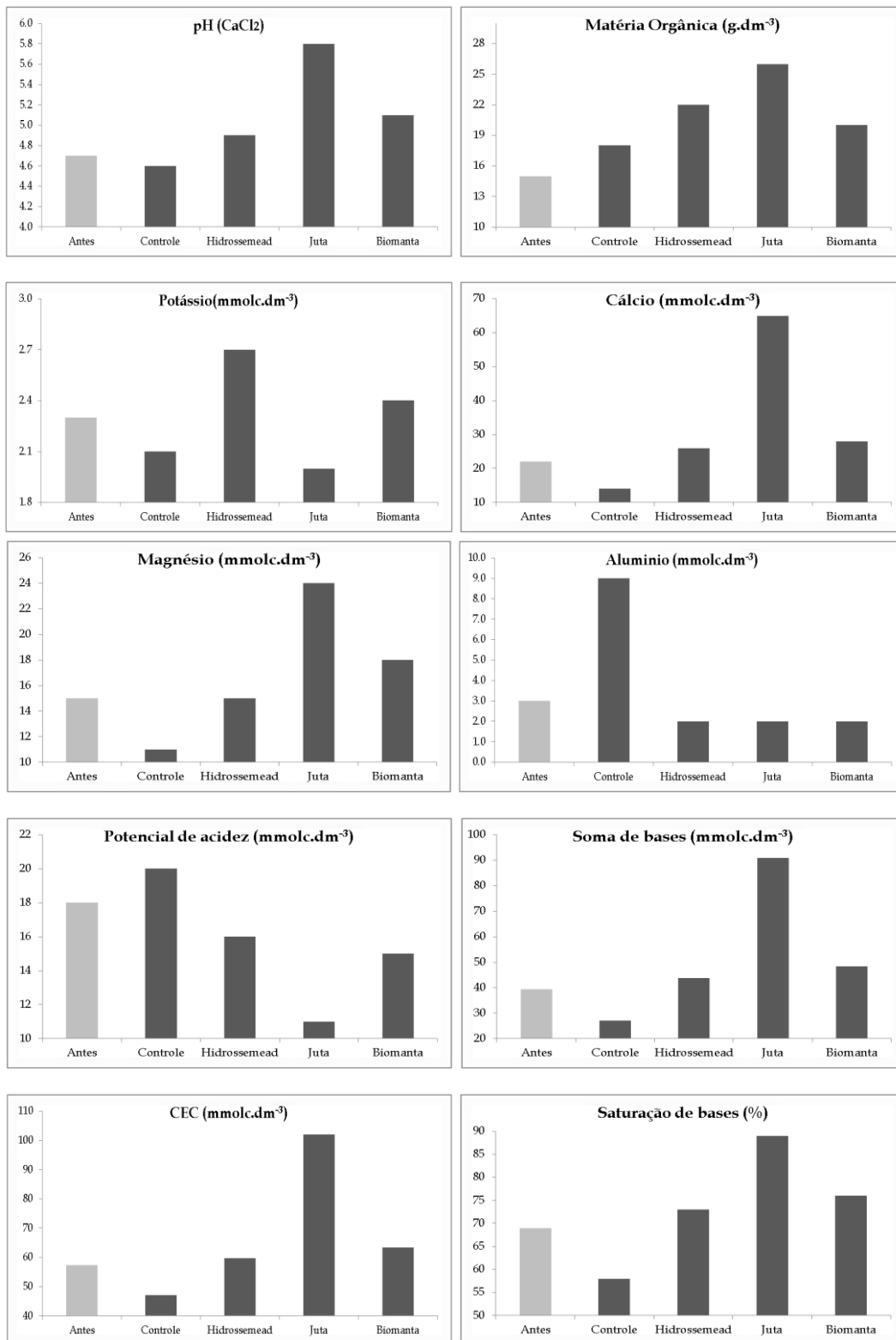


Tabela 5.4 Volume de sedimento perdido por parcela, em mm³, em relação à ordem dos eventos de precipitação e ao volume dos mesmos em mm³, por tratamento.

