Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

LUCAS HUBACEK TSUCHIYA

ANÁLISE DE EFICÁCIA POR MEIO DE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDRO-ECOLÓGICOS DO USO DA BIOMANTA

Sorocaba
2021

LUCAS HUBACEK TSUCHIYA

ANÁLISE DE EFICÁCIA POR MEIO DE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDRO-ECOLÓGICOS DO USO DA BIOMANTA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração em Saneamento.

Orientador: Prof. Assoc. Alexandre Marco da Silva

Sorocaba
2021

T882a

Tsuchiya, Lucas Hubacek
Análise de eficácia por meio de indicadores físicos, químicos e hidro-ecológicos do uso da biomanta / Lucas Hubacek Tsuchiya. -- Sorocaba, 2021
66 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba

1. Geossintéticos. 2. Juta. 3. Solos Erosão. 4. Recuperação e remediação ambiental. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUCAS HUBACEK TSUCHIYA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de agosto do ano de 2021, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUCAS HUBACEK TSUCHIYA, intitulada **USO DA BIOMANTA DE JUTA PARA RECONDICIONAR SOLOS E LIMITAR O CRESCIMENTO DE PLANTAS INVASORAS: ANÁLISE DE EFICÁCIA POR MEIO DE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDRO-ECOLÓGICOS**. A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Profa. Dra. ANNA SÍLVIA PALCHECO PEIXOTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / FEB/UNESP/Bauru (SP), Prof. Dr. DIEGO JAVIER PEREZ ORTEGA (Participação Virtual) do(a) DEPARTAMENTO DE INGENIERA / UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final:_ _ _ _ _ APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Alexandre Marco da Silva

Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:
Lucas Hubacek Tsuchiya

DE: "USO DE BIOMANTA DE JUTA PARA RECONDICIONAR SOLOS E LIMITAR O CRESCIMENTO DE PLANTAS INVASORAS: ANÁLISE DE EFICÁCIA POR MEIO DE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDRO-ECOLÓGICOS"

PARA:
Análise da eficácia por meio de indicadores físicos, químicos e hidro-ecológicos do uso da biomanta.

Bauru, 30 de agosto de 2021.

Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva
Orientador(a)

FEB FACULDADE DE ENGENHARIA BAURU
Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

AGRADECIMENTOS

A minha família por acreditar em meus sonhos e por fazerem parte de mais uma etapa da minha vida mesmo que distantes. Aos amigos que deram conselhos e suporte durante a elaboração do projeto. A minha namorada pela paciência e apoio ao longo do mestrado. Ao meu orientador, Prof. Assoc. Alexandre Marco da Silva, que além de oferecer um ótimo apoio, tornou possível a realização desse projeto e esteve sempre à disposição para eventuais questionamentos. A Prefeitura de Sorocaba e aos funcionários do aterro de inertes de Sorocaba que liberaram nossa entrada para coleta de material destinado ao experimento. Aos responsáveis e representantes da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – Campus José Crespo Gonzales, que viabilizaram a execução do experimento nas dependências da instituição, tornando possível a realização do projeto mesmo com as adversidades da pandemia do COVID-19. Ao Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini e a Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pereira Antunes pelo uso dos equipamentos do Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas (NATEL) no campus da UNESP Sorocaba. Aos demais funcionários da UNESP e professores da banca que se colocaram à disposição de avaliar o trabalho e indicar melhorias para o projeto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

ANÁLISE DE EFICÁCIA POR MEIO DE INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E HIDRO-ECOLÓGICOS DO USO DA BIOMANTA

Candidato: Lucas Hubacek Tsuchiya

Orientador: Alexandre Marco da Silva

Resumo

A degradação dos solos tem sido potencializada pela expansão urbana e pela ausência de práticas de manejo adequadas. Problemas como erosão hídrica, ausência de cobertura vegetal e o aumento da disseminação de espécies exóticas invasoras são realidades enfrentadas por muitas regiões do Brasil e do mundo. Como medidas contentivas e preventivas são adotadas técnicas de geotecnia e saneamento ambiental com a finalidade de manter a qualidade e a disposição dos recursos naturais. Entre as técnicas disponíveis estão presentes o uso de geossintéticos como camada protetora para taludes de rodovias, agricultura e nas margens de rios. Os geossintéticos são desenvolvidos a partir de cadeias poliméricas sintéticas ou naturais. As fibras naturais são de origem animal, vegetal ou mineral, sendo biodegradáveis com o tempo e não liberam substâncias nocivas ao solo. Desta forma, este trabalho tem por objetivo entender as possíveis alterações no solo e no controle do crescimento de espécies invasoras após aplicação de uma biomanta de juta preenchida com capim seco. A pesquisa foi realizada no município de Sorocaba – SP, em um talude localizado nas dependências do Campus José Crespo Gonzales da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. O experimento consistiu na construção de 6 parcelas com 2 condições de tratamento, sendo um com a aplicação da biomanta de juta e a outra controle (solo exposto). Foram realizadas coletas de solo e fotografias quinzenais, durante o período de dez. 2019 até mai. 2020. Nas parcelas foram feitas análises de microtopografia, infiltração de água no solo, quantificação de carbono orgânico total (COT), hidrofobicidade. Os resultados obtidos pelas análises demonstraram a eficiência da biomanta de juta em reduzir 30% do crescimento de vegetação invasora, e na proteção do solo contra a lixiviação de nutrientes. A aplicação do geossintético também auxiliou na retenção de água, mantendo a condição de umidade do solo.

Palavras-chave: juta, proteção de solo, geossintético, lixiviação de nutrientes, controle de vegetação.

EFFICIENCY ANALYSIS BY PHYSICAL, CHEMICAL AND HYDRO-ECOLOGICAL INDICATORS ABOUT THE USE OF BIOBLANKET

Applicant: Lucas Hubacek Tsuchiya

Advisor: Alexandre Marco da Silva

Abstract

Land degradation has increased by urban expansion and poor management practices. Problems such as water erosion, lack of vegetation cover, and the increase of invasive alien species are realities faced by many regions of Brazil and the rest of the world. As containment measures, geotechnical and environmental sanitation techniques are adopted to maintain the quality and availability of natural resources. Among the available techniques are the use of geosynthetics as a protective layer for embankments on highways, agriculture, and on the banks of rivers. Geosynthetics are developed from synthetic or natural polymer chains. Natural fibers are of animal, vegetable, or mineral origin, being biodegradable over time, and do not release harmful substances to the soil. This work aims to understand possible changes in the soil and the control of the growth of invasive species after the application of a jute bioblanket filled with dry grass. The research was carried out in the city of Sorocaba - SP, on a slope located on the premises of José Crespo Gonzales Campus of the Sorocaba Faculty of Technology. The experiment consisted of the construction of 6 plots with 2 treatment conditions, one with an application of the jute bioblanket, and the other control (exposed soil). Soil samples and photographs were made fortnightly, from Dec. 2019 until May. 2020. In the plots, microtopography analyzes, water infiltration in the soil, quantification of total organic carbon (TOC), hydrophobicity was carried out. The results obtained by the analyzes demonstrated the efficiency of jute bioblanket in reducing 30% of the growth of invasive vegetation, and in protecting soil against nutrient leaching. The application of geosynthetic also helped to retain water, maintaining the condition of soil moisture.

Keywords: *jute, soil protection, geosynthetic, nutrients leaching, vegetation control.*

Índice de Figuras

Figura 1. A degradação do solo atrelada aos processos erosivos e ao crescimento de espécies de plantas invasoras. 4
Figura 2. Variáveis de estudo na aplicação de geossintético de fibra natural (juta) com mulch (capim seco) sobre talude. 15
Figura 3. Localização da área do experimento nas dependências da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. 16
Figura 4. Disposição aleatória das parcelas com tratamento biomanta e controle. 17
Figuras 5a e 5b. Preenchimento e montagem das biomantas de juta. (5a). Processo de confecção de uma das biomantas. (5b). Biomanta já preenchida, com camada superior de juta já colocada e faltando somente a costura final. 18
Figura 6. Costurando as extremidades do tecido de juta. 18
Figura 7. Área experimental após o posicionamento das biomantas. 19
Figura 8. Distância entre a Estação Automática (A713) e o local do experimento. 20
Figura 9. Medição de altura para geração de perfil microtopográfico do talude de estudo. 21
Figuras 10a e 10b. Tubo de PVC simples com marcação graduada. (9a). Equipamento instalado para início do experimento. (9b). Preenchimento de água para início do monitoramento do processo de infiltração. 22
Figura 11. Precipitação quinzenal entre as coletas realizadas. 29
Figura 12. Precipitação acumulada durante o período do experimento para os cinco anos anteriores. 30
Figura 13. Microtopografia da superfície das parcelas controle. (i) – valores dispostos em cm. (ii) – as parcelas foram identificadas pela denominação PX, onde x é o número da respectiva parcela. 31
Figura 14. Microtopografia da superfície das parcelas com biomanta. (i) – valores dispostos em cm. (ii) – as parcelas foram identificadas pela denominação PX, onde x é o número da respectiva parcela. 32
Figura 15. Taxa de infiltração correspondente a condição inicial e após instalação dos tratamentos. 33
Figura 16. Comparativo entre o teor de umidade do solo na condição controle e com aplicação da biomanta. 34

Figura 17. Comparação dos valores de Condutividade Elétrica (CE) nas parcelas Controle e Biomanta. 35
Figura 18. pH das amostras de solo determinado em Cloreto de Cálcio ($CaCl_2$). 36
Figura 19. Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (mmolc.dm^{-3}). 37
Figura 20. Relação da Soma de Bases (mmolc.dm^{-3}) para o experimento. 37
Figura 21. Saturação por Base (V%) das amostras coletadas. 38
Figura 22. Matéria Orgânica (g.dm^{-3}) presente no solo. 38
Figura 23. Acidez Potencial (mmolc.dm^{-3}) durante a realização do experimento. 39
Figura 24. Concentração média de Carbono Orgânico Total (COT) – Biomanta x Controle. 40
Figura 25. Diferença de tempo médio (s) na dissipação da gota pipetada para teste de hidrofobicidade do solo na condição controle e com aplicação de biomanta. 41
Figura 26. Exemplificações da (a) Análise do crescimento da vegetação em janeiro – P1 (Controle) (06/01/20); (b) Análise do crescimento da vegetação em março – P1 (Controle) (16/03/20). 42
Figura 27. Acompanhamento do crescimento quinzenal da vegetação (% de verde) nas parcelas com biomanta e controle. 43

Índice de Tabelas

Tabela 1. Classificação de Grau de Repelência a partir do tempo de dissipação da gota d'água. 26
Tabela 2. Precipitação mensal no município de Sorocaba, estação automática (A713). ... 29
Tabela 3. Densidade média do solo obtido antes e com o término do experimento..... 34
Tabela 4. Quantificação dos nutrientes presentes nas amostras de solo para as condições iniciais e para o tratamento/controle..... 36
Tabela 5. Tempo médio de dissipação de uma gota. 40

Sumário

RESUMO I

ABSTRACT II

ÍNDICE DE FIGURAS III

ÍNDICE DE TABELAS V

SUMÁRIO VI

1 INTRODUÇÃO 1

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS 3

2.1 HIPÓTESES 3

2.1.1 Hipótese 1 ..... *3*

2.1.2 Hipótese 2 ..... *3*

2.2 OBJETIVO GERAL 3

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4

3.1 CONCEITOS DE SOLO, USO DO SOLO E PROCESSOS EROSIVOS 4

3.2 O PAPEL DA VEGETAÇÃO E DA MATÉRIA ORGÂNICA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO 7

3.2.1 Macro e micronutrientes do solo *8*

3.2.2 A manutenção de água no solo *9*

3.3 A BIOENGENHARIA APLICADA EM AÇÕES DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE SOLOS 10

3.4 A APLICAÇÃO DO GEOSSINTÉTICO DE JUTA E SUA RELAÇÃO SOLO/ÁGUA 12

4 MATERIAL E MÉTODOS 15

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 15

4.2 CONSTRUÇÃO DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS 16

4.3 OBTENÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS 20

4.4 ANÁLISE DA MICROTOPOGRAFIA 20

4.5 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO 22

4.6 ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) 23

4.6.1 Análises Físicas *23*

4.6.2 Análises Químicas *24*

4.6.3 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT) *24*

4.7 HIDROFOBICIDADE 25

4.8 MONITORAMENTO DO CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO 26

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS 26

5 RESULTADOS 29

5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS 29

5.2 MICROTOPOGRAFIA 30

5.3 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO 33

5.4 ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) 33

5.4.1 Análises Físicas 33

5.4.2 Análises Químicas 35

5.4.3 Carbono Orgânico Total (COT) 39

5.5 HIDROFOBICIDADE 40

5.6 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO 41

6 DISCUSSÃO 44

6.1 ANÁLISE DA PLUVIOMETRIA 44

6.2 ALTERAÇÕES NA MICROTOPOGRAFIA DO SOLO 44

6.3 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO 45

6.4 VARIAÇÕES NAS ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E NO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) 46

6.5 INDICADORES AMBIENTAIS: HIDROFOBICIDADE E CONTROLE DE CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO INVASORA 49

6.5.1 Hidrofobicidade 49

6.5.2 Controle de Crescimento de Vegetação Invasora 50

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES 52

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos é acompanhada pelo desenvolvimento humano através da exploração e ocupação de terras ao longo dos séculos. O crescimento populacional fez com que grande parte da vegetação nativa fosse suprimida para a criação de campos agrícolas e a construção de cidades. A ausência de práticas conservacionistas e do manejo adequado, expuseram o solo aos processos de degradação acelerada como a erosão hídrica e a introdução desenfreada de espécies invasoras exóticas pelo mundo (NAYAKEKORALE, 2020; SLENICKA et al., 2020).

Os estudos envolvendo invasoras tiveram início somente ao final do século XX, permitindo que ocorresse uma rápida disseminação dessas espécies pelo mundo. Em termos ecológicos, o aparecimento de espécies de vegetação invasora inibe o crescimento de outras plantas através de um processo conhecido como alelopatia (KALISZ et al., 2021; THIÉBAUT et al., 2019). Desta forma, outras espécies, inclusive plantas nativas, não conseguem se propagar ocasionando em uma perda da biodiversidade e afetando diretamente o ciclo de alguns nutrientes dos solos, como do C e N (KUMAR RAI e SINGH, 2020; DOWNEY e RICHARDSON, 2016). Espécies como as do gênero *Brachiaria* spp., apresentam um crescimento agressivo, podendo gerar uma relação de alelopatia negativa com outras plantas, impedindo que se desenvolvam e diminuindo a biodiversidade (FERREIRA et al., 2020; DA SILVA et al., 2017; BARBOSA et al., 2008).

Atualmente, as técnicas de controle são baseadas em métodos químicos (uso de herbicidas) e não-químicos (fogo e roçada) (NUÑEZ et al., 2017). As escolhas e aplicações das técnicas costumam ser determinadas a partir do custo e pela disponibilidade de alternativas propostas aos proprietários de terras. Estima-se que grande parte dos herbicidas são aplicados pelos países considerados desenvolvidos, e o uso do fogo para controle, concentram-se nos países subdesenvolvidos (WEIDLICH et al., 2020). As técnicas quando utilizadas de forma inadequada podem trazer adversidades que afetam diretamente as propriedades do solo, assim como o desenvolvimento da fauna e flora (HAGNER et al., 2019; BADÍA et al., 2017).

Além da vegetação invasora, os solos do mundo são constantemente afetados pelos processos erosivos. Segundo os modelos matemáticos elaborados por Borrelli et al. (2020), mais de 60% dos solos da Terra serão afetados pela erosão hídrica até 2070. Esse fato poderá trazer consequências diretas para a produção de alimentos, assim como acelerar o processo de desertificação de corpos hídricos através do acúmulo de sedimentos provenientes de

arraste. Grande parte da degradação está associada ao mau uso do solo e a ausência de cobertura vegetal devido ao desmatamento acelerado pela expansão urbana e agrícola. Estudos demonstram que a utilização de coberturas, seja de origem orgânica ou inorgânica, contribuem na proteção do solo diminuindo o arraste de sedimentos e a intensidade com que a água atinge a superfície terrestre (KEESSTRA et al., 2019).

Em virtude dos problemas relatados, alternativas são propostas a partir do uso conjugado de técnicas já existentes na geotecnia e do saneamento ambiental, atreladas aos métodos convencionais (CHEN et al., 2019; PRAMBAUER et al., 2019; MENDES, 2018). Entre as ideias, destaca-se a utilização de fibras naturais como o uso da juta, coco, sisal, bambu, abacaxi, algodão, como mecanismo de proteção para o solo e controle de vegetação invasora (DHALIWAL, 2020; FAKHARI et al., 2019; OMAR et al., 2019). O uso de fibras naturais é uma forma alternativa às grades e mantas poliméricas, ou seja, capaz de se decompor em um tempo menor sem a necessidade de uma mão-de-obra e evitando o uso excessivo de plástico no meio ambiente. Sabe-se pela literatura que apesar das mantas poliméricas apresentarem características como alta resistência e durabilidade em projetos de construção civil, os estudos relatam prejuízos ao solo e, principalmente, para a fauna de pequenos invertebrados, afetando na reprodução de espécies, além da bioacumulação nos organismos através da ingestão de microplásticos (SELONEN et al., 2020).

Em estudo anteriormente iniciado por Mendes (2018) e Tsuchiya (2017), a proposta tinha por objetivo o desenvolvimento de uma biomanta feita a partir do tecido de juta e que fosse capaz de proteger o solo dos processos erosivos e controlar o crescimento de vegetação invasora. Na ocasião realizou-se a quantificação da perda de solo, constatando a eficiência do produto no quesito de proteção de solo. No entanto, foram observadas possíveis melhorias que poderiam contribuir para um controle efetivo do crescimento vegetal. Desta forma, dando sequência e aprimorando o projeto da biomanta, o presente trabalho propõe uma inovação na preparação do terreno após uso conjunto da aplicação de herbicida com a biomanta de juta preenchida com capim seco. O projeto visa garantir um controle efetivo do crescimento da vegetação, além de permitir compreender as interações da interface biomanta-água-solo, fundamentais para afirmar o potencial da fibra de juta em projetos de recuperação ambiental.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipóteses

Neste projeto, considerou-se as seguintes premissas para a aplicação da biomanta:

2.1.1 Hipótese 1

A inserção da biomanta de juta com preenchimento de capim seco (*mulch*) tem um potencial de provocar abafamento no solo impedindo o crescimento de vegetação invasora.

2.1.2 Hipótese 2

A biomanta de juta é capaz de conservar as estruturas físicas e as características químicas do solo, diminuindo a intensidade dos efeitos do processo erosivo.

2.2 Objetivo Geral

Testar a eficiência da biomanta de juta como atenuador do crescimento de espécies de vegetação invasora e como técnica alternativa para conservação do solo nos aspectos físicos e químicos.