Evento	Vol. Prec.	Hidross.		Contr.		Juta		Biom.	
		P1	P5	P3	P6	P2	P8	P4	P7
Chuva 1	52.4	1600	3800	2000	2800	0	0	0	0
Chuva 2	47.6	200	300	500	400	0	0	0	0
Chuva 3	26.3	40	40	100	60	0	0	0	0
Chuva 4	35.7	40	30	100	240	0	0	0	0
Chuva 5	64.3	1200	600	1500	1400	0	0	0	0
Chuva 6	22.6	0	60	0	60	0	10	0	0
Chuva 7	53.1	60	40	220	100	0	0	0	0
Chuva 8	34.8	0	80	0	0	0	0	0	0
Chuva 9	24.6	100	60	220	100	0	0	0	0
Chuva10	62.6	500	330	400	840	0	0	0	0

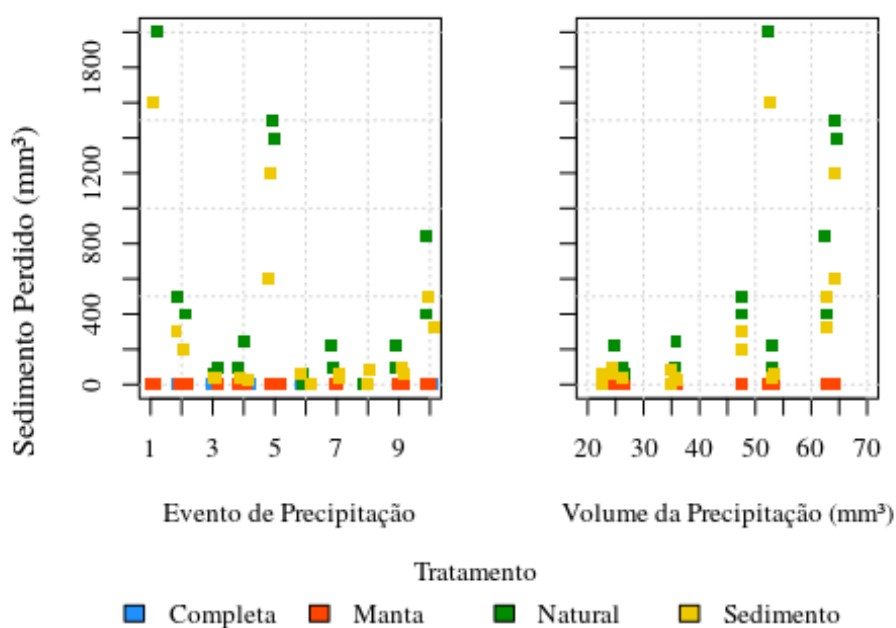


Figura 5.9 Volume de sedimento perdido por parcela em mm³ em relação à ordem dos eventos de precipitação e ao volume dos mesmos em mm³, por tratamento.

Para avaliar os dados acima ilustrados, foi utilizado um protocolo não-linear misto, com equação de verossimilhança polinomial do terceiro grau (cúbico), cujos parâmetros e quantidades derivadas foram estimados por Cadeias Monte Carlo de Markov (MCMC) (Metropolis *et al.*, 1953).

O modelo foi estimado a partir de três MCMCs com 20.000 iterações cada, tendo sido descartadas as primeiras 10.000 iterações e, espaçadas de 10 em 10 a fim de compor a amostra final, onde todas as estimativas dos parâmetros monitorados e dos coeficientes de regressão do modelo tiveram **R** igual a um. Os modelos foram estimados em ambiente R (R Core Team, 2017) em interface com JAGS (Just Another Gibbs Sampler) (Plummer, 2003) através do pacote R2Jags (Su e Masanao Yajima, 2015).

5.11.2 Minerais no Solo: MANOVA - Análise Multivariada da Variância

Os dados da análise de laboratório para os minerais no solo, Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al), em micro mol de carga por decímetro cúbico (mmcolc.dm³) por parcela e evento, apresentados abaixo (Tabela 5.13), correspondem aos eventos de medição realizados, inicialmente, em 01/02 e finalmente, em 22/04.