2.3 Objetivos Específicos

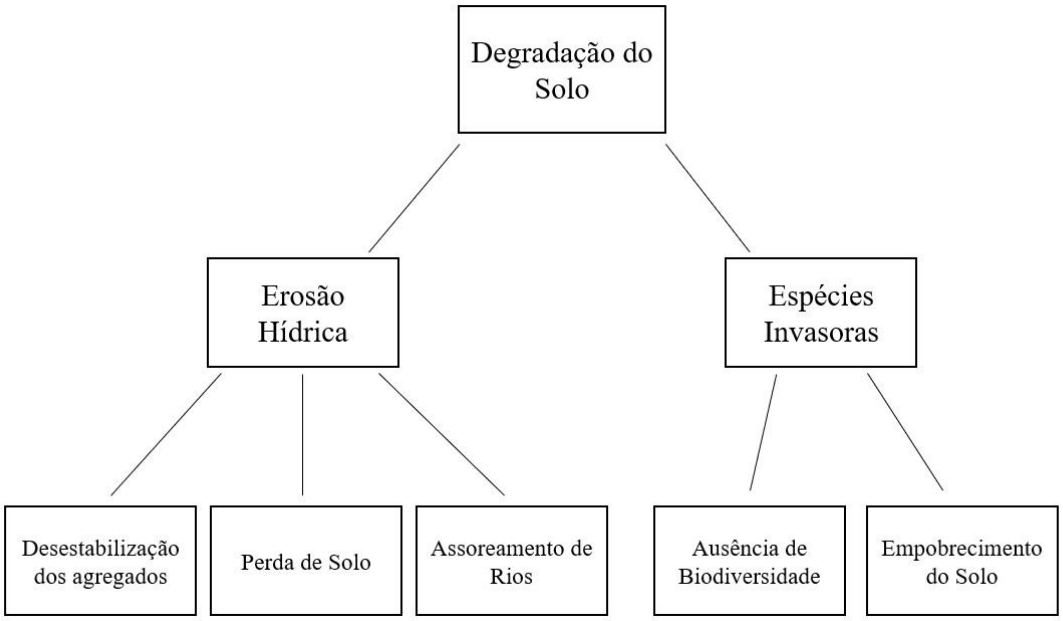
- Verificar a eficiência da biomanta de juta na proteção do solo através de uma análise de microtopografia do solo;
- Analisar as relações existentes entre a infiltração de água no solo e o uso da biomanta de juta;
- Analisar a interação água-solo antes e após colocação da biomanta de juta por meio do índice de hidrofobicidade;
- Investigar possíveis alterações na composição química e de carbono orgânico total (COT) nas amostras com e sem tratamento;
- Comparar o crescimento da vegetação invasora nas parcelas com e sem a biomanta de juta.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conceitos de solo, uso do solo e processos erosivos

A evolução humana está atrelada ao avanço das tecnologias e, como consequência uma exploração do ecossistema através da obtenção de recursos naturais. No entanto, o uso desenfreado e sem medidas sustentáveis acarreta sequelas para a fauna, flora e as características naturais do próprio ecossistema. Com o tempo, os prejuízos têm tomado forma através da redução do solo produtivo agrícola e na escassez de água potável. Esse processo é desencadeado através da degradação e ao mau uso do solo. Como foco para esse trabalho será destacado duas vertentes ligadas a erosão hídrica e ao crescimento desenfreado de plantas invasoras que comprometem a biodiversidade local (Figura 1).

Figura 1. A degradação do solo atrelada aos processos erosivos e ao crescimento de espécies de plantas invasoras.



O solo pode ser definido como base para as relações ecológicas terrestres, tendo um papel fundamental no desenvolvimento da vida e do crescimento de plantas (PAVAO-ZUCKERMAN, 2019). Nele destacam-se as funções no fornecimento de nutrientes, abastecimento e filtragem da água, além de ser um abrigo para espécies de fauna e flora. Por definição feita pela *Soil Science Society of America* (2020), o solo é um mineral não consolidado ou material orgânico que permeia a superfície da Terra, devido aos fatores ambientais como: o clima e os macro/microrganismos.

A formação do solo está ligada, principalmente, aos agentes do intemperismo (água, vento, degelo, temperatura, agentes biológicos e ação humana) e ao tempo. O desgaste de rochas faz com que ocorra o deterioramento, natural ou antrópico, provocando um acúmulo de sedimentos que posteriormente formará o solo. Na condição de excesso de desgastes associa-se o processo erosivo, este que é intensificado pela ausência da vegetação que atua como camada protetora (SCHAETZL, 2015).

A água é o agente natural responsável pelo processo de erosão hídrica. Segundo o *The United States Department of Agriculture* (USDA, 2001), a erosão hídrica é a desagregação e remoção do solo pela água. Os sedimentos são transportados para um local de baixa altitude, podendo ser um rio, córrego, lago ou retido por pedras e plantas. A retirada desses sedimentos provoca a perda dos horizontes O (orgânico) e A (*topsoil*) do solo, prejudicando o desenvolvimento de plantas e como consequência reduzindo a infiltração de água no solo (HALECKI et al., 2018).

A concentração de nutrientes e sedimentos em corpos d'água podem levar a redução de sua vazão e/ou acelerar o processo de eutrofização (EKHOLM e LETHORANTA, 2012). As partículas suspensas em altas concentrações podem afetar o sistema respiratório de peixes ocasionando na morte por asfixia (WASSERMAN et al., 2019). Além do comprometimento dos corpos hídricos, existe a preocupação com o abastecimento de água, que é diretamente afetado pela presença de compostos químicos e metais pesados provenientes da erosão do solo agrícola e do lançamento de resíduos urbanos (LUTGEN et al., 2020).

As atividades agrícolas, quando executadas sem o manejo e a gestão adequadas, são potenciais agravantes das condições de qualidade do solo. O uso intenso de maquinários pesados durante a preparação do solo pode provocar a compactação, diminuindo o volume entre as partículas e limitando o desenvolvimento das raízes das plantas no solo. Outro impacto está na redução da infiltração de água devido à rápida saturação e aumento do escoamento superficial (NCASI, 2004).

Os fatores como relevo, tipo de solo, clima local, são determinantes para a intensidade dos efeitos provocados pela erosão. Quanto maior a declividade de um terreno, maior será a velocidade com que a água percorrerá sobre a superfície, aumentando o potencial do escoamento (BAGIO et al., 2017). A presença de cobertura vegetal como gramíneas, serapilheira, podem reduzir o impacto da gota da chuva, impedindo a ocorrência do fenômeno de *splash* ou salpicamento (MORVAN et al, 2014; ZUAZO e PLEGUEZUELO, 2008).

Relativo aos parâmetros de qualidade do solo, devem ser destacadas as características como a estrutura, a porosidade, composição mineralógica, que interagem de formas diferentes no processo de degradação. Os solos arenosos, por possuírem menor coerência entre os agregados e uma alta concentração de macroporos são facilmente arrastados pela água da chuva. Em contrapartida, os solos argilosos são grãos mais finos, possuindo um grau maior de coesão e grande presença de microporos, absorvendo mais lentamente a água e tornando-se plástico quando saturados (FINCH et al., 2014; ENVIRONMENT AGENCY, 2007).

A erosão hídrica pode ocorrer de formas diferentes, recebendo denominações específicas para cada interação com o solo. A erosão decorrente da água da chuva é denominada como pluvial, podendo ser na forma de *splash*, laminar ou linear. O *splash* acontece com o impacto da gota de água no solo, ocasionando na desagregação total ou parcial de partículas do solo ou da rocha (FERNÁNDEZ-RAGA et al., 2017). A perda uniforme por camadas, denomina-se erosão laminar sendo quase imperceptível aos olhos, porém de alto impacto para agricultura e ao crescimento de plantas com a retirada de nutrientes. A formação de sulcos, ravinas e voçorocas, provocadas pela perda de solo é denominada como erosão linear (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2005).

No âmbito urbano, os efeitos são perceptíveis em rodovias, principalmente, com a queda de taludes e nas construções de moradias em encostas. O impacto urbano afeta diretamente a vida da população local, colocando em risco a vida de pessoas e suas propriedades. A impermeabilização do solo com o uso do concreto e do asfalto, aumenta os efeitos do escoamento superficial, tendo como consequência uma aceleração dos efeitos erosivos (ERCOLI et al., 2020; HOLANDA e SOARES, 2019).

Em taludes de rodovias são observados acidentes envolvendo escorregamentos devido à ausência de técnicas preventivas para controle de erosão e estabilização de taludes. Desta forma, os estudos buscam por formas de contenção que contemplem a utilização de geossintéticos, a própria vegetação e a construção de estruturas que garantam a estabilidade dos taludes em rodovias (EICKSON-PAZ et al., 2018). As técnicas são aplicadas após um levantamento prévio do talude, contemplando dados geométricos, verificando a presença de água no entorno e o grau do problema (CARVALHO et al., 1991). A normativa ABNT NBR 11682:2009 (ABNT, 2009), atualmente em atualização, define as especificações e condições técnicas para estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes.

3.2 O papel da vegetação e da matéria orgânica na manutenção da qualidade do solo

A presença da cobertura vegetal tem funções importantes na manutenção do equilíbrio do ecossistema, assim como o papel de atenuante do processo erosivo. Os estudos comprovam que o sistema radicular das plantas pode aumentar a estabilidade dos agregados do solo e estabelecer caminhos que facilitam o processo de infiltração de água (RUIZ-COMENERO et al., 2013).

A decomposição dos resíduos de plantas e de raízes também contribui com o aumento da concentração de carbono orgânico presente na matéria orgânica do solo (MOS). A formação da MOS está atrelada aos estoques de carbono e nitrogênio nos primeiros 30 cm de profundidade do solo e aos processos de ciclagem realizados pelos microrganismos (SANTOS, 2008). O nitrogênio (N) apesar de sua abundância na atmosfera, representando cerca de 78%, tem seu uso pelas plantas limitado na forma de íons de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). As bactérias fixadoras de N, através dos processos de nitrificação e desnitrificação, promovem o aproveitamento para o desenvolvimento de raízes e auxiliam no crescimento da planta (MORFORD, HOULTON e DAHLGREN, 2011).

A biodiversidade em um ecossistema influencia diretamente nos ciclos de nutrientes e no teor de matéria orgânica do solo (DYBZINSKI et al., 2008). Desta forma, os processos serão realizados com maior eficiência e disponibilizarão maiores quantidades de recursos para a manutenção e qualidade do solo. O uso de plantas, como as leguminosas e a associação de bactérias simbióticas pode contribuir na manutenção do nitrogênio do solo através do processo de fixação (WAGNER, 2011). No entanto, algumas espécies de plantas alelopáticas influenciam negativamente a germinação de sementes e no desenvolvimento de tecidos de outas plantas (FERGUSON, RATHINASABAPATHI e CHASE, 2016).

As alterações químicas, decorrentes da degradação ou contaminantes no solo, também interferem no crescimento das plantas. A ocorrência do processo de dissolução das rochas pela água da chuva pode ter como consequência a diminuição do pH, ocasionando em uma acidificação do solo. Com a acidez, o alumínio presente no solo se dissolve em uma forma tóxica (Al^{+3}), o que provoca o encurtamento radicular nas plantas, o amarelamento de folhas e a redução da eficiência das espécies de leguminosas na fixação do nitrogênio (MIGUEL et al., 2010).

3.2.1 Macro e micronutrientes do solo

As plantas, assim como todos seres vivos, necessitam de nutrientes para sobreviverem e se desenvolverem de forma saudável. Além da luz como fonte de energia, existem os macros e micronutrientes presentes no solo que auxiliam no crescimento das plantas. Os nutrientes estão presentes no solo na forma solúvel, sendo absorvidos pelas plantas nas formas de cátions e ânions. Entre os macronutrientes estão o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), nitrogênio (NH_4^+ e NO_3^-), fósforo ($H_2PO_4^-$), enxofre (SO_4^{2-}) e os micronutrientes estão o ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), zinco (Zn^{2+}), cobre (Cu^{2+}) boro (BO_4^{2-}), cloro (Cl^-) e o molibdênio (MoO_4^{2-}) (PEOPLES et al., 2014).

O potássio (K), encontra-se no solo em sua maioria na forma mineral, sendo apenas 2% disponível para absorção das plantas. No organismo vegetal, tem como função auxiliar nos processos fotossintéticos, na absorção de água no solo, nas atividades enzimáticas e síntese proteica. Em solos arenosos é facilmente lixiviado devido à baixa capacidade de troca catiônica, sendo disponível um teor médio de 0,1 a 0,3 $cmol_c\ dm^{-3}$ (HILEL, 2008, LOPES, 1998).

O cálcio (Ca), é um nutriente importante para a formação do tecido celular das plantas e no armazenamento de carboidratos e proteínas. Sua origem é derivada de rochas calcárias constituídas por Calcita ($CaCO_3$) e Dolomita ($CaMg(CO_3)_2$). O Ca também atua como um redutor da acidez do solo, diminuindo a toxicidade do Al e do Mn. Quando em grandes quantidades, pode inibir a absorção de K e Mg, provocando um desequilíbrio das interações químicas do solo (LOPES, 1998).

O magnésio (Mg) está presente nas moléculas de clorofila das plantas e tem um papel importante na capacidade de troca catiônica do solo. Sua concentração está atrelada ao pH do solo, quanto mais ácido, maior será a deficiência do Mg. Esse fato tem uma relação direta com a presença do Al tóxico (LOPES, 1998).

O fósforo (P) é o responsável pela formação da principal fonte de energia das plantas, a adenosina trifosfato (ATP). Pode ser encontrado na forma orgânica e inorgânica, está presente no húmus e em minerais primários de fosfato, tendo sua concentração aumentada em climas úmidos-quentes e reduzida em climas frios-secos. Sua disponibilidade é comprometida devido aos problemas como a erosão, escoamento e nas alterações de pH superiores a 7,5 ou inferiores a 5,5. A deficiência de P nas plantas é perceptível através da coloração roxa nos tecidos das folhas, e pode ter os efeitos intensificados pelas alterações de clima (HILEL, 2008; MENGEL e KIRKBY, 2001, LOPES, 1998).

O enxofre (S) é encontrado na matéria orgânica na forma de sulfatos e sulfetos, disponível em solos de rochas sedimentares ou vulcânicas. Em solos arenosos, o enxofre é lixiviado com uma maior intensidade pela água da chuva, sendo pouco adsorvido, o que compromete sua disponibilidade. Nas plantas, sua ausência pode provocar a clorose uniforme em folhas jovens e afetar o crescimento de caule e folhas (LOPES, 1998).

3.2.2 A manutenção de água no solo

A água atua como um agente modelador do relevo terrestre e é também a principal fonte de recurso para a vida. Um dos componentes do ciclo hidrológico é o processo de infiltração, no qual a água percorre por caminhos vazios entre os agregados do solo até que desague em um corpo d´água ou fique retida. A infiltração está atrelada as condições características do solo, podendo variar conforme a composição química, estrutural, tempo pedológico e a capacidade de infiltração (SOIL QUALITY, 2020).

A aplicação de técnicas de manejo adequado também auxilia na manutenção de água no solo, seja mantendo as condições de umidade necessárias para o desenvolvimento agrícola ou em áreas de recuperação. Sistemas como o plantio direto, demonstram que o uso de materiais como a palhada seca e o baixo revolvimento de solo, diminuem a perda de água nos processos de evaporação, criando uma barreira entre o solo e o material orgânico. O processo de decomposição da palhada favorece o aumento do teor de matéria orgânica no solo, permitindo que plantas consigam ter um desenvolvimento radicular mais profundo, abrindo caminhos para que ocorra uma melhor infiltração de água no solo e minimize a perda pelo escoamento superficial (ILHA, 2018).

As argilas constituem grãos finos (diâmetro até 0,002 mm) e uma composição mineralógica composta por silicatos de alumínio e óxidos de ferro (MORENO, 2012). O pequeno tamanho dos grãos e a capacidade de troca catiônica (CTC), fazem com que a água fique retida por um tempo maior (RONQUIM, 2010). Outro aspecto que permite maior retenção, é a microporosidade, que ao reduzir os espaços vazios entre os agregados, diminui a velocidade com que a água infiltre no solo. Em casos de chuva intensa, o solo argiloso (>40% de argila), pode ficar completamente saturado e modificar sua plasticidade para uma condição pastosa.

Nos solos arenosos, a presença de grãos grossos (diâmetro entre 0,75 mm e 2 mm), caracterizam a presença de macroporos com espaços que facilitam a percolação da água e geram uma menor estabilidade entre os agregados do solo. Neste tipo de solo, os nutrientes

são facilmente lixiviados durante as chuvas, o que dificulta o crescimento de plantas (OSMAN, 2018).

A quantidade de água infiltrada também irá variar de acordo com a capacidade de infiltração do solo e as condições iniciais. Um solo seco tende a ter uma saturação maior na zona do lençol freático, enquanto um solo em estado úmido, os poros estarão preenchidos, concentrando a saturação na região superficial. Como parte do ciclo hidrológico, uma parte da água será retornada para a atmosfera através dos processos de evapotranspiração (ET) das plantas e da evaporação da água no solo (WARING e RUNNING, 2007). Em cada tipo de solo, haverá uma capacidade de infiltração ($mm.h^{-1}$) que representará a taxa máxima de água infiltrada em um período, podendo variar na presença de uma cobertura vegetal e da microfauna (pequenos invertebrados) (HORTON, 1941).

Outra variável, é a taxa de infiltração ($mm.h^{-1}$), que está relacionada a quantidade de água que penetra no perfil do solo por tempo. Essa taxa será limitada pela capacidade que o solo pode suportar e pela intensidade da chuva. Quando a taxa de infiltração atinge o limite da capacidade do solo e a intensidade de chuva é superior, haverá uma diferença que será perdida através do escoamento superficial (BUDA, 2013). A medição da taxa de infiltração é feita *in situ* ou em laboratório, através da utilização de infiltrômetro de anéis concêntricos/simples ou infiltrômetro de Guelph.

Uma outra forma de analisar a interação do solo com a água é através do indicador de hidrofobicidade. O indicador consiste em atribuir um grau de repelência para as partículas do solo, podendo ter como base o método *Water Droplet Penetration Time*, que considera o tempo em que a gota d'água leva para se dissipar por completo após atingir a superfície do solo (MIELNIK et al., 2021; PAPIEROWSKA et al., 2018). Quanto maior o tempo de dissipação da gota, maior é grau de hidrofobicidade do solo. Desta forma, será possível determinar se houve dificuldade ou facilidade na infiltração de água no solo e auxiliar na avaliação de processos erosivos (DA SILVA et al., 2019b).

3.3 A bioengenharia aplicada em ações de conservação e recuperação de solos

A busca por soluções diante de problemas envolvendo a perda e a degradação do solo, fortalecem o uso da tecnologia como ferramenta para conservação e recuperação dos solos. Em virtude disso, conceitos como os de resiliência da natureza, têm sido incorporados as novas tecnologias, buscando entender como os processos naturais podem reduzir os

impactos provocados pela ação antrópica. Nesse contexto, surgem ideias como a bioengenharia dos solos, que tenta promover o equilíbrio entre homem-natureza, associando o uso de materiais naturais aos inertes visando a proteção, reforço contra os processos de degradação.

Atualmente, os estudos na área procuram aprimorar técnicas já existentes, além de trazer novas ideias para cada tipo de situação específica. As soluções devem estar baseadas nas características do local, como o tipo de clima, relevo, composição química e física do solo, tipo de ocupação da área, presença de corpos hídricos, origem da degradação. O conhecimento das condições iniciais permitirá determinar qual será a melhor opção de técnica para controlar o problema.

Entre as técnicas de proteção do solo contra os processos de degradação, podem ser citados: o recobrimento com uma cobertura vegetal, seja pelo uso de folhas mortas como a serapilheira (LI et al., 2014), palhada seca de trigo, arroz em campos de plantação (PARK et al., 2020; RODRIGO-COMINO et al., 2020; RAHMA et al., 2019), ou através da revegetação a partir de espécies de plantas com raízes profundas. As raízes, além de conduzirem os nutrientes para o desenvolvimento das plantas, são capazes de aumentar a estabilidade dos agregados do solo. Vannoppen et al. (2017) discutiram o potencial das raízes na redução das taxas de erosão em solos arenosos, destacando que o uso de espécies com raízes fibrosas e finas apresentaram maior eficiência para esse tipo de solo. Outras técnicas, que também podem ser aplicadas em conjunto com a revegetação, são o uso de materiais fabricados, como as mantas geossintéticas e a construção de barreiras estruturais, como medidas preventivas e de contenção.

Os materiais geossintéticos são definidos pela normativa NBR: ISO 10318-1/2021 (ABNT, 2021), como produtos em que pelo menos um dos componentes seja produzido a partir de um polímero sintético ou natural, sob a forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, que esteja em contato com o solo ou outros materiais aplicados na engenharia civil e geotécnica. Os geossintéticos podem atuar na proteção contra danos; reforço para melhorar as condições do solo; alívio de tensões; barreira prevenindo o deslocamento de sedimentos; e no controle de erosão em taludes.

As fibras de origem sintética são advindas de polímeros como o polietileno (baixa e alta densidade), poliéster, polipropileno etc. Seu uso e aplicação estão direcionados em projetos de longa duração ou que exigem a necessidade de um material mais resistente à tração e aos agentes decompositores (ERICKSON-PAZ et al., 2018; FANGUEIRO, PEREIRA e DE ARAUJO, 2008). O tempo de vida estimado para o material sintético é

superior a 20 anos (KOERNER et al., 2017). Apesar da resistência e longevidade do material, dependendo de sua aplicação, pode ser necessária mão-de-obra adicional para retirada do produto. Os estudos recentes, demonstram que, com o tempo, os produtos derivados de polímeros não biodegradáveis impactam negativamente as funções e a saúde do solo, assim como afetam a cadeia alimentar de pequenos invertebrados com a liberação e ingestão de microplásticos (GUO et al., 2020). Como alternativa para redução dos impactos provocados pelo acúmulo de plástico, surgiu-se a ideia da utilização de polímeros biodegradáveis que podem ser degradados por fungos e bactérias em um curto prazo (AL HOSNI et al., 2019; ZUMSTEIN et al., 2018).

Uma outra possibilidade de aplicação envolve o uso de biomantas feitas a partir de fibras de origem vegetal, animal ou mineral. Entre os principais exemplos estão a lã, o algodão, o bambu, o sisal, a palha, a fibra do coco, a sílica, a juta. As fibras vegetais possuem como composição química básica a celulose, o que define características como absorção de água, alta resistência, e baixa deformação. As fibras de origem animal possuem características semelhantes as fibras vegetais, porém com uma resistência menor (HAO et al., 2018). As mantas comercializadas são elaboradas a partir do entrelaçamento das fibras com métodos de costura dos fios e/ou da utilização do látex natural. Sua aplicação é feita sobre a superfície do solo, podendo ser em terrenos com altas declividades ou em locais planos, cuja principal função é a proteção contra processos erosivos e estabilização de solos (AHMAD, ULLAH e ZIAUDDIN, 2020).

Em outra vertente de estudo podem ser aplicadas obras de contenção para estabilização de taludes e a redução do aparecimento de ravinas e voçorocas (MOURA et al., 2018). A técnica a ser utilizada dependerá da gravidade do problema, sendo necessário identificar a origem para melhor efetividade. A construção de barreiras de contenção é comum para redução do escoamento superficial, de forma que ocorra a interceptação dos sedimentos na área delimitada. As barreiras são construídas com a utilização de paliçadas de bambu, toras de madeira, muros de concreto e pedra (TEIXEIRA e GUIMARÃES, 2012). Em alguns casos, recomenda-se a utilização de drenos internos, para que auxilie a retirada de água e o talude não perca a estabilidade (LIU et al., 2019).

3.4 A aplicação do geossintético de juta e sua relação solo/água

A juta é uma planta que produz uma fibra têxtil, originária das regiões tropicais da Ásia, introduzida no Brasil por imigrantes japoneses na região Amazônica, durante a década

de 1930, sendo atualmente uma fonte de renda para milhares de famílias ribeirinhas (SANTOS, 2018). No entanto, Oliveira (2013) relata uma queda nas produções do tecido de juta nos últimos tempos, devido às condições climáticas desfavoráveis na região Amazônica e dificuldades do produtor em comercializar a fibra pós-colheita. A fibra é extraída da espécie arbustiva *Corchorus capsularis* L., a partir da maceração da fibra contida entre o talo e a casca. Após ser levada para fábrica, recebe um tratamento em óleo vegetal e com auxílio de maquinários, a fibra é pressionada para aumento da resistência e redução dos fios.

A composição química da juta é formada por 65% celulose, 22% hemicelulose, 12% lignina e o restante por água e cera (AHMED et al., 2003). Entre suas propriedades, se destaca sua resistência à tração e baixo alongamento da fibra, além de ser um material biodegradável e com boa retenção de umidade (FIDELIS et al., 2013). A juta, como material geossintético, devido a sua versatilidade, passou a ter um importante uso na engenharia civil e ambiental, sendo utilizada como reforço estrutural; proteção para solos contra os processos erosivos; separação das camadas de pavimento para evitar a ocorrência de sobreposição; auxílio na capacidade de drenagem e filtração da água no solo (SANYAL, 2017).

A retenção de água através da juta, alivia a saturação dos poros do solo, mantendo a umidade por um tempo maior, além de prover recursos essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, a baixa quantidade de lignina torna a juta facilmente biodegradável, reduzindo sua vida útil para o período de 6 meses até 1 ano, dependendo das condições de clima e tipo de solo (HODAKEL, 2020). A curta vida do tecido, pode ser vista como uma vantagem para projetos de revegetação e recuperação ambiental, auxiliando na proteção do solo até que tenha condições suficientes para formação de matéria orgânica e crescimento das primeiras plantas.

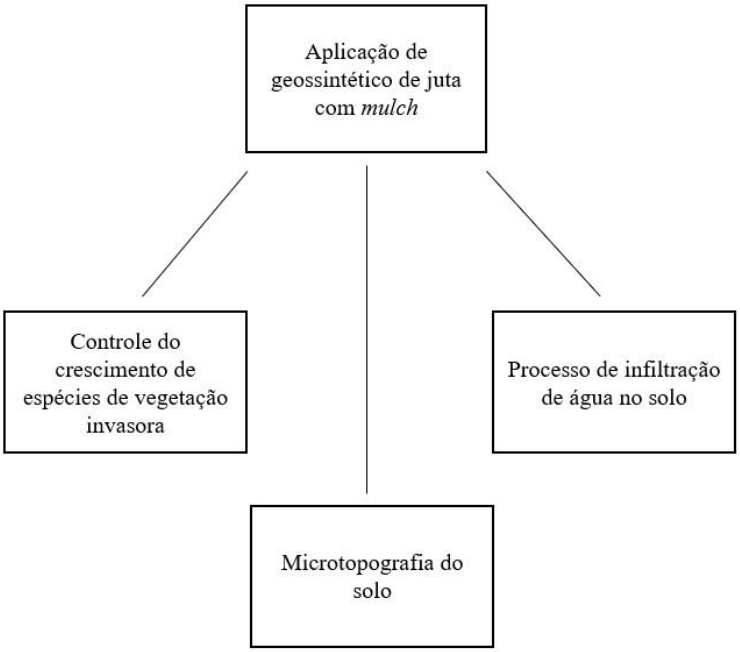
As pesquisas na área, buscam compreender desde novas aplicações até formas para otimizar as características do material para obtenção de melhores resultados. As dificuldades encontradas na aplicação de técnicas em taludes de alta declividade, faz com que haja uma demanda por melhorias que tenham um custo-benefício e sejam facilmente replicadas. Álvarez-Mozos et al. (2014) realizaram testes comparativos entre geossintéticos de fibras de juta e coco para taludes de 45º e 60º, avaliando a quantidade de solo perdido pelo processo erosivo e o comportamento do escoamento superficial para cada situação. No estudo, destacam a eficiência da juta em declividade de 45º para diminuição da perda de solo. Em outro estudo comparativo entre fibra de juta e de coco, Kalibová et al. (2016) destacam a eficiência de 99,4% na redução de perda de solo em talude com 27º sobre condições naturais.

Em Bangladesh, foram feitos testes com o material geossintético com diferentes aberturas em taludes de alta declividade para proteção de estradas rurais e margens de rios. Foi constatado que a cada 1 m² de solo com juta, foi capaz de absorver uma quantidade equivalente a 2 L de água, sendo esse valor constante ao longo do experimento até a decomposição do material (KHAN, 2016). Outros parâmetros que têm sido avaliados, são comparativos referentes a perda de nutrientes após uso de tecido de juta, na qual estima-se que a eficiência da juta quando comparado com o solo exposto em impedir a perda de nutrientes é de aproximadamente 62% (MANIVANNAN et al., 2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

As diretrizes do trabalho partem da aplicação de geossintético de fibra natural de juta preenchida com *mulch* em um talude. Buscando compreender a influência do material nos processos de infiltração, crescimento de espécies invasoras e em alterações na camada superficial provocadas pelo efeito erosivo (Figura 2).

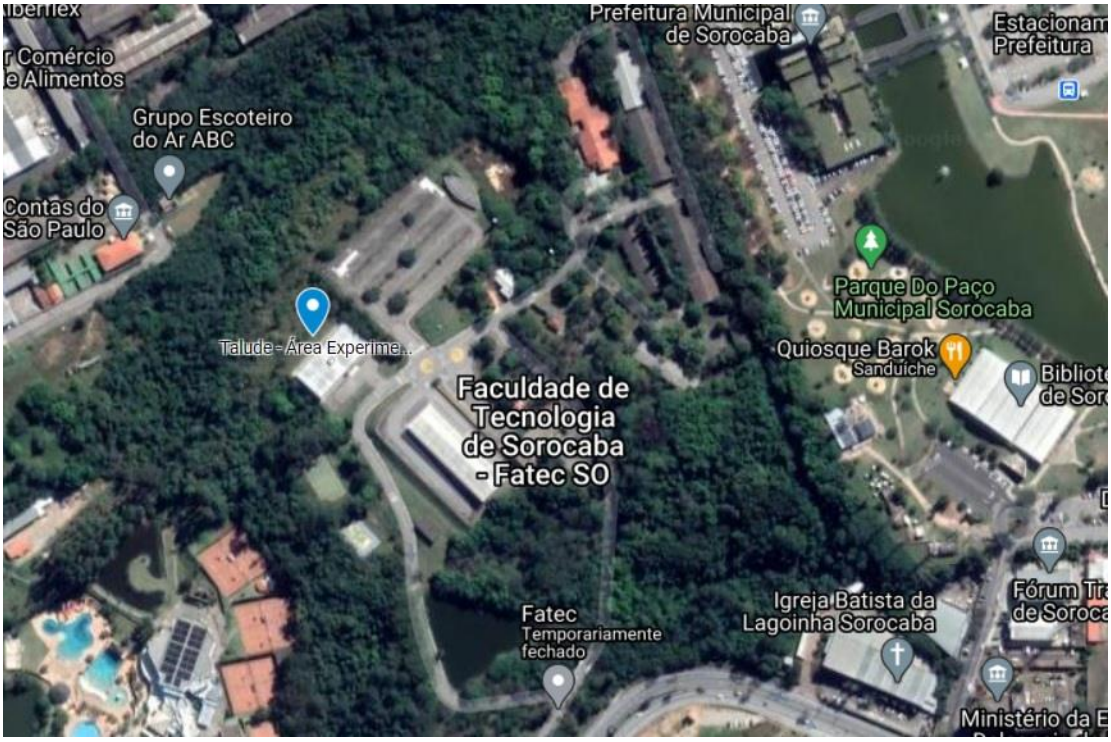
Figura 2. Variáveis de estudo na aplicação de geossintético de fibra natural (juta) com *mulch* (capim seco) sobre talude.



4.1 Caracterização da Área

A área do estudo está localizada no município de Sorocaba, na região conhecida por ser uma área industrial/residencial, no bairro Alto da Boa Vista. As instalações do projeto foram elaboradas nas dependências do Campus José Crespo Gonzales da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (FATEC-SP), em um talude próximo ao Laboratório de Informática da unidade (Figura 3). O talude de estudo, configura uma extensão de 6 m da base até o topo, tendo como referência uma canaleta de água pluvial, e uma largura de aproximadamente 10 m. A declividade do terreno é de aproximadamente 59º (167%), considerando irregularidades ao longo do terreno.

Figura 3. Localização da área do experimento nas dependências da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.



Fonte: Google Maps (2021).

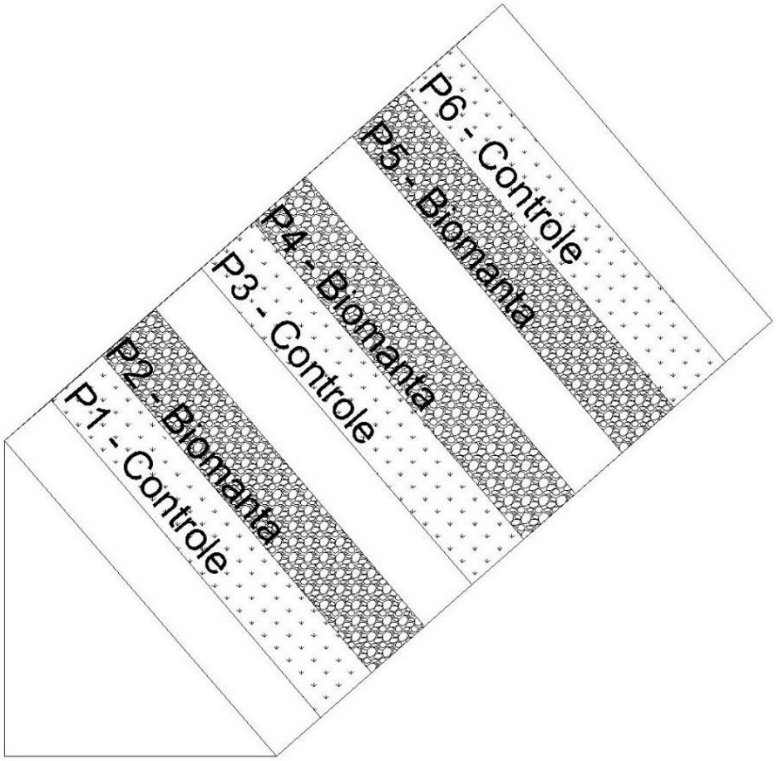
Assim como no município, a vegetação do campus é formada por fragmentos de Mata Atlântica e Cerrado, totalizando uma área de 20.000 m² (FATEC, 2020). Segundo último levantamento realizado no município, foram identificadas 1.218 espécies de fauna e flora, das quais 1.182 são nativas e 36 exóticas introduzidas (SMITH et al., 2014). O clima predominante da região é o subtropical, apresentando um verão úmido e quente, sendo os meses de novembro até março as maiores médias de temperatura. O período úmido de maior precipitação está concentrado de outubro até março, sendo o máximo de chuvas durante os meses de janeiro e fevereiro (INMET, 2020). Desta forma, se determinou que a realização do experimento abrangeria o período úmido para que houvesse o maior número de chuvas e como consequência uma maior quantidade de dados.

4.2 Construção das Parcelas Experimentais

Ao final de novembro de 2019, após a escolha da área experimental, foi feita a roçagem do talude e a coleta do capim roçado para secagem. O material ficou mantido em área coberta até o dia de preenchimento das mantas. A área experimental foi delimitada em triplicata para construção de 6 parcelas correspondentes ao tratamento com biomanta preenchida de capim seco e solo exposto (controle). O total de área utilizada para o experimento foi de

aproximadamente 84 m², sendo 60 m² de área útil (6 parcelas com 1 metro de largura por 6 m de comprimento) e 24 m² para deslocamento durante amostragem (4 corredores com 0,9 m de largura por 6 m de comprimento). A ordem dos tratamentos foi feita aleatoriamente e em pares separados por corredores, conforme a Figura 4.

Figura 4. Disposição aleatória das parcelas com tratamento biomanta e controle.



Fonte: Autoria Própria (2020).

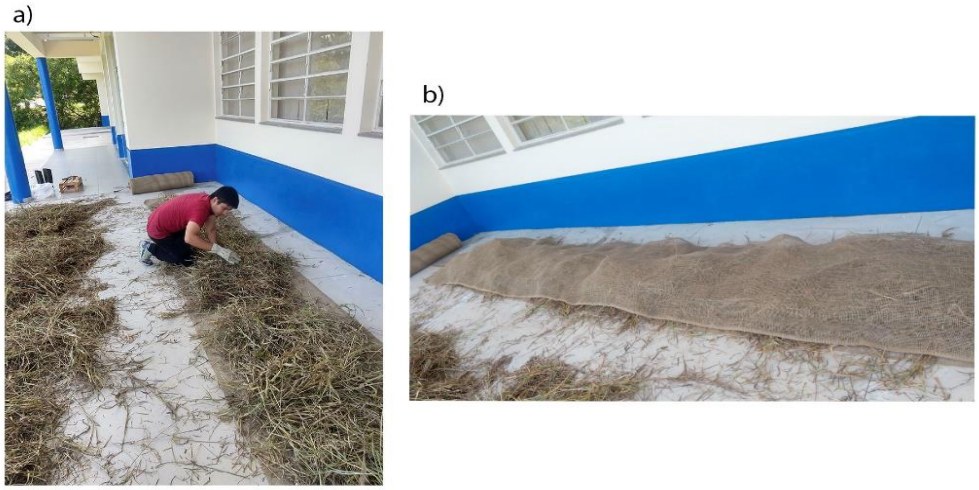
Os materiais utilizados para construção do experimento foram: rolo de juta de 100 m (Empresa Castanhal); 10 kg de palhada seca para cada biomanta; 70 m de pranchas de madeira para delimitação das parcelas; pequenas estacas de madeira; instrumentos de medição. Os materiais adquiridos visaram a elaboração de um projeto com baixo custo, realizando o reaproveitamento do capim da roçagem e de madeira que seria destinada ao aterro de inertes do município.

As parcelas foram delimitadas com pranchas de madeira, cravadas em 2 cm da superfície do solo e fixadas com auxílio de estacas. As divisórias, nesta situação, impediram a perda lateral de solo e possíveis interferências entre as parcelas.

Após a delimitação, no início de dezembro de 2019 foi realizada a confecção das biomantas. O rolo de juta foi estendido sobre o chão medindo 12 metros de tecido para cada

biomanta. Sobre o tecido, realizou-se o preenchimento nos primeiros 6 m com aproximadamente 10 kg de capim seco. O restante do tecido foi utilizado como segunda camada para o recobrimento do capim (Figuras 5a e 5b). As extremidades das camadas de tecido foram costuradas com auxílio de um barbante para que o capim interno não fosse perdido após posicionamento nas parcelas (Figura 6).

Figuras 5a e 5b. Preenchimento e montagem das biomantas de juta. (5a). Processo de confecção de uma das biomantas. (5b). Biomanta já preenchida, com camada superior de juta já colocada e faltando somente a costura final.



Fonte: (a) Alexandre Marco da Silva (2019); (b) Autoria Própria (2019).

Figura 6. Costurando as extremidades do tecido de juta.

Fonte: Autoria Própria (2019).

Antes do posicionamento das biomantas no talude foi aplicado para cada parcela (inclusive nas parcelas controle) uma quantidade de 140 mL de herbicida glifosato (Citromax®) diluídos em 4 L de água. A aplicação foi feita com uma garrafa PET de 2 L, tendo em sua tampa pequenos furos. A rega foi realizada de forma homogênea com a finalidade de condicionar todas as parcelas em situações iniciais idênticas. Durante a aplicação tomou-se os devidos cuidados para que o herbicida não tivesse contato com a pele e para que ele não fosse inalado. O uso do glifosato foi uma inovação após os trabalhos desenvolvidos por Mendes (2018) e Tsuchiya (2017), visando eliminar raízes e banco de semente que pudessem gerar a rebrota da braquiária já existente. Contudo, é necessário reforçar que a aplicação não deve ser recorrente, sendo condicionada apenas para a fase inicial do experimento e que o produto principal da tecnologia é a biomanta de juta preenchida com capim seco.

No talude, as biomantas foram enroladas e posicionadas nas respectivas parcelas, conforme a Figura 7.

Figura 7. Área experimental após o posicionamento das biomantas.

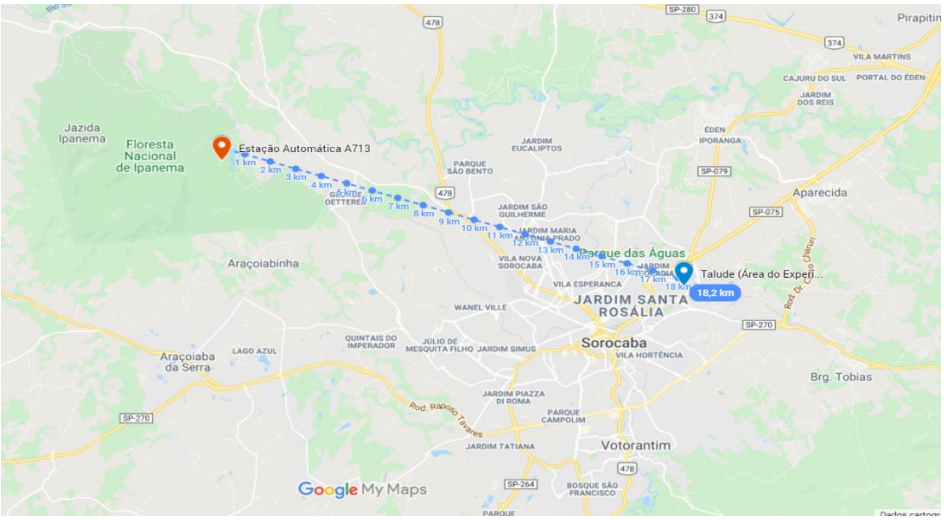
Fonte: Autoria Própria (2020).