Analisando os dados da mencionada tabela, observa-se que os tratamentos (soluções) seguem o mesmo delineamento dos dados de perda de sedimento, qual seja, nos tratamentos contendo completa ejutaele foi muito baixo, ou nulo já nas parcelas com hidrossemeadura e natural os valores foram mais expressivos.

Tabela 5.13 Minerais em mmolc.dm³ de solo (massa específica de 1,39g.cm⁻³) por parcela, evento (inicial e final) e tratamento.

Parcela	Fase	Tratamento	K	Ca	Mg	Al
1	Inicial	Semente	2.3	22	15	3
2	Inicial	Manta	2.3	22	15	3
3	Inicial	Natural	2.3	22	15	3
4	Inicial	Completa	2.3	22	15	3
5	Inicial	Semente	2.3	22	15	3
6	Inicial	Natural	2.3	22	15	3
7	Inicial	Completa	2.3	22	15	3
8	Inicial	Manta	2.3	22	15	3
1	Final	Semente	2.7	26	15	2
2	Final	Manta	2.0	65	24	2
3	Final	Natural	2.1	14	11	9
4	Final	Completa	2.4	28	18	2
5	Final	Semente	2.7	26	15	2
6	Final	Natural	2.1	14	11	9
7	Final	Completa	2.4	28	18	2
8	Final	Manta	2.0	65	24	2

Para os dados acima descritos foi utilizada uma análise de variância multivariada (Manova) com equação de verossimilhança (Bolker, 2008) onde a variação é definida pelos interceptos. A distribuição do erro das variáveis resposta, mineral por tratamento e evento, foi considerado como sendo Normal Multivariada. As médias para cada mineral também foram estimadas a partir da equação de verossimilhança (Bolker, 2008), enquanto a matriz de covariância foi amostrada a partir de uma distribuição de Wishart (Wishart, 1928).

A variação individual foi acessada da mesma forma que no modelo polinomial aplicado à perda de sedimento. Os coeficientes, neste caso interceptos β , também foram estimados com base em distribuições normais multivariadas (NMV), com vetores de médias para cada mineral h e por evento e por tratamento j , além de dois parâmetros de interação entre evento e tratamento que estimam interceptos com covariâncias em ambos os sentidos.

As matrizes de covariância $\sigma.inv$, utilizadas na estimativa dos coeficientes da MANOVA, foram amostradas a partir de distribuições de Wishart (1928), com dois e quatro graus de liberdade estimadas a partir de $W.1$ e $W.2$ matrizes identidade de zeros e diagonais de uns.

6. CONCLUSÕES

Através deste estudo pode-se concluir que tanto a técnica da biomanta quanto a da cobertura de juta biodegradável foram extremamente eficientes no controle do processo erosivo dentro da escala proposta na pesquisa.

Com o uso de qualquer uma das duas técnicas, o volume de material carregado durante as chuvas de verão do ano de 2017, ao longo dos noventa e quatro dias de estudo de campo, foi nulo. O solo, nestes casos, manteve-se estável e preservou suas características originais.

Os resultados apresentados nas parcelas de controle mostraram maiores massas de sedimento dentre todas as alternativas propostas, confirmando as expectativas iniciais. O não cultivo do terreno foi a pior situação no tocante a perdas de solo, corroborando com o que já havia sido apresentado por Jorge (1969) ao afirmar que “a perda de nutrientes em função da erosão é sempre muito maior que a perda causada por qualquer tipo de cultivo”.

Segundo a literatura, a perda de massa de sedimento do solo está diretamente ligada à intensidade da chuva. Porém, analisando os dados obtidos no início e no final da presente pesquisa, conclui-se que tal afirmação deve ser apreciada com ressalvas, uma vez que os eventos registrados no início do estudo causaram maiores estragos, no tocante a perda de material, quanto comparados a eventos similares que ocorreram no final do experimento, o que leva a crer que as camadas de solo, mais profundas estão mais compactadas e oferecem maior resistência que as capas mais superficiais.