A coleta de amostras de solo e fotografias tiveram uma periodicidade quinzenal, tendo o início no dia 11 de dezembro de 2019 até o dia 05 de maio de 2020.

4.3 Obtenção de Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos (altura de chuva, em milímetros por dia) foram obtidos para os meses de dezembro de 2019 até abril de 2020 através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Entre as estações disponíveis na região de Sorocaba, optou-se pela estação automática A713 por apresentar um banco de dados com uma maior quantidade de valores de chuva para o período de estudo. A Figura 8, mostra que a distância entre a estação automática (A713) e o experimento é de aproximadamente 18,2 km.

Figura 8. Distância entre a Estação Automática (A713) e o local do experimento.



Fonte: Google Maps (2020).

Nesta situação é importante ressaltar que a estação automática (A713) está localizada na Floresta Nacional de Ipanema – Iperó-SP, unidade de conservação administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Além dos dados mensais, foram obtidos os volumes de chuva quinzenais que são referentes ao período entre as coletas. A análise foi feita em cima dos valores de precipitação mensal acumulada, quinzenal e na série histórica correspondente aos últimos 5 anos no mesmo período do estudo (dezembro até abril do ano seguinte).

4.4 Análise da Microtopografia

A análise da microtopografia foi realizada com o objetivo de gerar superfícies gráficas como um meio de detectar alterações na superfície das parcelas no período compreendido entre o início e o fim do experimento. O procedimento consistiu na divisão das parcelas em

transectos horizontais construídos com a utilização de 2,5 m de barbante e 2 estacas de madeira de mesmo tamanho (DA SILVA et al., 2019a). No barbante foram realizadas marcações com espaçamento a cada 10 cm, representando um total de 10 marcações por transecto em cada parcela.

As estacas foram utilizadas como base para o nivelamento, fixando-se na altura de 15 cm a cota de referência. O barbante foi ajustado na altura delimitada das estacas de forma que ficasse o mais esticado possível, garantindo o alinhamento com a superfície do talude. Em cada ponto marcado do barbante foram feitas medições de altura com uma régua, tomando como base a superfície do solo até a marcação (Figura 9).

Figura 9. Medição de altura para geração de perfil microtopográfico do talude de estudo.

Fonte: Autoria Própria (2019).

Após anotação dos valores de altura, os dados foram compilados em planilhas e convertidos para o formato de execução no software Surfer® para geração dos mapas de superfície. No software, os mapas foram elaborados através da interpolação dos dados coletados. O método de interpolação foi escolhido a partir de análises dos mapas gerados com a aplicação de outros modelos matemáticos de interpolação disponibilizados no software. Desta forma, verificou-se que o método da Krigagem apresentou melhor performance e este foi então considerado para gerar os mapas definitivos (GUANGREN, 2014). Todos os mapas de superfície foram elaborados com uma mesma paleta de cor e mantidos em uma mesma escala para todas as parcelas.

Ao final do experimento, repetiu-se o procedimento com uma nova medição em campo, verificando a condição do terreno após o uso da biomanta. Nas parcelas com

tratamento, foram feitas pequenas aberturas sobre o tecido de juta para facilitar a medição da altura.

4.5 Ensaio de Infiltração

A variável de infiltração foi determinada antes e após o experimento através do método do tubo de PVC graduado ou anel simples. Embora seja comum o uso de anéis concêntricos ou mesmo o infiltrômetro de Guelph, entendeu-se que devido as características topográficas locais e a dificuldade na execução do experimento, estes dois métodos seriam inviáveis de obter resultados confiáveis. Sendo assim, foi determinado que o método do anel simples seria o mais adequado para medição da infiltração.

Prosseguindo com o experimento, adquiriu-se um tubo de PVC de 200 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro com uma marcação graduada em milímetros na parte interna do tubo. O método contemplou a inserção do tubo na superfície do solo (aproximadamente 20 cm de profundidade), preenchendo-o com água até a marca 0 mm da escala graduada (Figuras 10a e 10b). Em seguida, com auxílio de um cronômetro, mediu-se o volume infiltrado durante os primeiros 20 min com intervalos de leitura a cada 2 min e, após esse período com intervalos de 5 min até que a lâmina de água do tubo de PVC infiltrasse ou que atingisse o tempo estipulado máximo de 90 min.

Figuras 10a e 10b. Tubo de PVC simples com marcação graduada. (9a). Equipamento instalado para início do experimento. (9b). Preenchimento de água para início do monitoramento do processo de infiltração.

Fonte: Autoria Própria (2019).

O ensaio inicialmente foi realizado em triplicata nas proximidades das parcelas construídas, adotando a condição de um solo sem vegetação. Repetiu-se o teste ao final do experimento, selecionando um local centralizado dentro de cada parcela. Ao todo foram feitos 6 ensaios de infiltração, sendo 3 referentes as parcelas controle e 3 com a aplicação da biomanta.

Os dados obtidos foram dispostos em planilhas para elaboração da curva de infiltração, convertendo os valores de taxa de infiltração para ($mm.h^{-1}$) e estabelecendo uma comparação entre as curvas com e sem biomanta.

4.6 Análises físicas, químicas e Carbono Orgânico Total (COT)

4.6.1 Análises Físicas

A análise granulométrica para classificação textural do solo foi realizada anteriormente, no ano de 2017. Na época foi coletada uma quantidade equivalente a 500 g de solo, cujas amostras foram enviadas para análise no Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). O método utilizado para classificação foi através do triângulo textural de Feret.

A densidade do solo foi determinada com o método do cilindro volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017). Ao todo separou-se 6 anéis cilíndricos de metal com volume de aproximadamente 200 cm^3, previamente medidos com uso de um paquímetro de plástico (±0,05 mm). O ensaio foi realizado em triplicata nas proximidades das parcelas, sendo o material condicionado em plásticos e levado até o laboratório do Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas (NATEL), localizado nas dependências do Instituto de Ciências e Tecnologia de Sorocaba (ICTS/UNESP-SP).

No laboratório, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica, e colocadas em estufa para secagem na temperatura de 105ºC até massa constante durante um período de 48h. Após secagem pesou-se novamente, subtraindo a massa do anel do valor total, resultando no valor da massa seca de solo. Com os dados obtidos determinou-se o teor de umidade e a densidade do solo. Repetiu-se o procedimento para a condição final do experimento, porém com 3 amostras de cada tratamento retiradas do interior das parcelas.

Além das análises mencionadas, foi determinado quinzenalmente a condutividade elétrica (CE) do solo através de método indireto com ensaio em solução de água destilada. Neste ensaio utilizou-se a proporção 20 g de solo para 60 mL de água destilada. Determinou-se a CE em pontos distintos da parcela, sendo um na base e outro no topo do talude. As

amostras condicionadas em béqueres de vidro foram inicialmente misturadas e deixadas em repouso durante 30 min. Após esse período, mediu-se com auxílio de um equipamento multiparâmetro (Oakton, Modelo WD-35425-10 PCS Test 35) o valor de CE de cada amostra.

4.6.2 Análises Químicas

A análise química das amostras foi realizada de forma terceirizada no Laboratório Solos e Folhas, localizado em Sorocaba (SP) e credenciado no sistema de qualidade de laboratórios do Instituto Agronômico de Campinas - SP. Antes da construção das parcelas, foi selecionada uma área próxima para coleta de 3 amostras na profundidade de até 20 cm, totalizando uma quantidade aproximada de 500 g de solo. Repetiu-se o procedimento ao final do experimento, coletando 3 amostras referente a condição controle e 3 amostras com o tratamento biomanta, também totalizando uma quantia de 500 g de solo. O valor de massa total corresponde a junção de amostras coletadas de cada parcela/tratamento. A técnica responsável pelo laboratório utilizou-se da metodologia de resina para determinação de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Para a presença de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), foi feita a extração por ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA). No mesmo local, foram feitas análises granulométricas, caracterização do solo, pH, capacidade de troca catiônica (CTC).

4.6.3 Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)

No laboratório do NATEL, foram feitas análises quinzenais para quantificação do carbono orgânico total (COT). As coletas nas parcelas foram divididas em amostras de 20 g do topo e da base, sendo armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e transportados. Em laboratório, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica em cadinhos de porcelana e colocados para secagem em estufa na temperatura de 60ºC por 72h. Após a secagem, pesou-se novamente as amostras obtendo o valor da massa seca e, então, aplicou-se o ensaio de calcinação, ABNT NBR 13600:1996 (ABNT, 1996), na temperatura de 440º C durante um período de 1h.

Com as amostras calcinadas foi realizado uma última pesagem para registrar o valor da massa após calcinação. A partir dos valores encontrados utilizou-se a **Equação 1** para

determinação da matéria orgânica e a **Equação 2** para a quantificação de COT presente em cada tratamento.

$$\%\, matéria\ orgânica = \frac{MI - MF}{MI} * 100 \qquad \text{Equação 1.}$$

Onde:

MI = a massa inicial antes de ser calcinada (g);

MF = a massa final após a calcinação (g).

$$COT = \frac{MO}{1{,}72} \qquad \text{Equação 2.}$$

Onde:

COT = Carbono Orgânico Total ($g.kg^{-1}$);

MO = Matéria Orgânica ($g.kg^{-1}$).

Após o cálculo, os dados foram plotados em gráficos para observar a existência de uma variação na concentração de COT entre o tratamento controle e a biomanta.

4.7 Hidrofobicidade

A hidrofobicidade, foi realizada *in loco*, baseando-se no método *Water Droplet Penetration Time* (WDPT) ou Medição do Tempo de Penetração da Gota D'água (DA SILVA et al., 2019b). A análise consistiu na utilização de uma pipeta plástica *Pasteur* de 3 mL, um béquer de 100 mL com água destilada e um cronômetro. No local do experimento e dentro de cada parcela, escolheu-se um local fixo para medir o tempo que uma gota levaria para infiltrar no solo. A pipeta foi posicionada sempre em uma mesma altura, aproximadamente 10 cm do solo, sendo mantida na vertical. No momento em que a gota atingia a superfície do solo, o cronômetro era acionado, parando somente quando a gota se dissipasse por completo. O procedimento foi repetido em triplicata para maior precisão dos dados.

O tempo de cada tratamento foi comparado através de uma análise da média obtida do conjunto de 3 parcelas. Os valores de tempo foram comparados com a classificação do grau de repelência na Tabela 1 abaixo (BISDOM et al., 1993).

Tabela 1. Classificação de Grau de Repelência a partir do tempo de dissipação da gota d'água.

Classificação	**Grau de Repelência (s)**
Hidrofílico	<5
Levemente Hidrofóbico	5 a 60
Fortemente Hidrofóbico	60 a 600
Severamente Hidrofóbico	600 a 3600
Extremamente Hidrofóbico	>3600

Fonte: Classificação elaborada por Bisdom et al., 1993.

4.8 Monitoramento do Crescimento da Vegetação

O controle do crescimento da vegetação foi feito através do acompanhamento fotográfico quinzenal com a câmera de um celular *Motorola One Hyper* com a resolução de 64 MP. As fotos eram tiradas sempre de um mesmo local em cada parcela, tomando como base um quadrante de 1 m x 1 m, delimitado com auxílio de um gabarito. Os horários das fotografias não foram padronizados, apenas mantendo a periodicidade quinzenal previamente estabelecida.

Após o término do experimento, as fotos passaram por um processo de ajuste de imagem para eliminar as partes que não tinham relação com a finalidade do trabalho, como o barbante e as tábuas laterais. As adaptações foram feitas em software de edição de imagens, e convertidas em alta resolução no formato *.jpg*. As quantificações da % de cobertura vegetal foram realizadas no aplicativo de celular *Color Analysis*.

A ferramenta permitiu obter informações sobre os pixels presentes no modelo Red-Green-Blue (RGB), a partir da exportação das fotos anteriormente tiradas. Após o carregamento das imagens foi possível separar as % de pixels referentes à vegetação com a coloração verde. Os diferentes tons de verde foram somados, obtendo-se um valor total para cada imagem. Os dados referentes à cobertura foram compilados em tabelas e gráficos para comparação estatística da eficiência da biomanta no controle do crescimento da vegetação.

4.9 Análise Estatística dos Dados

O tratamento estatístico dos dados foi feito a partir do uso de software estatístico. A análise teve por base as hipóteses anteriormente formuladas como forma de verificar se houve uma diferença significativa nos parâmetros químicos, físicos e no crescimento da vegetação após a aplicação da biomanta. Entre os testes estatísticos, priorizou-se a aplicação de testes paramétricos comparando as médias entre os tratamentos com biomanta e controle.

A primeira análise estatística foi realizada na hipótese em que o crescimento da vegetação seria significativamente menor após a aplicação da biomanta sobre o solo. Primeiramente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de *Ryan-Joiner* averiguando a distribuição normal dos dados. Após confirmar a normalidade dos dados foi aplicado o *teste t* para duas amostras, sendo consideradas as seguintes hipóteses:

H_0: as médias de % de verde nas parcelas biomanta não são significativamente menores que as parcelas controle;

H_1: as médias de % de verde nas parcelas biomanta são significativamente menores que as parcelas com biomanta.

O teste foi aplicado com um nível de significância de 95%, sendo considerado H_1 verdadeira quando o valor-p < 0,05. O tamanho amostral para cada tratamento foi de 30 médias.

A outra parte do estudo consistiu na análise dos parâmetros físicos e químicos, verificando se as médias amostradas para cada tratamento foram significativamente diferentes entre elas. Neste caso, foram aplicados testes estatísticos diferentes para os parâmetros em que o tamanho amostral fosse < 15. O teste estatístico aplicado para hidrofobicidade e para a condutividade elétrica foi o *test t* para duas amostras, após confirmação do teste de normalidade para ambos os parâmetros. As hipóteses formuladas para os parâmetros de hidrofobicidade e condutividade foram:

H_0: as médias dos valores amostrados no tratamento biomanta não foram significativamente diferentes do controle;

H_1: as médias dos valores amostrados no tratamento biomanta foram significativamente diferentes do controle.

O teste foi aplicado com nível de significância de 95%, sendo considerada H_1 verdadeira quando o valor-p < 0,05. Caso contrário, adotou-se que os resultados não foram significativamente diferentes nas condições analisadas. Em relação ao parâmetro de hidrofobicidade foram eliminados 3 valores outliers das amostras, mantendo um tamanho amostral de 27 médias. O tamanho amostral da condutividade elétrica foi de 20 amostras por tratamento.

O carbono orgânico total (COT) foi submetido ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. O teste não-paramétrico foi aplicado devido ao tamanho amostral ser < 15, sendo equivalente à 10 amostras por tratamento. Nesse caso, na planilha de dados foram relacionados os valores quantitativos aos respectivos tratamentos adotados. Na análise estatística do teste Kruskal-Wallis foram atribuídos valores de postos médios calculados a partir da semelhança entre os dados obtidos pelos tratamentos. As hipóteses formuladas para esse teste foram:

H_0: todas as médias são iguais, não existe diferença significativa entre as amostras;
H_1: no mínimo uma média é diferente, existe uma diferença significativa entre as amostras.

Assim como nos outros testes, o nível de significância para validar H_1 é de 95%, ou seja, valor-p < 0,05.

Os parâmetros químicos por serem valores únicos obtidos antes e após o experimento (biomanta e controle), preferiu-se adotar a análise gráfica para comparação dos dados. Na comparação foram destacadas as variações que aconteceram após a colocação da biomanta.

5 RESULTADOS

5.1 Dados Pluviométricos

A Tabela 2, corresponde a pluviometria mensal acumulada nos meses de dezembro de 2019 até abril de 2020, valores obtidos do banco de dados da estação automática A713. Segundo o registro, o maior valor observado foi no mês de dezembro de 2019 com um volume total de 254 mm. Em termos de precipitação diária, o mês de fevereiro foi o que registrou a maior quantidade de chuvas consecutivas entre os dias 6 e 11 com um volume equivalente à 137,7 mm.

Tabela 2. Precipitação mensal no município de Sorocaba, estação automática (A713).

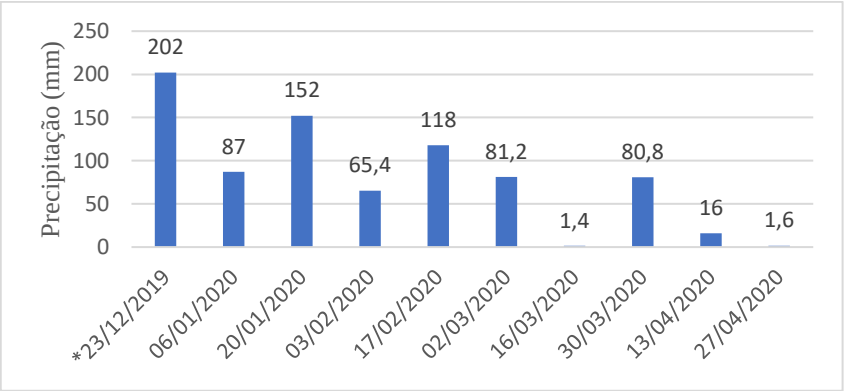
Meses	**Precipitação Mensal (mm)**
*dez/19**	254
jan/20	184,4
fev/20	252,4
mar/20	82,6
abr/20	17,4

*O valor considera o volume total precipitado no mês de dezembro.

Fonte: INMET (2020).

Na análise dos dados pluviométricos destacam-se os valores de precipitação nos dias que antecedem a primeira coleta (202 mm) e a terceira coleta (152 mm). Os menores valores registrados concentram-se ao final do período úmido (final de março), sendo eles na sétima coleta (1,4 mm) e na décima coleta (1,6 mm). O volume total precipitado durante o experimento foi de 805,4 mm, sendo que 77,5 % do volume de chuva está concentrado nas cinco primeiras coletas (Figura 11).

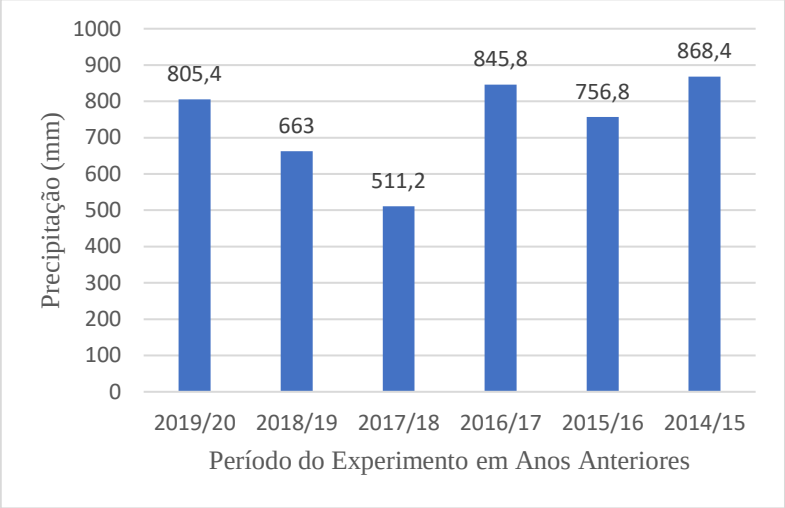
Figura 11. Precipitação quinzenal entre as coletas realizadas.



*O valor considera a precipitação nos quinze dias anteriores da primeira coleta. Fonte: INMET (2020).

Observando o mesmo período de meses nos anos anteriores (Figura 12), o ano de 2019/20 apresentou um volume de chuva próximo ao registrado no período de 2014-2017, sendo este superior aos dois últimos anos.

Figura 12. Precipitação acumulada durante o período do experimento para os cinco anos anteriores.



Fonte: INMET (2020).

5.2 Microtopografia

Os dados, após serem compilados e transformados no software, passaram pelo processo de Krigagem, interpolando os valores correspondentes a profundidade de cada ponto medido. Os mapas abaixo (Figuras 13 e 14), demonstram a variação da superfície nos meses de dezembro de 2019 e maio de 2020, comparando as alterações e modificações na microtopografia para cada parcela.

A variação da profundidade é descrita pela escala cromática, na qual os valores em verde são equivalentes a superfície plana, representado pelo valor 0 em relação à cota de referência estabelecida, e a coloração azul referente a maior profundidade (17 cm) identificada pelos sulcos na superfície.

Os mapas de superfície gerados são orientados no eixo x, partindo do ponto 0 como o topo do talude e terminando na base, sendo equivalente aos 6 m de comprimento de cada parcela. O eixo y representa a largura da parcela variando de 0 até 1 m.

As imagens abaixo destacam que a faixa predominante de profundidade dos sulcos na superfície das parcelas com biomanta foi entre 3,5 e 5,5 cm. Nas parcelas controle, as parcelas P3 e P6, foram as que sofreram maior impacto com o processo erosivo, sendo

predominante a presença de sulcos maiores que 7 cm de profundidade. Nas parcelas ainda é possível identificar que os pontos que sofreram maior impacto com a erosão foram os primeiros 200 cm e na região em torno dos 400 cm.

Figura 13. Microtopografia da superfície das parcelas controle. (i) – valores dispostos em cm. (ii) – as parcelas foram identificadas pela denominação PX, onde x é o número da respectiva parcela.

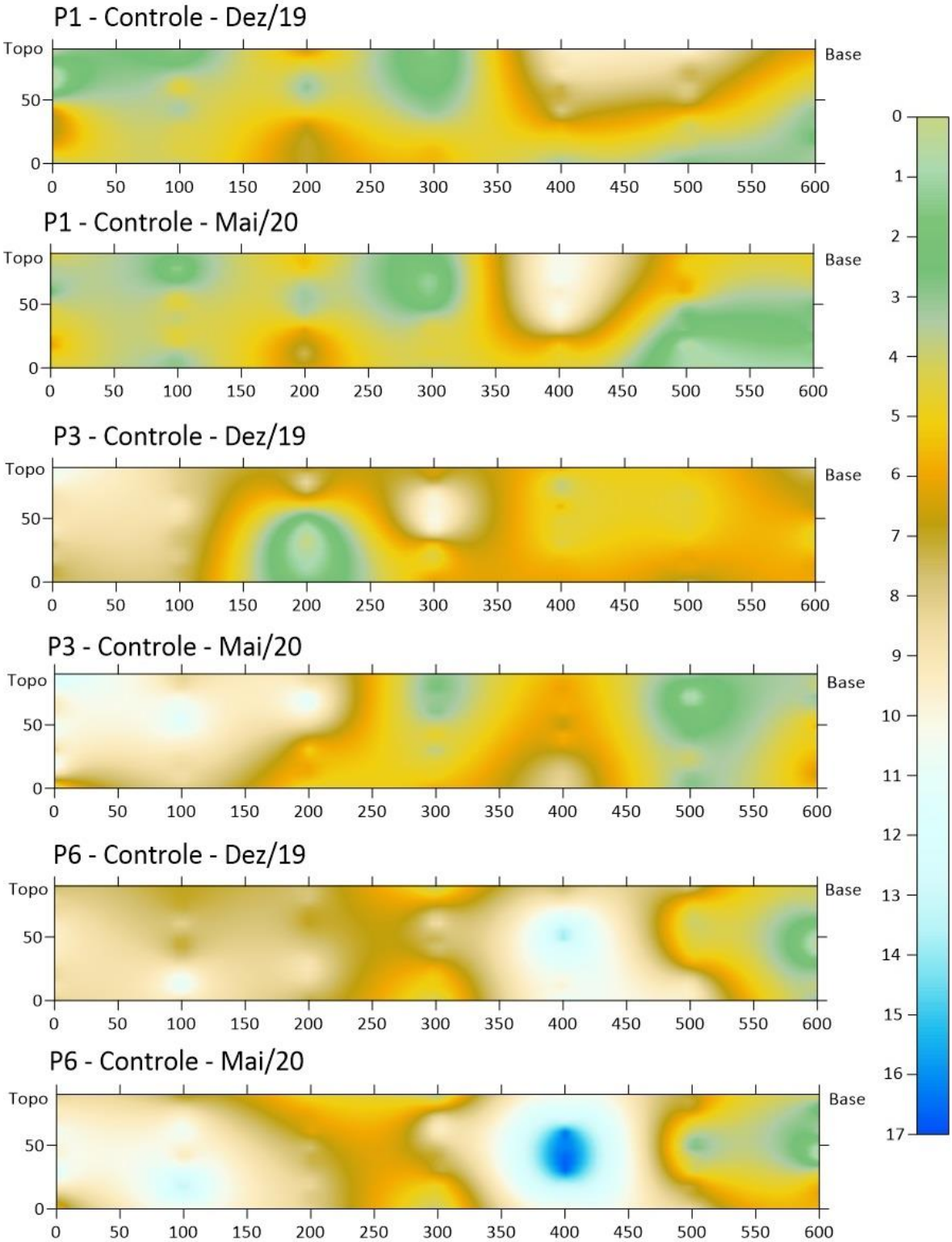
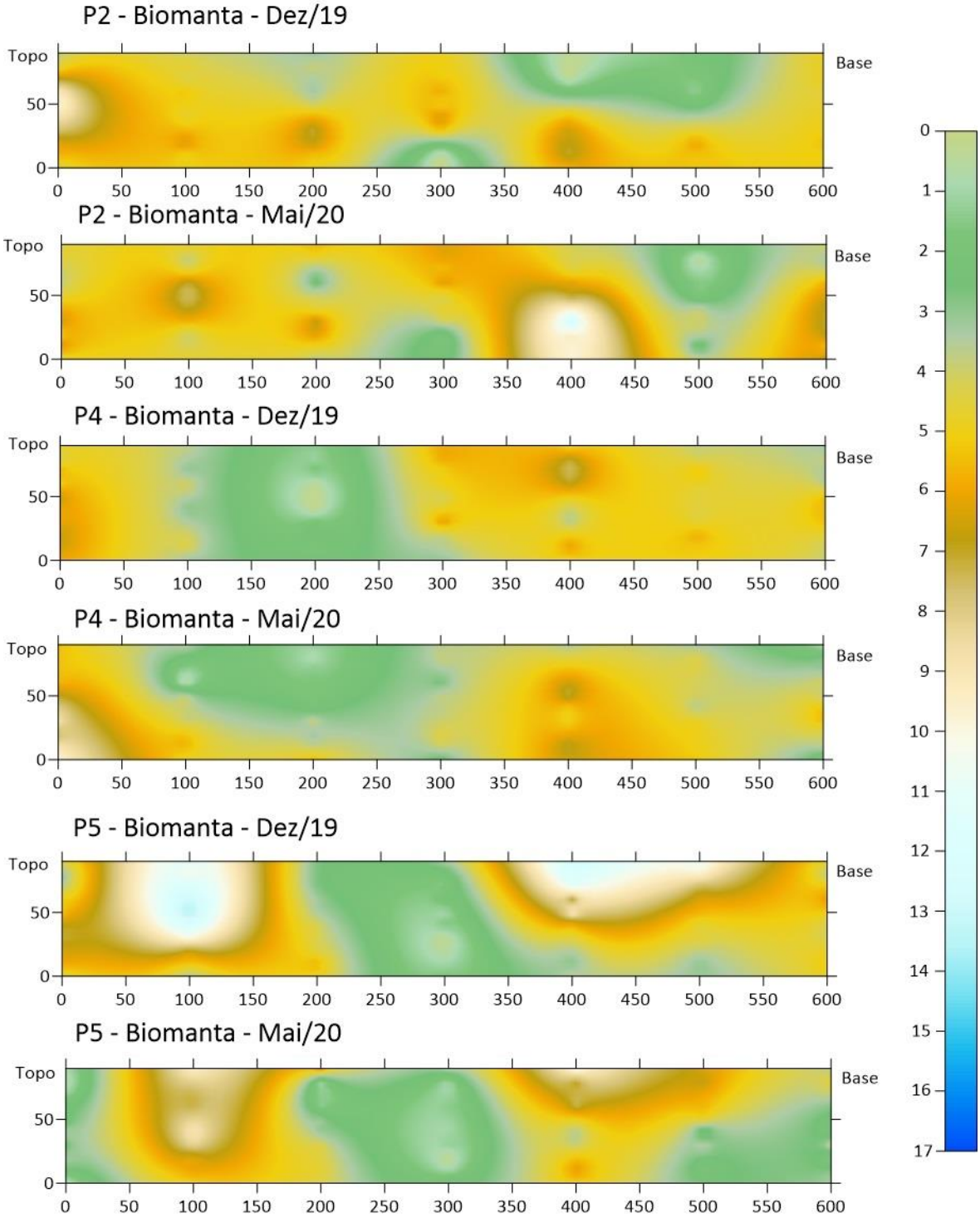


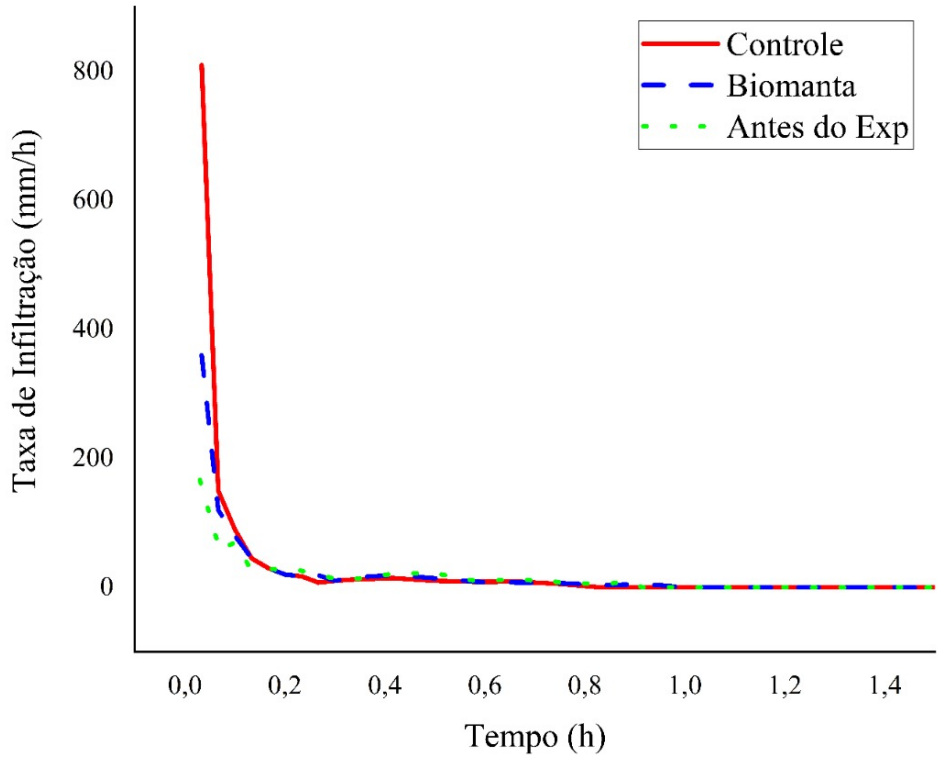
Figura 14. Microtopografia da superfície das parcelas com biomanta. (i) – valores dispostos em cm. (ii) – as parcelas foram identificadas pela denominação PX, onde x é o número da respectiva parcela.



5.3 Infiltração de água no solo

As curvas de infiltração foram construídas a partir dos valores obtidos pelo método do infiltrômetro de anel simples. O gráfico abaixo (Figura 15), representa as curvas ajustadas para as condições de início e pós-experimento. O teste foi feito em triplicata, escolhendo o melhor ajuste para cada tratamento. A curva controle apresentou a maior taxa de infiltração durante os primeiros 12 min do experimento, sendo de aproximadamente 800 mm/h. A estabilização das taxas de infiltração ocorre a partir dos 15 min para as três curvas.

Figura 15. Taxa de infiltração correspondente a condição inicial e após instalação dos tratamentos.

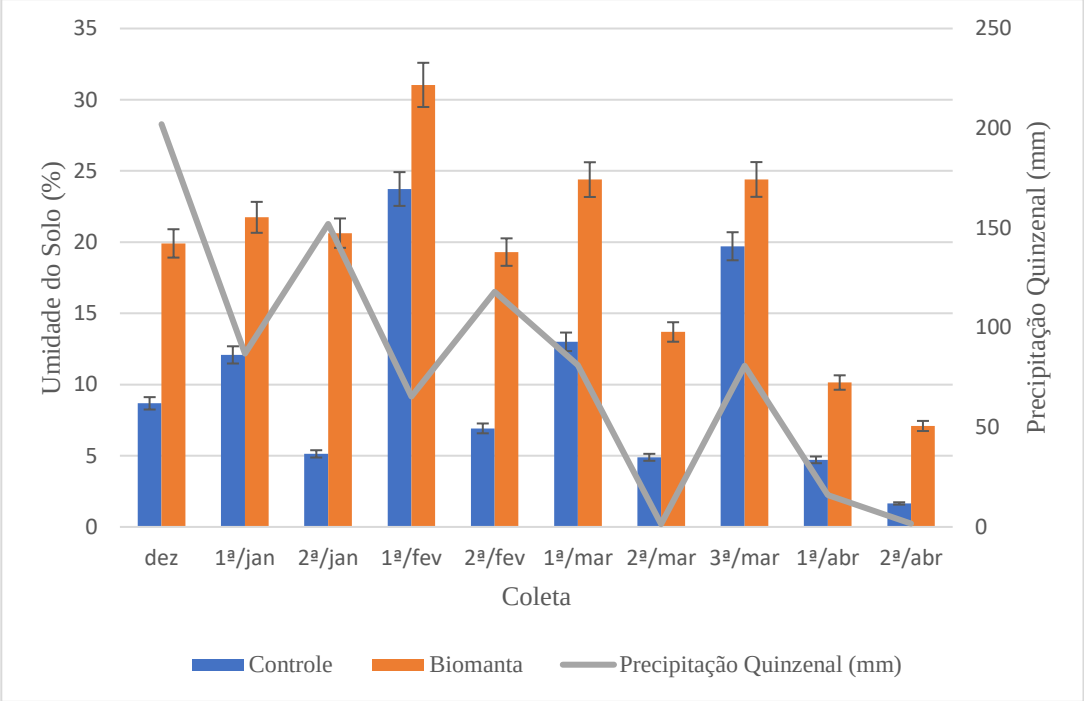


5.4 Análises físicas, químicas e Carbono Orgânico Total (COT)

5.4.1 Análises Físicas

O solo foi classificado texturalmente como franco-arenoso, constituído por uma fração de 59,6% de Areia, 17,4% de Argila e 23,0% de Silte. Os dados sobre umidade e densidade do solo são apresentados, respectivamente, na Figura 16 e na Tabela 3. Os valores representam a média obtida nas parcelas com tratamento biomanta e controle.

Figura 16. Comparativo entre o teor de umidade do solo na condição controle e com aplicação da biomanta.



O teor de umidade nas parcelas com biomanta foi superior ao longo das 10 coletas em comparação à condição controle. Em termos numéricos, nas primeiras 3 coletas, a umidade do solo após a aplicação da biomanta permaneceu próximo dos 20%, enquanto nas parcelas controle o solo manteve-se praticamente seco com 5 – 10%. O maior valor registrado para ambas as condições foi durante a 4ª coleta, sendo o teor de umidade, respectivamente, 31% para as parcelas com biomanta e 24% para controle. Ao final do experimento, é observada uma redução gradual do teor de umidade para ambas as condições, mantendo uma diferença de aproximadamente 6% entre elas.

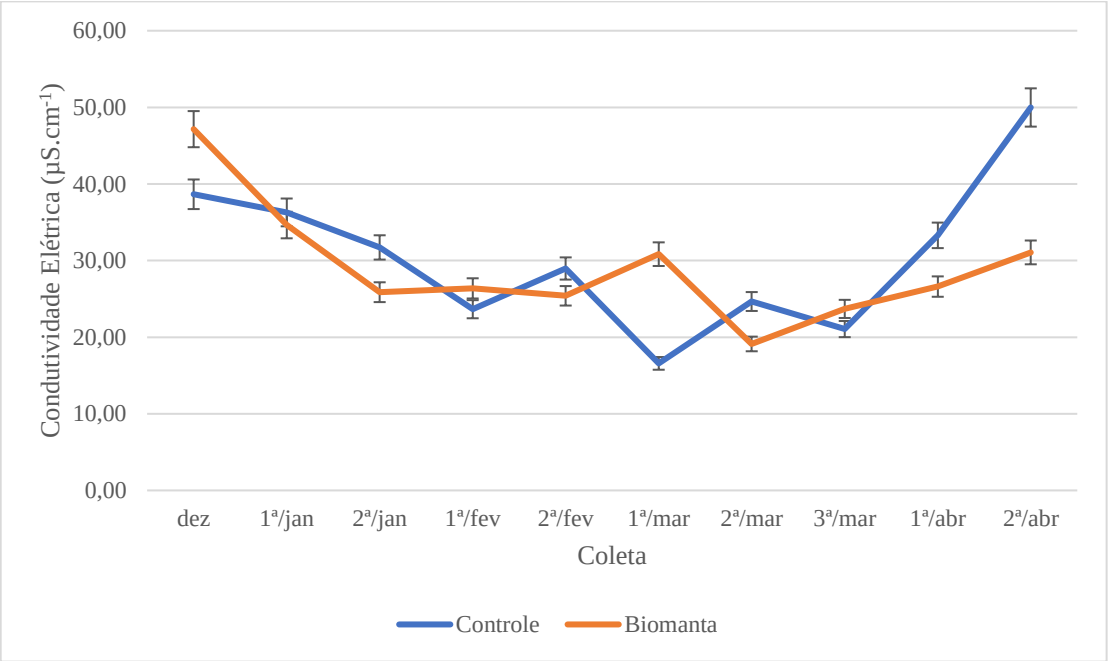
Tabela 3. Densidade média do solo obtido antes e com o término do experimento.

Condição Experimental	**Densidade média do solo (g.cm^{-3})**
Antes do exp.	1,38
Biomanta	1,23
Controle	1,38

Os valores de densidade média do solo retratam que houve uma pequena variação em relação a condição inicial nas parcelas com biomanta, sendo uma diferença de 7,25%. Em termos de classificação, as características da densidade do solo remetem ao solo arenoso.

No parâmetro de condutividade elétrica, optou-se pela utilização gráfica com base na média dos valores do topo e da base do talude. Desta forma, é possível destacar que o maior valor ao longo do experimento foi na última coleta da parcela controle, na qual foi registrado um valor de 50 µS.cm^{-1} (Figura 17). Nas parcelas de condição controle os valores médios oscilaram entre 16,6 e 50,0 µS.cm^{-1}, representando uma média geral de 33,5 µS.cm^{-1}, enquanto nas parcelas com tratamento biomanta os valores médios observados foram entre 19,1 e 47,1 µS.cm^{-1} com uma média geral de 33,1 µS.cm^{-1}.

Figura 17. Comparação dos valores de Condutividade Elétrica (CE) nas parcelas Controle e Biomanta.



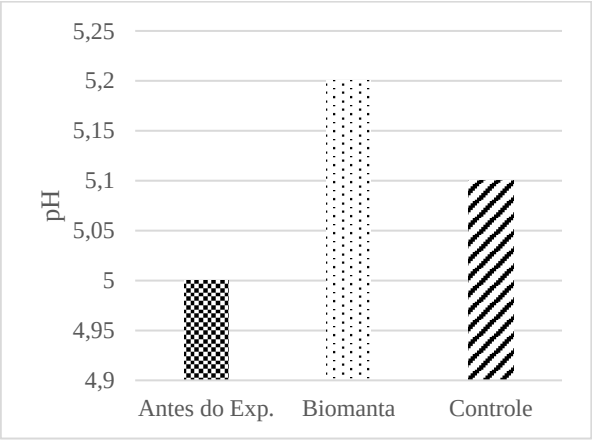
Na análise estatística, foram considerados os valores de topo e base para cada tratamento como parte do tamanho amostral. O valor-p após aplicação do teste foi de 0,769. O resultado do teste demonstra que não houve evidências suficientes para concluir que que as médias diferem ao nível de significância de 95%, ainda que haja uma pequena diferença como vista na Figura 16. Desta forma, a hipótese é nula, indicando que não houve diferença significativa entre as médias obtidas no período de estudo.