Com respeito ao controle de espécies invasoras, pode-se concluir que a biomanta teve a maior eficácia dentre todas as soluções propostas, pois utilizando esta solução foi registrado o maior período sem o aparecimento e o crescimento da invasora *Brachiaria sp.*. A justificativa para este fato foi que a densidade desta solução, sua alta gramatura e espessura impediram que a luz chegasse ao solo, sombreando o terreno estudado. Sendo assim, podemos concluir que se o objetivo for o controle de espécies invasoras ou não desejadas, a técnica da biomanta deve ser viável.

Quanto ao controle do processo de erosão e das perdas de solo em um talude, que foi o objetivo macro desta pesquisa, foi possível concluir que,

apesar de tanto a solução da biomanta quanto a solução de juta simples terem sido efetivas, esta última se mostrou mais adequada, visto que o processo construtivo da biomanta é mais complexo e possuiu maior dificuldade de manuseio e instalação.

Os resultados químicos confirmaram que através do uso de qualquer uma das três soluções propostas nesta pesquisa houve uma tendência de conservação do solo, visto que os elementos químicos analisados permaneceram no local do estudo ao longo do período analisado.

Com relação a perda de carbono o estudo demonstrou que houve um incremento do carbono orgânico total na base, evidenciando o empobrecimento do solo pelo escoamento superficial. No momento em que foi feita a primeira roçagem o cenário natural foi acelerado, a dinâmica dos materiais do talude foi alterada, os nutrientes foram levados para a base, com o crescimento da vegetação as perdas passaram a diminuir.

Ao final, é possível concluir que qualquer uma das três técnicas empregadas pode ser útil a depender da finalidade desejada. Caso seja para controle erosivo, a juta é a mais adequada; caso seja para controle de espécies invasoras, a biomanta é a opção que poderá ser mais viável; ou se simplesmente se deseja manter a fertilidade do local, a hidrossemeadura poderá ser uma boa alternativa. Independentemente da técnica escolhida, qualquer uma delas sempre será melhor do que deixar o solo exposto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 13600: SOLO – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. Rio de Janeiro/RJ, 1996.
- AGOSTINETTO, Dirceu *et al.* Manejo de plantas daninhas. Embrapa Trigo- Capítulo em livro científico (ALICE), 235-255p., 2015.
- ALBALADEJO MONTORO, J. *et al.* Three Hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes. *Land Degradation & Development* 11. 315-325 p., 2000.
- ALBERTE, E. P. V., CARNEIRO, A. P., & KAN, L. Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. *Diálogos & Ciência—Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana*. Ano III, Feira de Santana, 1-15 p., 2005.
- ALHO, A. A. Erosão e estabilização biológica de taludes. 2ª edição. Lisboa: SIME, 2006.
- ÁLVAREZ-MOZOS, J., ABAD, E., GIMÉNEZ, R., CAMPO, M. A., GOÑI, M., ARIVE, M., ... & DIEGO, I. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. *Catena*, 168-178, 2014.
- ALVES JÚNIOR, R.F. Utilização da técnica de hidrossemeadura na recuperação de áreas degradadas pela mineração. Uma revisão de literatura. Viçosa: S.I.F., 206-233 p., 1997..
- ANDRADE, C. *et al.* Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental, In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 27 p., 1998.
- BARTH, R.C. Reclamation technology for tailing impoundments *Mineral & Energy Resources*, Golden, Co, v.29, n.2, p.1-25, 1986.
- BASSO, F. A.. Hidrossemeadura com espécies arbustivo-arbóreas nativas para preenchimento de áreas degradadas na serra do mar. Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP 2008,.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo, Ícone Editora, Campinas, SP. 1990.
- BEUTLER, A. N. *et al.* Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, 2001.