5.4.2 Análises Químicas

As amostras de solo (0-20 cm de profundidade) foram submetidas à análise para quantificar a composição química e parâmetros relativos ao pH, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), soma de bases (SB), matéria orgânica (MO). O

pH, determinado a partir do método de solução com cloreto de cálcio ($CaCl_2$) (Figura 18), foi de 5,2 na parcela com biomanta, sendo classificado como um solo de acidez média. Comparado com a condição inicial, observou-se uma redução da acidez, condizendo com uma possível situação de insolubilidade do alumínio tóxico na forma de hidróxido.

Figura 18. pH das amostras de solo determinado em Cloreto de Cálcio ($CaCl_2$).



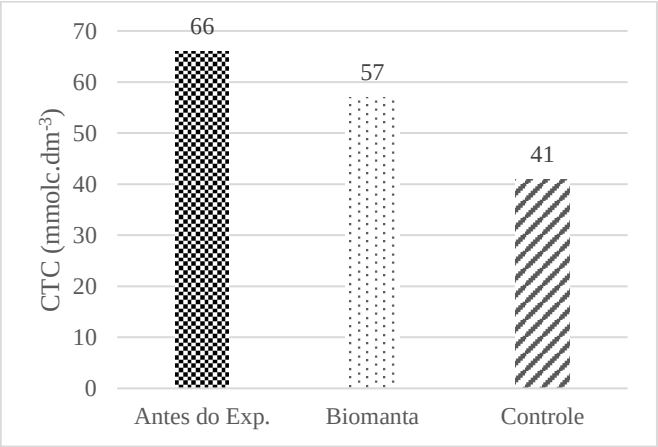
Na Tabela 4, estão dispostos os dados sobre as concentrações de macros e micronutrientes presentes nas amostras de solo, destacando as reduções ocorridas nas concentrações de Ca, P e Mg. Após aplicação da biomanta, foi observado um aumento de 128,6% nas quantidades de Fe em relação a condição inicial. Em nenhuma das amostras se identificou a presença do cátion de alumínio (Al^{3+}).

Tabela 4. Quantificação dos nutrientes presentes nas amostras de solo para as condições iniciais e para o tratamento/controle.

Nutrientes	***Antes do Exp.***	***Biomanta***	***Controle***
P (mg.dm^{-3})	3	2	1
K (mmolc.dm^{-3})	2,5	3,5	3,3
Ca (mmolc.dm^{-3})	23	17	16
Mg (mmolc.dm^{-3})	9	8	6
Al (mmolc.dm^{-3})	0	0	0
H+Al (mmolc.dm^{-3})	31	28	16
S-SO_4 (mg.dm^{-3})	7	6	4
B (mg.dm^{-3})	0,07	0,12	0,15
Cu (mg.dm^{-3})	0,2	0,1	0,2
Fe (mg.dm^{-3})	14	32	16
Mn (mg.dm^{-3})	11,4	10,4	11,4
Zn (mg.dm^{-3})	0,8	0,8	2,8

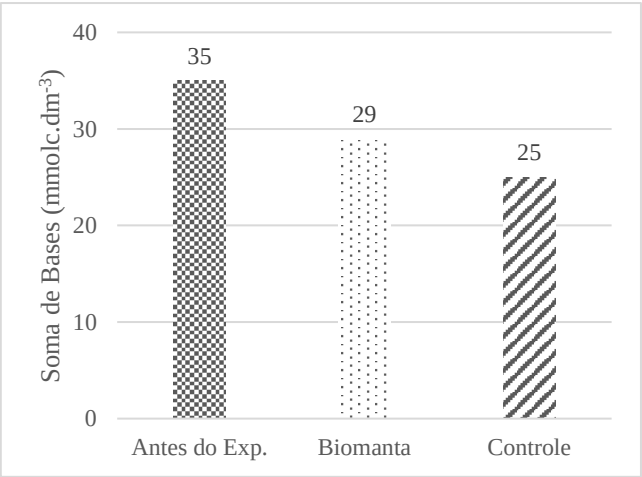
A Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTC) (Figura 19), teve uma redução de 25 mmolc.dm^{-3} para a parcela controle, equivalente a uma perda de 37,88%. Por outro lado, nas parcelas com a biomanta a redução foi de 9 mmolc.dm^{-3}, representando uma perda de 13,63% da CTC inicial.

Figura 19. Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (mmolc.dm^{-3}).



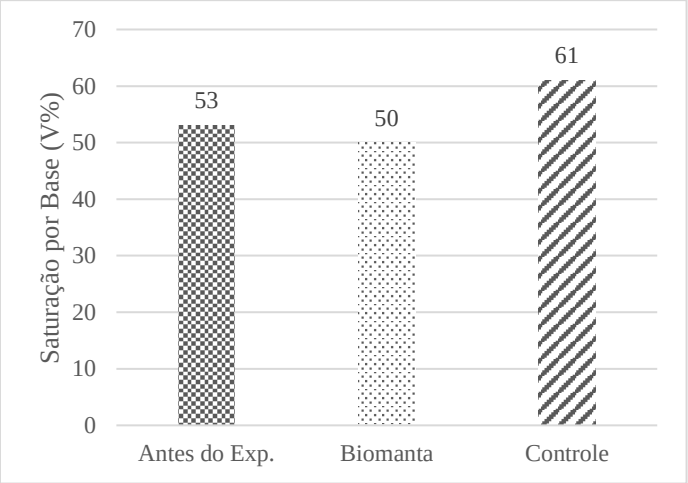
A soma de bases (SB) (Figura 20), assim como boa parte dos parâmetros analisados tiveram uma redução nos valores obtidos após a aplicação do experimento. A redução da SB está relacionada com a perda de parte dos cátions permutáveis do solo (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}). Essa perda, no entanto, é ligeiramente maior na condição controle, expressando uma diferença de 10 mmolc.dm^{-3} (~28,6%).

Figura 20. Relação da Soma de Bases (mmolc.dm^{-3}) para o experimento.



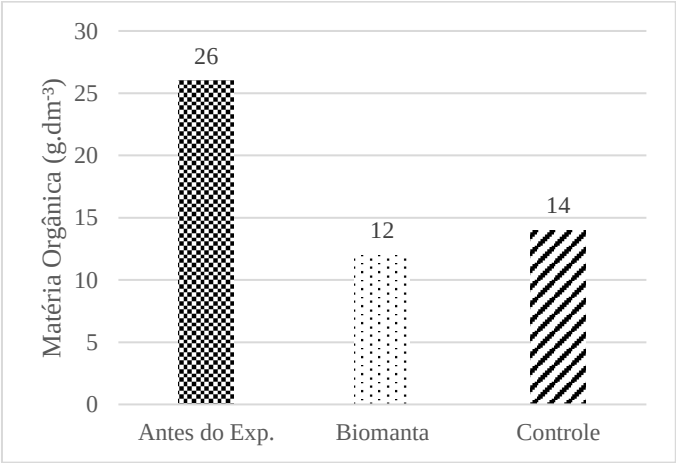
Em relação a saturação por bases (V%) (Figura 21), os valores identificados foram superiores a 50%, sendo o maior valor encontrado nas parcelas controle de 61%, confirmando a ausência de cargas de Al^{3+} no solo.

Figura 21. Saturação por Base (V%) das amostras coletadas.



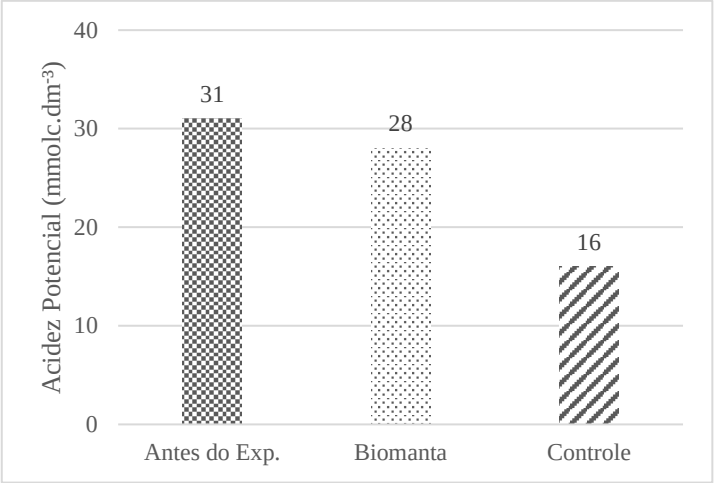
Em termos de matéria orgânica (Figura 22), observa-se que houve uma grande redução para ambas as condições. Esse fato está correlacionado com a retirada da cobertura vegetal do terreno pós roçagem, e a limitação do crescimento vegetal imposta pela colocação da biomanta de juta. A perda de matéria orgânica para o tratamento com biomanta foi de aproximadamente 54%.

Figura 22. Matéria Orgânica ($g.dm^{-3}$) presente no solo.



Por fim, a Acidez Potencial (Figura 23), mostra que os valores encontrados para o tratamento com biomanta foram próximos da condição inicial. Por outro lado, a acidez potencial teve uma redução de aproximadamente 48% na condição controle. Este parâmetro indica a presença de acidez trocável e não trocável no solo, após a liberação de hidrogênio, como em grupos funcionais carboxílicos e hidroxilas.

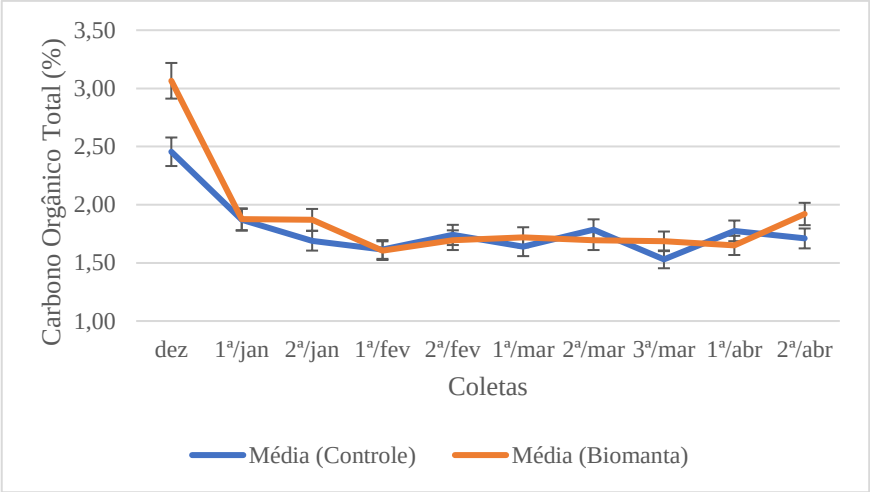
Figura 23. Acidez Potencial (mmolc.dm^{-3}) durante a realização do experimento.



5.4.3 Carbono Orgânico Total (COT)

Ao longo de 10 coletas foi feita a determinação da COT com os valores de matéria orgânica obtidos a partir do ensaio de calcinação. Com os valores médios do topo e da base do talude foi estabelecido um gráfico comparativo entre as concentrações de COT. O gráfico de linhas (Figura 24), demonstra que os maiores picos foram observados durante as primeiras coletas (dezembro e janeiro), estabilizando ao longo do experimento com pequenas alterações entre os tratamentos.

Figura 24. Concentração média de Carbono Orgânico Total (COT) – Biomanta x Controle.



Os valores médios no tratamento com biomanta ficaram entre 1,61% e 3,07% de carbono presente nas amostras, representando um valor médio total de aproximadamente 2,34%. Na condição controle as concentrações de carbono variaram entre 1,53% e 2,46%, sendo o valor médio total correspondente a 2%.

Após aplicação do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi estabelecido um posto médio de 11,2 para o tratamento com biomanta e 9,8 para condição controle. Como resultado do teste, obteve-se o valor-p de 0,623. Desta forma, para o nível de significância de 95%, as médias obtidas não foram significativamente diferentes, o que caracteriza que a hipótese é nula para as condições do experimento.

5.5 Hidrofobicidade

Os dados dispostos na Tabela 5 são referentes ao tempo médio em que a gota pipetada levou para se dissipar no solo em cada parcela.

Tabela 5. Tempo médio de dissipação de uma gota.

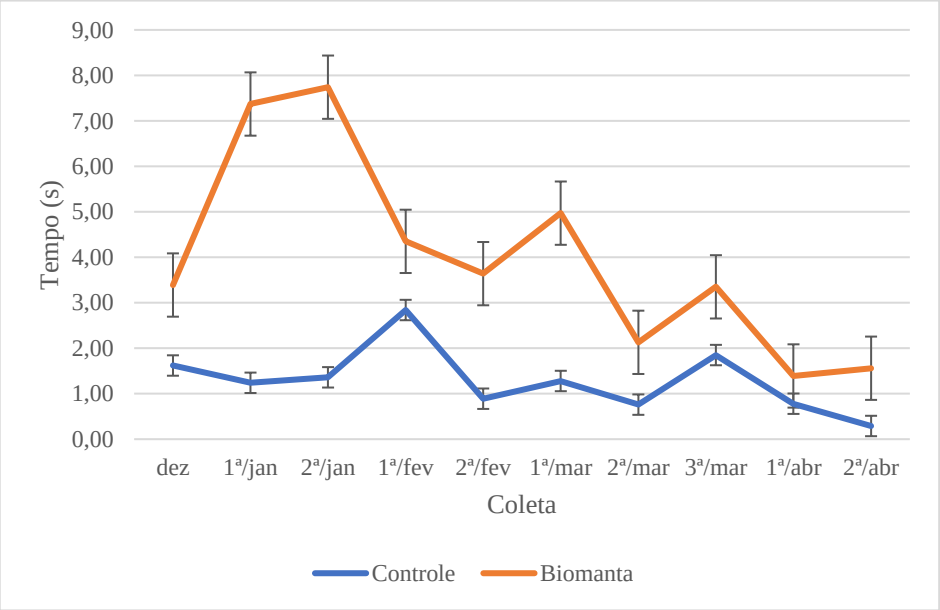
	Biomanta			**Controle**		
	P2	**P4**	**P5**	**P1**	**P3**	**P6**
Tempo médio (s)	3,15	4,41	4,40	1,60	1,12	1,16
Média por tratamento (s)		3,99			1,29	

As gotas nos tratamentos com biomanta demoraram 3 vezes mais para se dissiparem do que na condição controle. Considerando a média total de tempo obtida pelas condições,

ambas as condições experimentais se enquadram na classificação proposta por Bisdom et al. (1993) como hidrofílicas.

A Figura 25 apresenta um gráfico comparativo com a média do tempo para cada teste de hidrofobicidade realizado nos tratamentos. Em termos gráficos, os resultados demonstram uma variação maior no tempo nas parcelas com biomanta, sendo este superior ao longo de todo experimento quando comparado com a condição controle. O maior valor registrado para o tratamento com biomanta foi de 7,74 s, enquanto na condição controle foi de 2,84 s. Os picos com maior tempo de dissipação da gota estão situados nos meses de janeiro e fevereiro. No mês de abril, fica perceptível a redução do tempo para ambas as condições, sendo este o mês com os menores valores registrados.

Figura 25. Diferença de tempo médio (s) na dissipação da gota pipetada para teste de hidrofobicidade do solo na condição controle e com aplicação de biomanta.



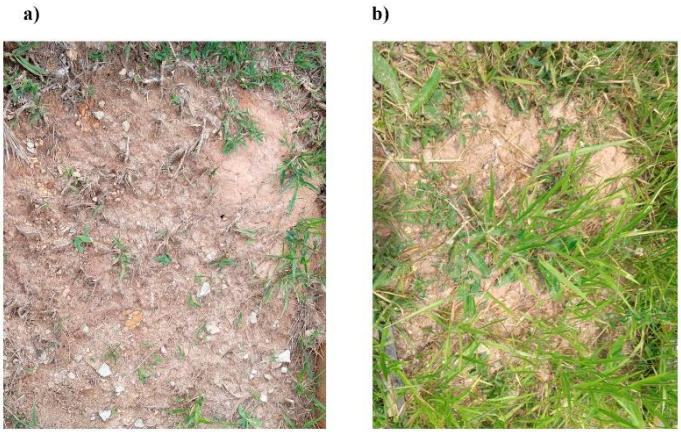
Após a aplicação do teste paramétrico (*teste t* para 2 amostras) foi constatado que as médias diferem no nível de significância de 95%, cujo valor-p foi inferior a 0,01. Esse resultado confirma a hipótese de que houve diferença significativa no tempo de dissipação da gota após a colocação da biomanta sobre o solo.

5.6 Análise do Crescimento de Vegetação

A análise da vegetação se baseou na utilização das imagens coletadas quinzenalmente de cada parcela (Figura 26a e 26b). A porcentagem de verde foi calculada através da

exportação das imagens no aplicativo de celular *Color Analysis* e com a separação em tabelas dos respectivos dias de coleta. O gráfico comparativo (Figura 27) foi gerado a partir da média das porcentagens de cada tratamento.

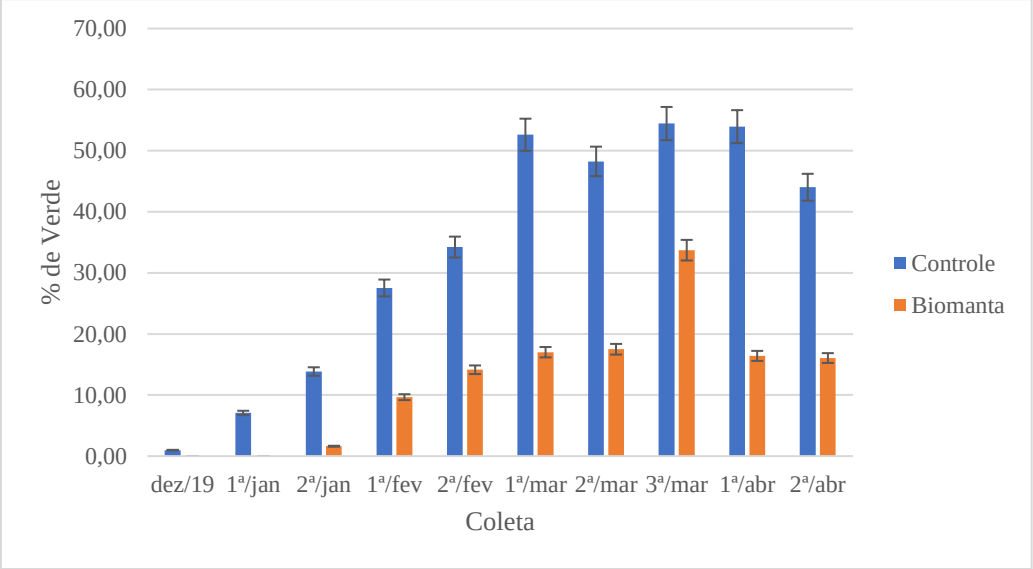
Figura 26. Exemplificações da (a) Análise do crescimento da vegetação em janeiro – P1 (Controle) (06/01/20); (b) Análise do crescimento da vegetação em março – P1 (Controle) (16/03/20).



Fonte: Autoria Própria (2020).

As parcelas da condição controle tiveram um crescimento de vegetação gradual (Figura 27), sendo observado uma ocupação da vegetação de aproximadamente 7% durante a primeira coleta de janeiro/20 e estabilizando em torno dos 50% após março/20. Por outro lado, as parcelas com tratamento biomanta tiveram um crescimento tardio e atenuado. A vegetação teve seu desenvolvimento a partir da segunda coleta de janeiro/20 com aproximadamente 2% e estabilizando em 17% a partir do mês de março/20. Os altos valores observados durante a terceira coleta de março/20 indicam um valor *outlier*, possivelmente influenciado pela reflectância da luz solar no momento da fotografia.

Figura 27. Acompanhamento do crescimento quinzenal da vegetação (% de verde) nas parcelas com biomanta e controle.



Após aplicação do Teste *t* para os 2 tratamentos obteve-se uma diferença de 21,08% entre as médias. A média da % de verde para as parcelas com biomanta foi considerada significativamente menor que as parcelas controle em um nível de significância de 95%. O teste ainda indica que a diferença ainda seria significante para os padrões equivalentes a uma probabilidade de 1%. Esse resultado valida o efeito de controle de vegetação após a aplicação da biomanta de juta com capim seco.

6 DISCUSSÃO

6.1 Análise da Pluviometria

Os dados pluviométricos apresentados mostram que a média de precipitação durante o período do experimento se enquadra nos valores médios do município de Sorocaba – SP. Segundo o INMET (2021), o mês de janeiro costuma ser o mês com maior média de precipitação, apresentando um volume médio de chuva de 224 mm. Comparativamente, a média obtida para o experimento foi de 184 mm para o mês de janeiro de 2020, e teve o maior valor observado durante o mês de dezembro de 2019 (254 mm). A média anual do município é equivalente à 1214 mm, sendo a maior concentração de chuvas nos meses de novembro até março.

Considerando o experimento realizado por Tsuchiya (2017) e Mendes (2018), os valores de precipitação foram semelhantes durante o mesmo período de estudo, e superiores aos dois últimos anos (2018-2019). Com base na média anual do município, é possível averiguar que o experimento compreendeu 70% do volume de precipitação do ano.

6.2 Alterações na Microtopografia do Solo

O entendimento das alterações provocadas na microtopografia do solo pode facilitar a identificação dos pontos ou regiões da superfície mais afetados pela ação da chuva, assim como o estágio em que se encontra o processo erosivo (TA et al., 2020). Desta forma, é possível buscar e aplicar técnicas mais efetivas para proteção do solo.

No experimento, a aplicação da biomanta demonstrou ser eficiente no quesito relacionado a proteção do solo, reduzindo o aumento do nível de profundidade dos sulcos atrelados ao processo erosivo. Este fato está associado a camada de proteção gerada pelo geossintético e ao material orgânico nele inserido, de maneira que os efeitos decorrentes da erosão sejam atenuados ou cessados, como o salpicamento do solo e o escoamento superficial (RICKSON, 2006). Os mapas de superfície pós-experimento do tratamento biomanta (maio/20) indicaram que uma parte dos sedimentos foi deslocado sobre os sulcos anteriormente identificados, nivelando a superfície em uma condição de menor profundidade. Neste caso, fica evidente a presença do escoamento superficial com o arraste de sedimentos, porém com a intensidade reduzida pela interface manta/material orgânico. Ao contrário do que foi observado pelas parcelas controle, na qual ficou perceptível um

aumento no tamanho dos sulcos, efeito este que foi potencializado pela exposição do solo, principalmente nos primeiros meses em que houve um grande volume de chuva.

Considerando o talude como um todo, as principais alterações ocorreram no transecto de 400 cm. Essa faixa está localizada próxima da base do talude, e foi a mais afetada pela ação da chuva, apresentando os maiores valores registrados. Os efeitos gerados podem estar relacionados a geometria do relevo, bem como o ângulo dos agregados e a direção com que as gotas da chuva atingem o solo (MESKHAT et al., 2019). Outro ponto a ser considerado, reflete no acúmulo de água nos sulcos já formados por erosões anteriores. Ao atingir a capacidade máxima de infiltração de água no solo, ocorre a formação de poças de água que passam a provocar um aumento do escoamento superficial (THOMPSON et al., 2010).

Apesar do rápido crescimento do capim nas parcelas controle, os resultados demonstraram que o capim não foi suficiente para conter o avanço do processo erosivo nos sulcos já existentes.

6.3 Infiltração de água no solo

As curvas de infiltração mostram que houve pouca diferença entre as taxas de infiltração e as condições estabelecidas ao longo do experimento. A principal alteração foi perceptível nos primeiros 12 minutos, na qual a condição controle apresentou um pico de 800 $mm.h^{-1}$, e o tratamento com biomanta foi de aproximadamente 380 $mm.h^{-1}$. Essa diferença pode estar relacionada a umidade do solo no momento da medição. A biomanta ao ser aplicada sobre o solo, retém parte da água que seria perdida pelo processo de evaporação (SANYAL, 2017). O solo úmido terá uma taxa de infiltração inicial menor do que o solo seco até que ambas as condições atinjam um mesmo patamar. Essa taxa será denominada por taxa de infiltração estável, apresentando um valor constante até que toda água esteja infiltrada (DINGMAN, 2015). Desta forma, é possível dizer que a biomanta teve um efeito inicial imediato, reduzindo as taxas de infiltração, porém não é possível afirmar que o solo tenha se tornado mais permeável após a colocação do material geossintético sobre o solo.

Outro aspecto que deve ser considerado é o tipo de solo e a própria declividade do terreno. As altas taxas de infiltração são características de um solo arenoso e seco. Nessas condições vale ressaltar que o segundo teste de infiltração foi realizado ao final do período úmido, ou seja, considerando que a parcela controle passou apresentar baixo teor de umidade, o solo já se encontrava seco comparado ao primeiro ensaio realizado em dezembro/19.

Ao analisar os solos arenosos, deve-se destacar a presença dos macroporos e os caminhos preferencias gerados pelo fluxo d'água. Os macroporos facilitam com que a água percorra pelos interstícios dos agregados, diminuindo a capacidade de retenção de água e aumentando a velocidade com que a água infiltra no solo (BEVEN e GERMANN, 2013).

6.4 Variações nas análises físicas, químicas e no Carbono Orgânico Total (COT)

Em um panorama geral sobre os resultados obtidos foi constatado que a biomanta teve um papel importante no aspecto de conservação das características químicas e físicas do solo, principalmente em evitar o processo de lixiviação dos cátions. No entanto, os parâmetros como condutividade elétrica e carbono orgânico total, não tiveram diferenças significativas durante os 6 meses de projeto.

Na parte física, a densidade média do solo apresentou uma leve mudança nas condições com biomanta, na qual após ensaio com anel volumétrico observou-se um valor médio de 1,23 $g.cm^{-3}$, menor do que a condição inicial e controle. Esse é um indicativo para um solo com mais matéria orgânica e com uma maior quantidade de poros, permitindo que a água fique retida por mais tempo e que as raízes de plantas tenham um melhor desenvolvimento (USDA, 2008). Apesar da redução da densidade, seria ideal um maior número de amostragem para confirmação das alterações observadas, tendo em vista a curta duração do experimento.

O teor de umidade do solo mostrou que a biomanta manteve o solo úmido mesmo nos meses com pouca precipitação. A importância de manutenção da umidade do solo está relacionada na disponibilidade de água para as plantas, assim como o desenvolvimento de espécies de fungos. Apesar de não terem sido identificadas durante o experimento, as micorrizas, através de uma relação simbiótica de mutualismo com as raízes das plantas conseguem auxiliar na captação de nutrientes e funcionam como indicadores biológicos (CARNEIRO et al., 2012).

A condutividade elétrica (CE) está associada a presença de nutrientes relativos à fertilidade do solo, assim como o pH, MO, CTC e da própria salinidade do solo. No experimento a CE, segundo teste estatístico, não apresentou diferença significativa para ambas as condições experimentais, apesar da análise química mostrar que a quantidade de macronutrientes, pH, CTC foi menor na condição controle (CARMO e SILVA, 2016). Outro fator que influencia os valores de condutividade, está relacionado ao teor de umidade do

solo, quanto mais baixo for o teor, maior será a resistência elétrica do solo. Apesar de existirem métodos de leitura direta da CE, entendeu-se que para o experimento, o solo não estaria em condições de solubilização ideais para uma leitura em campo. Desta forma, optou-se por padronizar as leituras através do método indireto por solubilização das amostras de solo, mesmo considerando a possibilidade de perdas de íons durante a retirada do material.

Na literatura são encontrados trabalhos nas áreas de agricultura de precisão, mapeamento de contaminantes no solo e estudos que permeiam analisar alterações nas propriedades do solo. Entre os estudos que envolvem a CE no solo, Romeo et al. (2020) realizaram testes para verificar possíveis alterações no solo após queimada em área de coníferas. As amostras do trabalho indicaram pequenas variações na CE conforme a profundidade e grau de severidade das áreas afetadas pelo fogo. Comparativamente com a aplicação da biomanta, apesar dos estudos terem uma condição de solo diferente, ambos apresentaram variações pouco significativas entre as amostras coletadas até 5 cm de profundidade, com exceção das parcelas em que os autores consideraram o grau de severidade médio do solo.

Em termos de valores, o experimento com a biomanta obteve valores de CE entre 20 e 50 $\mu S.cm^{-1}$, sendo considerado típico de um solo arenoso e não-salino. Em solos argilosos, os valores encontrados costumam ser em torno de 4000 $\mu S.cm^{-1}$, indicando uma alta quantidade de nutrientes e matéria orgânica (FOURIE, 2020).

A saturação por bases (v%) é um parâmetro que está atrelado à quantidade de bases (Ca^{+}, Mg^{+2}, K^{+}) na CTC, sendo que a condição controle foi a que apresentou o maior valor. Em termos gerais, esse é um parâmetro utilizado para analisar a fertilidade do solo, categorizados como eutrófico para uma condição de saturação por bases superior a 50% e distrófico quando menor que 50% (SANTOS e ZARONI, 2020). Nesse aspecto todas as condições estabelecidas se enquadraram como nível de fertilidade considerada eutrófica, apesar da biomanta não ter se destacado na relação SB/CTC. Outro aspecto que deve ser considerado é a profundidade que as amostras foram retiradas para a análise química, na qual contemplou uma amostragem de 0-20 cm. Estudos demonstram que existe uma variação na concentração de cátions nos primeiros 20 cm, tendo em vista o tipo de solo, acidez, presença de vegetação e espessura da camada de *topsoil* (JANSON et al., 2020, OLIVEIRA et al., 2020). A diminuição da CTC efetiva nas parcelas controle, pode ser considerado um indicativo do processo de lixiviação do solo, devido a sua exposição à chuva.

Relativo à perda de nutrientes pelo processo de lixiviação, a biomanta demonstrou ser capaz de minimizar a perda dos nutrientes mantendo as concentrações próximas das

quantidades identificadas originalmente no início do experimento. No entanto, foi perceptível um aumento de Fe nas parcelas com biomanta, podendo estar relacionado com o processo de oxidação de minerais primários do solo (MIELKI, 2014). A ausência de alumínio trocável (Al^{3+}), indica que a acidez potencial (H+Al), engloba quase que em sua totalidade uma acidez não trocável, proveniente dos íons de H^+ ligados aos ácidos. Esse fato é confirmado pela ausência de saturação por alumínio (m%), indicando que não houve toxicidade por alumínio nas amostras. Neste caso, a acidez observada pelo pH de caráter ácido, pode estar atrelado a uma deficiência de P, Ca e Mg (VILLAR, 2007).

Segundo classificação estabelecida pelo IAC (2020), as concentrações de cálcio trocável (Ca^{2+}), apesar de terem apresentado uma redução nos resultados, mantiveram uma classificação considerada como alta, sendo essencial para a neutralização da toxicidade do alumínio e do manganês. Por outro lado, a acidez do solo é um fator que influencia na concentração de magnésio trocável (Mg^{2+}), tendo em vista a redução de 33% nos resultados encontrados nas parcelas controle.

Entre os micronutrientes, o valor em destaque está para as altas concentrações de manganês (Mn) que assim como o alumínio está presente em solos ácidos, podendo apresentar uma toxicidade para o solo e para as plantas (HUANG et al., 2016). Segundo a classificação proposta pelo IAC (2020), valores superiores a 5 $mg.dm^{-3}$ são considerados altos para as plantas.

Por fim, observou-se que as concentrações de carbono orgânico total (COT) não demonstraram mudanças significativas após a aplicação da biomanta. No entanto, a partir da análise gráfica foi constatado pequenas variações ao final do experimento, podendo indicar uma influência da decomposição do material de juta e do conteúdo orgânico da palhada. Com base no resultado obtido, a biomanta seria considerado um produto voltado para a conservação do solo, porém com poucas variações no curto prazo em termos de incremento e disponibilidade de nutrientes.

O estoque de carbono orgânico do solo é influenciado, principalmente, pelas formas de manejo e a vegetação predominante no entorno (BALESDENT et al., 2018; CHEN et al., 2018). Os estudos demonstram que grande parte do estoque de carbono orgânico está concentrado em áreas de floresta e que técnicas de manejo como a aplicação de fogo e desmatamento para área de pastagem, reduzem drasticamente os estoques de carbono no solo (MAYER et al., 2020). Desta forma, alternativas como a aplicação a biomanta de juta, sugere ser uma técnica não agressiva para conservação do solo em áreas declivosas e difícil acesso.

6.5 Indicadores Ambientais: Hidrofobicidade e Controle de Crescimento de Vegetação Invasora

6.5.1 Hidrofobicidade

O parâmetro de hidrofobicidade tem uma relevância como indicador ambiental para determinar a dificuldade da penetração da água no solo. Esse fator pode inibir a infiltração da água, favorecendo a ocorrência de processos erosivos e o aumento do escoamento superficial. Desta forma, o conhecimento do grau de repelência do solo permite identificar causas para problemas erosivos, e facilitar na escolha por técnicas de manejo adequadas para cada situação (MOURA, 2018).

A repelência do solo à água está relacionada aos fatores como a umidade, quantidade de matéria orgânica, produção de substâncias hidrofóbicas pela vegetação, angulação dos agregados do solo (HERMANSEN et al., 2019, DYMOV et al., 2015). No experimento realizado, buscou-se entender como a aplicação da biomanta influenciaria no tempo em que a gota d'água se dissiparia. Desta forma, observou-se que o tempo de dissipação foi maior nas parcelas com o geossintético, porém em ambas as condições, os valores médios permaneceram menores que 5 segundos, caracterizando uma condição hidrofílica. A variação pode estar associada as substâncias liberadas pela matéria orgânica utilizada como preenchimento das biomantas, o que poderia ocasionar um aumento na hidrofobicidade.

Em termos de umidade do solo, os resultados observados foram que os meses com maior concentração de chuva, tiveram tempo superior na dissipação da gota, principalmente na condição com biomanta. A literatura, no entanto, demonstra que existe uma tendência que os solos sejam hidrofílicos quando úmidos e hidrofóbicos quando secos, devido as modificações ocasionadas pela relação entre as partículas de água e de solo (MAO et al., 2018). Desta forma, se torna mais provável que a diferença de tempo de dissipação, esteja relacionada com as substâncias provenientes da matéria orgânica e da cera presente nas fibras de juta.

Estudos demonstram que a decomposição de certas substâncias orgânicas, como as ceras, podem gerar uma camada hidrofóbica, que poderia ocasionar em uma diminuição da infiltração de água e aumento do escoamento superficial, portanto seria uma possibilidade para que outras pesquisas comparassem a hidrofobicidade do solo após decomposição do geossintético (MAIA et al., 2005). Em futuros trabalhos, algumas melhorias no método experimental poderiam ser implementadas, como a utilização de um tripé para fixação da

pipeta, auxiliaria no lançamento da gota e aumentaria a precisão durante o acionamento do cronômetro.

6.5.2 Controle de Crescimento de Vegetação Invasora

Em 2017, foram realizados os primeiros experimentos de controle de vegetação invasora com a aplicação de biomanta preenchida por capim seco (TSUCHIYA, 2017). Naquele momento, a manta conseguiu inibir parte do crescimento da vegetação invasora, porém notou-se a necessidade de um tratamento prévio do terreno para que não houvesse a rebrota por raízes remanescentes. Desta forma, em 2020, o projeto buscou através de uma aplicação diluída de herbicida impedir a rebrota e potencializar o efeito da biomanta.

A análise fotográfica mostrou que as parcelas com biomanta passaram a ter um crescimento de vegetação somente a partir do segundo mês. Por outro lado, as parcelas controle tiveram um crescimento contínuo até que atingissem um recobrimento de aproximadamente 50% de vegetação. Comparativamente, a aplicação da biomanta reduziu o crescimento vegetal em cerca de 30% após a estabilização, sendo que grande parte dessa porcentagem está relacionada ao crescimento marginal da vegetação. Apesar do recobrimento das parcelas com o material geossintético, partes das margens ficaram expostas, proporcionando que houvesse entrada de luz solar e consequentemente possibilitasse o desenvolvimento das plantas. Na replicação para projetos de larga escala, sugere-se considerar uma margem de tecido maior para que haja um recobrimento de forma mais efetiva.

A aplicação do teste estatístico comprova a eficiência do uso conjunto do herbicida com a biomanta no controle de crescimento de vegetação invasora. Atrelado a esse fato é possível constatar que a condição controle, na qual foi aplicado somente o herbicida na forma diluída, as plantas conseguiram se desenvolver normalmente após poucas semanas. Desta forma, as parcelas controle indicam que seriam necessárias novas aplicações do herbicida para que o resultado do efeito fosse equivalente ao proporcionado pela biomanta, o que caracterizaria em um prejuízo ambiental e um gasto desnecessário no longo prazo.

A literatura envolvendo técnicas para controle de plantas invasoras expõe diversas alternativas, que por vezes necessitam de uma extensa e custosa mão-de-obra, ou métodos invasivos que acabam por prejudicar o solo e a microfauna (WEIDLICH et al., 2020). A sinergia entre a biomanta (controle biológico) e o glifosato (controle químico), demonstrou que ambas as técnicas podem se complementar e oferecer um impacto positivo na

conservação do solo. Apesar da controvérsia na utilização do herbicida, o glifosato é mundialmente utilizado devido ao seu baixo custo e eficácia no controle de crescimento de plantas invasoras (WAGNER et al., 2017), porém seu uso deve estar condicionado como controle secundário, priorizando o uso conjugado com outras técnicas de manejo. A complementação do manejo com a utilização de diferentes técnicas pode diluir o custo e potencializar os efeitos na recuperação da estrutura do solo e na recomposição das espécies nativas. (ASSIS et al., 2021).

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O experimento com a biomanta, desenvolvido em conjunto com a aplicação do herbicida, foi considerado eficiente para os quesitos de controle de crescimento de vegetação invasora e de conservação dos nutrientes do solo. Em relação a manutenção de água no solo, a biomanta auxiliou no processo de retenção de água, sendo perceptível os valores constantes de teor de umidade ao longo do experimento. Considerando o aspecto geotécnico, a biomanta demonstrou um potencial na redução da taxa de infiltração, sendo um fator relevante para a estabilidade de taludes, de forma que, ao reduzir a pressão exercida pela água, diminui as chances de um possível rompimento do talude. Deve-se considerar a criação de um banco de sementes para continuidade no processo de recuperação do solo, possibilitando que futuramente as raízes auxiliem na infiltração de água e na estabilidade dos agregados do solo.

Outro aspecto positivo da biomanta está relacionado a conservação dos nutrientes do solo. Apesar das condições iniciais terem demonstrado um déficit de nutrientes essenciais e uma acidez média, a biomanta conseguiu manter os níveis de concentração próximos aos valores observados no início do experimento. A proteção do solo visando a conservação dos nutrientes é essencial para auxiliar no desenvolvimento de plantas e na diminuição dos gastos com adubagem. A utilização diluída do herbicida, ainda que em uma quantidade reduzida, pode ter influenciado na variação de alguns nutrientes obtidos ao final do experimento.

Em meio aos indicadores hidro-ecológicos, as parcelas com biomanta apresentaram um maior tempo de dissipação das gotas de água no ensaio de hidrofobicidade. Nesse aspecto, ainda que a amostragem tenha sido classificada como hidrofílica, deve-se considerar a possibilidade da formação de uma camada impermeável devido a decomposição da matéria orgânica contida na biomanta e da cera presente nos filamentos de juta. O solo, ao adquirir características hidrofóbicas, passa a ter um aumento do escoamento superficial. No entanto, no caso da biomanta, o escoamento superficial ocorre em uma velocidade menor pelo fato do geossintético reduzir o impacto com que a gota de chuva atinge a superfície do solo. Desta forma, deve-se considerar que em dias de chuvas intensas pode ocorrer um pequeno deslocamento de agregados, mesmo com a aplicação da biomanta.

A análise da microtopografia confirmou o potencial da biomanta de juta na proteção do solo contra os processos erosivos, além de permitir verificar os pontos mais afetados pela erosão. É possível concluir então que a irregularidade do talude foi um agravante para o

aumento da erosão em determinados pontos de algumas parcelas, sendo uma possível solução o nivelamento da superfície antes da aplicação da biomanta.

O uso combinado do herbicida com a biomanta teve papel fundamental para o controle do crescimento da vegetação, sendo uma alternativa com um bom custo-benefício diante das práticas agressivas e que podem comprometer as propriedades do solo.