- BOLKER, B. M. Ecological Models and Data in R, 1st ed. Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2008.
- BRADFORD, J.M. e FOSTER, G.R. Interrill soil erosion and slope steepness factors. Soil Science Society of America Journal. p. 909-915. 1996.
- BRANDY, N.C. e WEIL, R.R. The nature and properties of soils. New Jersey. 13th Edition, 1996.
- CAMPANARI, M. L. R. Análise do crescimento da braquiária e demais formações vegetais na implementação de biomanta para contenção de taludes, bem como sua eficiência na região estudada. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental – ICTS – UNESP, Sorocaba, SP. 2018.
- CAPAZ, R.; NOGUEIRA, L. Ciências Ambientais para Engenharia, Elsevier Brasil 2016.
- CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – UNICAMP). Clima dos Municípios Paulistas. Acesso em Abril de 2018. Link: <https://www.cpa.unicamp.br>
- CERDÁ, A. *et al.* Catch crops impact on soil water infiltration in vineyards. In: EGU General Assembly Conference Abstracts. p. 3922, 2017.
- CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha, Acta Amazonica, v. 12, p. 47-60, 1982.
- COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e enconstas. Belo Horizonte, FAPI Ltda., 20 p., 2016.
- CORRÊA, I.C.S., Topografia aplicada à Engenharia Civil. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre-RS. 124p., 2006.
- CUNHA, S. B. Bacias hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil, 229-272 p., 1998.
- DABNEY, S.M.; GUMIERE, S.J. Erosion by water: vegetation control. In: Jorgensen, S.E. Encyclopedia of Environmental Management, Taylor & Francis, New York, 2013.
- DE CUESTER, T. e HOITINK, H. Prospects for composts and biocontrol agents as substitutes for methyl bromide in biological control of plant diseases. Compost Science & Utilization, v. 7, n. 3 p. 6-15. 1999.
- DE MEDEIROS, M. A.; URSULINO ALVES, E.; URSULINO ALVES, A.. Qualidade de sementes de pitombeira em função do período e da temperatura de secagem. Seminario: Ciências Agrárias, v. 36, , 2015.

- DE TOLEDO CARVALHO, M. R.; DO NASCIMENTO DIAS, G. A.; SOARES, J. A.. Estudo Experimental do Efeito da Argilosidade Sobre as Propriedades Físicas de Solos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 39, n. 2, 108-115 p., 2016.
- DIAZ, E. *et al.* Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma*, 63, 277-288, 1994.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª Edição – Rio de Janeiro, 15 p., 1997.
- ENCYCLOPEDIA OF SOIL SCIENCE. Carbon cyclin and formation of soil organic matter. University of Guelph, Onatario, Canada, 91-97 p., 2008.
- EINLOFT, R. *et al.* Seleção de gramíneas e leguminosas utilizadas para revegetação de taludes em sacos de aniagem e plantio em covas, in: Simpósio nacional de recuperação de áreas degradadas Sinrad, 329-338 p., 1997.
- ETTLIN, L.; STEWART, B. Yard debris compost for erosion control, *Biocycle Journal*, Emmaus P.A., n.34, 46-47 p., 1993.
- FAUCETTE, L.B; JORDAM, C.F.; RISSE, L.M.; CABRERA, M., COLEMAN, D.C. e WEST, L.T. Evaluation of storm water from compost and conventional erosion control practices in construction activities. *Journal of soil and water conservation*. p. 288-297. 2005.
- FAUCETTE, L.B; JORDAM, C.F.; RISSE, L.M.; CABRERA, M., COLEMAN, D.C. e WEST, L.T. Vegetation and soil quality effects from hydrosseed and compost blankets used for erosion control in construction activities. *Journal of Soil and Water Conservation*. p. 355-362. 2006.
- FLECK, N.G. Princípios do controle de plantas daninhas. Porto Alegre: UFRGS, 70 p., 1992.
- FLORINETH, F. Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik, Patzer Verlag Berlin – Hannover, ISBN 3-87617-107-5, 282 Seiten, 2004.
- FULLEN, M.A., BOOTH, C.A., Grass ley set-aside and soil organic matter dynamics on sandy soil in Shopshire, UK, *Earth Surf, The Journal of the British Geomorphological Research Group*, v. 31, n. 5, 570-578 p., 2006.
- FURTINI NETO, A. E. *et al.* Fertilização em reflorestamento com espécies nativas, in: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal, Piracicaba, 351- 383 p., 2000.
- GALETI, P.A. Conservação do solo; Reflorestamento, Clima. IMPRES Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 279 p., 1972.

- GARIGLIO, M. A utilização de revestimento vegetal na proteção contra erosões. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 29-32 p., 1987..
- GOCO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, 2013.
- GOMES, N. P.; FILIZOLA, H.F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Jaguariúna: EMBRAPA, 2006.
- GROHMANN R.; CATANI R.A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do arenito Bauru, *Bragantia*, v. 9, n. 5-8,1949.
- GYSSELS, G.; POESEN, J.; BOCHET, E.; LI, Y. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water. *Progress in Physical Geography*, 29(2), 189-217 p., 2005.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 149-209 p., 2001.
- GUERRA, A; J. Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas, Rio de Janeiro, Oficina de Textos, 2013.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação*, Brasília, 96 p., 1990.
- JOLY, A.B. *Botânica: Introdução à taxonomia vegetal*. Biblioteca Universitária / Companhia Editora Nacional, São Paulo – SP, 1987.
- JORGE, J.A. *Solos: manejo e adubação*, Edições Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo. 225 p., 1969.
- KAEMPF, I., HÖLZEL, N., STÖRRLE, M., BROLL, G. KIEHL, K. Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: A meta-analysis of land-use effects. *Science of the Total Environment*, 566, 428-435 p., 2016.
- Kentucky Erosion Prevention and Sediment Control Field Guide. Kentucky Environmental and Public Protection Cabinet and Tetra Tech. Virginia. 2005.
- KETTENRING, K.M. ADAMS, C.R. Lessons learned from invasive plant control experiments: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 48, 970-979 p., 2011.

KIEHL, E.J. Fertilizantes Orgânicos, Editora Agronômica Ceres Ltda. 492 p., 1985.

KRETSCHMER JR., A. E.; PITMAN, W. D. Tropical and subtropical forages. An introduction to grassland agriculture, 5. Ed., Iowa University Press, p. 283-304, 1995

LEITE, L.F.C.; Matéria Orgânica do Solo. Teresina: EMBRAPA Meio Norte, 32 p., 2004.

LEPSCH, I.F. Solos: formação e conservação, São Paulo, Melhoramentos, 157p., 1993.

LOMBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

M.A.R. Ministerio de Agricultura y Riego, Degradación del suelo, Lima-Peru, 2014.

MAGALHÃES, R. A. *et al.* Erosão: definições, tipos e formas de controle, Simpósio Nacional De Controle De Erosão, v. 7, 1-11 p., 2001.

MALVESTIO, L. M. *et al.* Variabilidade da precipitação pluviométrica da região Sudeste do Brasil no período chuvoso e suas consequências ambientais, Dissertação de Mestrado, 2013.

MARIANI, P. P.. Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes, Dissertação de Mestrado, 2016.

MARQUES, R. A degradação do solo por meio da erosão: principais agentes condicionantes e impactos socioambientais causados por voçorocas no lago do Zé Açú, Parintins-AM, Trabalho de Conclusão de Curso, 2017.

MASSAD, F. Obras de terra: curso básico de geotecnia. Oficina de textos, 2010.

- MELO, F. L. *et al.* Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 5, 116-124 p., 2014.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Espécies exóticas invasoras. Acesso em junho de 2018. Link: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras>
- MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach, Silsoe College, Cranfield University, UK. London: Chapman e Hall, 274 p., 1995.
- MUZZI, E.; ROFTI, F.; BAGNERESI, U. Revegetation techniques on clay soil slopes in Northern Italy. *Land Degradation & Development*. 127-137 p., 1997
- NEVES, P. F.; SOUSA, M. R.; OLIVEIRA, J. Influência da cobertura vegetal na resistência ao escoamento de taludes, Universidade Técnica de Lisboa, 2006.
- ODUM, E.P. *Ecologia*, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- OSBORNE, Robert I.; BERNOT, Melody J.; FINDLAY, Stuart EG. Changes in nitrogen cycling processes along a salinity gradient in tidal wetlands of the Hudson River, New York, USA. *Wetlands*, v. 35, n. 2, p. 323-334, 2015.
- PALM, C., SANCHEZ, P., AHAMED, S. AWITI, A. Soils: A contemporary perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 99-129 p., 2007.
- PICCOLO, A. e MBAGWU, J.S.C. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Amsterdam. Plant and soil*, v. 123, n. 1, 1990.
- PLUMMER, M. JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling, Austria: Vienna University of Technology, 2003.
- PRIMAVESI, A.M, *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. NBL Editora. 2002.

- QUINTA-NOVA, L. C. A engenharia natural na reabilitação ambiental de áreas degradadas, 2.º Seminário Ibérico “Intervenções Raianas no Combate à Desertificação”, 2013.
- R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017.
- RAMOS, M. Matos do Parque Natural de Montesinho - Erosão Hídrica e Dinâmica do Carbono: Um estudo à micro-escala com Simulação de Chuva, Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, Tese de Doutorado, 85 p., 2008.
- RHEINHEIMER, D.S.; CAMPOS, B.C.; GIACOMINI, S.J.; CONCEIÇÃO, P.C.; BORTOLUZZI E.C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. *Brasileira Ci. Solo*, 435-440 p., 2008.
- ROBERTS, E.H. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, Wageningen, v.1 p.499-514, 1973.
- ROBERTSON, S. Direct estimation of organic matter by loss of ignition: methods, SFU Soil Science Lab, Burnaby 11p., 2011.
- RODRIGUES, J. E. Estudos de Fenômenos Erosivos acelerados – Boçorocas, Tese de Doutorado em Engenharia dos Transportes. EESC-USP, São Carlos, 1982.
- SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B., Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, n. 2, 32-49 p., 2014.
- SILVA, A. GS B. *et al.* Influência da declividade do solo nos processos erosivos na microbacia córrego Santo Inácio – Mg. *In: Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura-CENAR*. 2016.
- SILVA, D.S.M., DIAS-FILHO, M.B. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com pastagens de Brachiaria brizantha e Brachiaria humidicola de diferentes idades. *Planta Daninha*, 19, 179-185 p., 2001.
- SIMÕES, D. Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro-Florestais e Ambientais, Especialização em Análise de Informação Geográfica., 74 p., 2013.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas*, Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 236p., 1988.

- SOBRAL, M. L. V. *et al.* Revestimento flexível com geomanta reforçada para solo grampeado em taludes de Angra dos Reis, 2012.
- TILTON, L.; Hydroseeding: keeping the soil in place after you are gone. *Erosion Control*. 56-63 p., 1996
- TSUCHIYA, L.H. Eficácia do uso integrado de duas técnicas de conservação e recuperação de solos (mulch e hidrossemeadura): comparação de perdas de solo e da dinâmica da matéria orgânica do solo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). ICTS – UNESP. 2017.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Recursos Hídricos no Século XXI, 2011.
- USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. Stormwater phase II final rule: Construction site runoff control minimum measure. Washington. 2000
- VERDYOL HIDROSSEMEADURA Implementação e manejo de gramíneas em Estradas e Rodovias, Simpósio Sobre Gramados “Produção, Implantação E Manutenção”, Anais. Botucatu, 2002.
- VITTE, A.C.; MELLO, J.P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico, *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 107, 2007.
- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 763-774 p., 2004.
- ZACHAR, D. Soil Erosion. *Development in Soil Science* 10, Elsevier Scientific Publishing Company, Brastislava, Czechoslovakia, 1982.
- WANDT, P. G. S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. EMBRAPA, 2003.
- WILLIAMS DG, Baruch Z. African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology. *Biological Invasions*, 2:123-140, 2000.
- WISHART, J. The Generalised Product Moment Distribution in Samples from a Normal Multivariate Population, *Biometrika*. JSTOR, 32–52 p., 1928.