Na replicação do projeto é necessário ter o cuidado para que a biomanta seja preenchida uniformemente com o capim. Espaços vazios podem proporcionar a entrada de luz solar e facilitar a rebrota de espécies invasoras através do tecido de juta.

Por fim, em períodos de forte precipitação, é recomendado averiguar o estado do material para que seja feita a manutenção ou troca da biomanta, evitando a perda de sua eficiência.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, S.; ULLAH, T.; ZIAUDDIN. Fibers for Technical Textiles. In: AHMAD, S.; RASHEED, A.; NAWAB, Y. **Fibers for Technical Textiles**. Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 21-47.

AHMED, Z.; HAQUE, S.; AKHTER, F.; BEGUM, M. Study of the Chemical Composition of Different Pipeline Varieties of Jute Fibres. **Pakistan Journal of Biological Science** v. 6. 2003. p. 1463-1467.

AL HOSNI, A. S.; PITTMAN, J. K.; ROBSON, G. D. Microbial degradation of four biodegradable polymers in soil and compost demonstrating polycaprolactone as an ideal compostable plastic. **Waste Management**. v. 97. Set. 2019. p. 105-114.

ÁLVAREZ-MOZOS, J.; ABAD, E.; GIMÉNEZ, R.; CAMPO, M. A.; GONI, M.; ARIVE, M.; CASALÍ, J.; DÍEZ, J.; DIEGO, I. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. **Catena**. v. 18. Jul. 2014. p.168-178.

ÁLVAREZ-MOZOS, J.; ABAD, E.; GONI, M.; GIMÉNEZ, R.; CAMPO, M. A.; DÍEZ, J.; CASALÍ, J.; ARIVE, M.; DIEGO, I. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation. **Catena**. v. 121. Oct. 2014. p.195-203.

ASSIS, G. B.; PILON, N. A. L.; SIQUEIRA, M. F.; DURIGAN, G. Effectiveness and costs of invasive species control using different techniques to restore Cerrado grasslands. **Restoration Ecology**. v. 29. n. S1. Abr. 2021. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR: ISO 10318-1: Geossintéticos – Parte 1: Termos e Definições**. Rio de Janeiro - RJ, 9 p. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNR NBR 11682: Estabilidade de Encostas.** Rio de Janeiro – RJ, 39 p. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13600: Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440ºC – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro – RJ, 2 p. 1996.

BADÍA, D.; LÓPEZ-GARCÍA, S.; MARTÍ, C.; ORTÍZ-PERPIÑÁ, O.; GIRONA-GARCÍA, A.; CASANOVA-GASCÓN, J. Burn effects on soil properties associated

to heat transfer under contrasting moisture content. **Science of The Total Environment**. v.601-602. Dez. 2017. p. 1119-1128.

BAGIO, B.; BERTOL, I.; WOLSCHICK, N. H.; SCHNEIDERS, D.; DOS SANTOS, M. A. N. Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 41. Viçosa – MG. mar. 2017. 15 p.

BALESDENT, J.; BASILE-DOELSCH, I.; CHADOEUF, J.; CORNU, S.; DORRIEN, D.; FEKIACOVA, Z.; HATTÉ, C. Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. **Nature**. v. 559, n. 7715. Jul. 2018. p. 599-602.

BARBOSA, E. G.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. Allelopathic evidence in *Brachiaria decumbens* and its potential to invade the Brazilian Cerrados. **Brazilian Archives of Biology and Technology.** v. 15, n. 4, Curitiba – PR, jun/ago. 2008. p. 625-631.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils revisited. **Water Resources Research**. v.49, n. 6. Jun. 2013. p. 3071-3092.

BISDOM, E. B. A.; DEKKER, L. W.; SCHOUTTE, J. F. T. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. **Geoderma**. v. 56. 1993. p. 105-118.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **PNAS**. v. 117, n. 36. Set. 2020. 8 p.

BUDA, A. R. 7.7 Surface-Runoff Generation and Forms of Overland Flow. In: SHRODER, J. F. **Treatise on Geomorphology**. 1. Ed. Cambridge: Academic Press, 2013. p. 73-84.

CARNEIRO, R. F. V.; JÚNIOR, F. M. C.; PEREIRA, L. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SILVA, G. A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**. v. 43, n. 4. out-dez. 2012. p. 648-657.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Condutividade elétrica e crescimento do milho em solos contrastantes sob aplicação de diversos níveis de calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51. n. 10. Brasília – DF. Oct. 2016. p. 1762-1772.

CARVALHO, P. A. S.; FREITAS, C. G. L.; WOLLE, C. M.; GAMA JR., G. F. C.; BARROS, J. M. C.; CUNHA, M. A.; GALVES, M. L.; PINTO, C. S.; ORLANDI, C.; CAMARGO, J. C. C.; OKAWA, M.; PRIETO, V. **Manual de Geotecnia:**

Taludes de Rodovias – Orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 388 p.

CHEN, J.; XIAO, H.; LI, Z.; LIU, C.; WANG, D.; WANG, L.; TANG, C. Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. **Ecological Engineering**. v. 132. Jul. 2019. p. 109-114.

CHEN, S.; WANG, W.; XU, W.; WANG, Y.; WAN, H.; CHEN, D.; TANG, Z.; TANG, X.; ZHOU, G.; XIE, Z.; ZHOU, D.; SHANGGUAN, Z.; HUANG, J.; HE, J-S.; WANG, Y.; SHENG, J.; TANG, L.; LI, X.; DONG, M.; WU, Y.; WANG, Q.; WANG, Z.; WU, J.; CHAPIN 3rd, F. S.; BAI, Y. Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 115, n. 16. Abr. 2018. p. 4027-4032.

DA SILVA, A. M.; MORADI, E.; RODRIGO-COMINO, J.; CERDÀ, A. Spatial variability of soil roughness in persimmon plantations: A new combined ISUM (improved stock unearthing method) approach. **Ecological Indicators**. v. 106. Nov. 2019a. 7 p.

DA SILVA, A. M.; NASCIMENTO, L. R.; ALDEA, M.; VIEIRA, M. Z.; ROQUE, C. D. Assessing the relations among the features of the land cover and of the soil on the soil-water interactions through a functional eco-hydrological indicator. **Ecological Indicators**. v. 104. Set. 2019b. p. 59-66.

DA SILVA, L. M. I.; DA SILVA, M. J.; ROCHA, J. S.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; STOLF-MOREIRA, R.; OLIVEIRA, H. C. Potential allelopathic effect of *Brachiaria decumbens* root exudates on neotropical tree seedlings. **Theoretical and Experimental Plant Physiology.** v. 29. 2017. p. 177-186.

DHALIWAL, J. S. Natural Fibers: Applications. In: ABBAS, M.; JEON, H.-Y. **Generation, Development and Modifications of Natural Fibers**. London: IntechOpen, 2020. p. 1-23.

DINGMAN, L. S. **Physical Hydrology.** 3ª Ed. Waveland Press. 2015. 643 p.

DOWNEY, P.; RICHARDSON, D. M. Alien plant invasions and native plant extinctions: a six-threshold framework. **AoB PLANTS**. v. 8. Jul. 2016. 21 p.

DYBZINSKI, R.; FARGIONE, J. E.; ZAK, D. R.; FORNARA, D.; TILMAN, D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment. **Oecologia**. v. 158. Nov. 2008. p. 85-93.

DYMOV, A. A.; MILANOVSKII, E. Y.; KHOLODOV, V. A. Composition and Hydrophobic Properties of Organic Matter in the Densimetric Fractions of Soils from the Subpolar Urals. **Eurasian Soil Science**. v. 48, n.11. 2015. p. 1212-1221.

EKHOLM, P.; LEHTORANTA, J. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication? **Journal of Environmental Management**. v. 93, n. 1. jan. 2012. p. 140-146.

ENVIRONMENT AGENCY. **Think Soils Manual**. In: Identifying soil structural problems in the field. 2007. p. 55-101.

ERCOLI, R. F.; MATIAS, V. R. S.; ZAGO, V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. **Frontiers in Environmental Science**. Belo Horizonte, MG. Jun. 2020. 16 p.

ERICKSON-PAZ, F.; FLOR-PAZ, P.; ALMANZOR, N.; MARCOS, M. C. M. Performance evaluation of soil erosion control geotextile materials on road cut slope. *In Proceedings*: **The 2018 World Congress of Advances in Civil, Environmental, & Materials Research**, 18., 2018, Songdo Convensia, Icheon, Coreia. Ago. 2018. 13 p.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SOROCABA (FATEC). **Campus**. 2020. Disponível em: <http://www.fatecsorocaba.edu.br/campus.asp>. Acesso em: 14 de set. de 2020.

FAKHARI, M. A.; LOTFALIAN, M.; HOSSEINI, S. A.; DARVISHAN, A. K. Using Wood-Shred, Rice-Straw and Brush-Wood-Dams with Planting Seedings to Runoff and Erosion Control in a Forest Road Fill Slope. **Croatian Journal of Forest Engineering**. v. 40, n. 2. 2019. p. 327-339.

FANGUEIRO, R.; PEREIRA, C. G.; DE ARAÚJO, M. Applications of polyesters and polyamides in civil engineering. In: **Polyesters and Polyamides**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008. p.542-592.

FERGUSON, J. J.; RAHINASABAPATHI, B.; CHASE, C. A. **Allelopathy: How Plants Suppress Other Plants. 1 Nature of Allelopathy**. University of Florida. Jul. 2016. p. 1-5.

FERNÁNDEZ-RAGA, M.; PALENCIA, C.; KEESSTRA, S.; JORDÁN, A.; FRAILE, R.; ÂNGULO-MARTÍNEZ, M.; CERDÀ, A. Splash erosion: A review with unanswered questions. **Earth-Science Reviews**. v. 171. Ago. 2017. p. 463-477.

FERREIRA, E. V. R.; FRANCO, S. P. B.; SANTOS, A. F.; SOUZA, R. C. Atividade alelopática da vassourinha (*Scoparia dulcis L.*) na germinação de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** Recife, v. 15, n. 2. 2020. 7 p.

FIDELIS, M. E. A.; PEREIRA, T. V. C.; GOMES, O. F. M.; SILVA, F. A.; FILHO, R. D. T. The effect of fibre morphology on the tensile strength of natural fibres. **Journal of Materials Research and Technology.** v. 2, n. 2, abr./jun. 2013. p. 149-157.

FINCH, H. J. S.; SAMUEL, A. M.; LANE, G. Soils, and soil management. In: Lockhart and Wiseman's Crop Husbandary Including Grassland. **Environmental Science**. 9. Ed. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. p. 37-62.

FOURIE, M. **What can electrical conductivity tell us abou tour soil?** 2020. Disponível em: <http://traceandsave.com/what-can-electrical-conductivity-tell-us-about-our-soil/>. Acesso em: 01 de jun. de 2020.

GUANGREN, S. **Data Mining and Knowledge Discovery for Geoscientists. In: 8. Kriging**. Elsevier. 2014. p. 238-274.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2005. 340 p.

GUO, J.-J.; HUANG, X.-P..; XIANG, L.; WANG, Y.-Z.; LI, Y.-W.; CAI, Q.-Y.; MO, C.-H.; WONG, M.-H. Source, migration, and toxicology of microplastics in soil. **Envinronment International**. v. 137. Abr. 2020. 13 p.

HAGNER, M.; MIKOLA, J.; SALONIEMI, I.; SAIKKONEN, K.; HELANDER, M. Effects of glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field. **Scientific Reports**. v. 9. Jun. 2019. 13 p.

HALECKI, W.; KRUK, E.; RYCZEK, M. Loss of topsoil and soil erosion by water in agricultural areas: A multicriteria approach for various land use scenarios in the western Carpathians using a SWAT model. **Land Use Policy**. v. 73. 2018. p. 363-372.

HAO, L. C.; SAPUAN, S. M.; HASSAN, M. R.; SHELTAMI, R. M. Natural fiber reinforced vinyl polymer composites. In: **Natural Fibre Reinforced Vinyl Ester and Vinyl Polymer Composites**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018. p. 27-70.

HERMANSEN, C.; MOLDRUP, P.; MÜLLER, K.; JENSEN, P. W.; VAN DEN DIJSSEL, C.; JEYAKUMAR, P.; JONGE, L. W. Organic carbon content control the severity of water repellency and the critical moisture level across New Zeland pasture soils. **Geoderma**. v. 338. Mar. 2019. p. 281-290.

HILEL, D. 11. – Soil fertility and plant nutrition. In: **Soil in the Environment**. 1 ed. Massachusetts, Cambridge: Academic Press, 2008. p. 151-162.

HODAKEL, B. **What is Jute Fabric: Properties, How its Made and Where?** 2020. Disponível em: < https://sewport.com/fabrics-directory/jute-fabric>. Acesso em: 26 de nov. de 2020.

HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. A. Analysis of the effect of impermeability of urban soil on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE. **Revista Ambiente & Água**. v. 14, n. 4. Taubaté – SP, 2019. 10 p.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. **Soil Science Society of America Journal**. v. 5, n. C. Jan. 1941. p. 399-417.

HUANG, Y. L.; YANG, S.; LONG, G. X.; ZHAO, Z. K.; LI, X. F.; GU, M. H. Manganese Toxicity in Sugarcane Plantlets Grown on Acidic Soil of Southern China. **PLOS ONE**. v. 11. n. 3. Mar. 2016. 18 p.

ILHA, R. **Escoamento Superficial e Infiltração de Água no Solo em Sistema Plantio Direto com "Vertical Mulching"**. 2018. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria, RS, 2018.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Informações Sobre Interpretação de Análise de Solo**. 2020. Disponível em: < http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php#:~:text=Mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20e%20argila&text=O%20teor%20de%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20%C3%A9%20%C3%BAtil%20para%20dar%20id%C3%A9ia,g%2Fdm3%20para%20solos%20argilosos.>. Acesso em 28 de dez. de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normal Climatológica do Município de Sorocaba de 1981-2010**. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 30 de ago. de 2020.

JANSON, L.; VON WILPERT, K.; HARTMANN, P. Natural Recovery and Liming Effects in Acidified Forest Soils in SW-Germany. **Soil Systems**. v. 4. n. 3. 30 de jun. 2020. 38 p.

KALIBOVÁ, J.; JACKA, L.; PETRU, J. The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions. **Solid Earth**. v. 7, Mar. 2016. p. 469-479.

KALISZ, S.; KIVLIN, S. N.; BIALIC-MURPHY, L. Allelopathy is pervasive in invasive plants. **Biological Invasions**. v. 23. Fev. 2021. p. 367-371.

KEESSTRA, S. D.; RODRIGO-COMINO, J.; NOVARA, A.; GIMÉNEZ-MORERA, A.; PULIDO, M.; DI PRIMA, S.; CERDÀ, A. Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments. **Catena**. v. 174. Mar. 2019. p. 95-103.

KHAN, A. J. **Efficacy of jute geotextiles for hill slope erosion control, rural road construction and river bank protection**. 6ª Asian Regional Conference on Geosynthetics for Infrastructure Development. New Delhi, India. Nov, 2016. p. 689-695.

KOERNER, R. M.; HSUAN, Y. G.; KOERNER, G. R. Lifetime predictions of exposed geotextiles and geomembranes. **Geosynthetics International**. v. 24, n. 2. Mai. 2017. p. 198-212.

KUMAR RAI, P.; SINGH, J. S. Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. **Ecological Indicators**. v. 111. Abr. 2020. 20 p.

LI, X.; NIU, J.; XIE, B. The Effect of Leaf Litter Cover on Surface Runoff and Soil Erosion in Northern China. **PLOS ONE**. v. 9. n. 9. Set. 2014. 15 p.

LIU, X.; LI, H.; ZHANG, S.; CRUSE, R. M.; ZHANG, X. Gully Erosion Control Practices in Northeast China: A Review. **Sustainability**. MDPI, Open Access Journal. v. 11, n. 18. Set. 2019. p. 1-16.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1998. 177 p.

LUTGEN, A.; JIANG, G.; SIENKIEWICZ, N.; MATTERN, K.; KAN, J.; INAMDAR, S. Nutrients and Heavy Metals in Legacy Sediments: Concentrations, Comparisons with Upland Soils, and Implications for Water Quality. **Journal of The American Water Resources Association**. 2020. p. 1-23.

MAIA, C. M. B. F.; DEDECEK, R.; MALUCELLI, C. S. **Identificação de Repelência à Água em Solos sob Plantios Florestais**. Colombo, PR: EMBRAPA FLORESTAS. Dez. 2005. 6 p. (EMBRAPA FLORESTAS. Comunicado Técnico, 147).

MANIVANNAN, S.; KHOLA, O. P. S.; KANNAN, K.; CHOUDHURY, P. K.; KASTHURI-THILAGAM, V. Efficacy of open weave jute geotextiles in controlling soil erosion and its impact on hill slope stabilization. **Indian Journal of Agricultural Sciences**. v. 88, n. 5. Mai. 2018. p. 679-684.

MAO, J.; NIEROP, K. G. J.; DEKKER, S. C.; DEKKER, L. W.; CHEN, B. Understanding the mechanisms of soil water repellency from nanoscale to ecosystem scale: a review. **Journal of Soils and Sediments**. v. 19. 2018. p. 171-185.

MAYER, M.; PRESCOTT, C. E.; ABAKER, W. E. A.; AUGUSTO, L.; CÉCILLON, L.; FERREIRA, G. W. D.; JAMES, J.; JANDL, R.; KATZENSTEINER, K.; LACLAU J.; LAGNIÈRE, J.; NOUVELLON, Y.; PARÉ, D.; STANTURF, J. A.; VANGUELOVA, E. I.; VESTERDAL, L. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. **Forest Ecology and Management**. v. 466. 15 de jun. de 2020. 25 p.

MENDES, P. B. **Análise comparativa de elementos de bioengenharia no controle do processo erosivo de um talude de alta inclinação em um curto período de tempo**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba – SP, 2018.

MIELKI, G. F. **Disponibilidade de ferro em solos tropicais e sua absorção pela planta**. 2014. 35 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2014.

MIELNIK, L.; HEWELKE, E.; WEBER, J.; OKTABA, L.; JONCZAK, J.; PODLASIŃSKI, M. Changes in the soil hydrophobicity and structure of humic substances in Sandy soil taken out of cultivation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 319. 2021. 10 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Phosphorus. In: **Principles of Plant Nutrition**. 5.ed. Holanda: Springer Netherlands, 2001. p. 453-479.

MESKHAT, M.; AMANIAN, N.; TALEBI, A.; KIANI-HARCHEGANI, M.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of Roughness Coefficients and Complex Hillslope Morphology on Runoff Variables under Laboratory Conditions. **Water**. v. 11, n. 12. 2019. p. 1-15.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**. v. 24. Juíz de Fora – MG. 2010. p. 13-30.

MORENO, M. M. T. **Argilas: Composição Mineralógica, Distribuição Granulométrica e Consistência de Pastas**. 2012. 125 f. Tese (Livre-docente em Argilas para

Cerâmica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro – SP, 2012.

MORFORD, S. L.; HOULTON, B. Z.; DAHLGREN, R. A. Increased Forest ecosystem carbon and nitrogen storage from nitrogen rich bedrock. **Nature**. v. 477. Set. 2011. p. 78-84.

MORVAN, X.; NAISSE, C.; ISSA, O. M.; DESPRATS, J. F.; COMBAUD, A.; CERDAN, O. Effect of ground-cover type on surface runoff and subsequent soil erosion in Champagne vineyards in France. **Soil Use and Management**. v. 30. n. 3. set. 2014. p. 372-381.

MOURA, A. S. **Hidrofobicidade em solos arenosos e argilosos sob diferentes usos na região semiárida de Pernambuco**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestre em Produção Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns – PE, 2018.

MOURA, J. M. B. M.; LOEWEN, A. R.; AUMOND, J. J. Obras de contenção de encostas em Blumenau-SC: olhares à luz da engenharia natural. **RA’EGA**. v. 45, n.1. Curitiba-PR. Dez. 2018. p. 27-44.

NATIONAL COUNCIL FOR AIR AND STREAM IMPROVEMENT. Inc. (NCASI). **Effects of Heavy Equipment on Physical Properties of Soils and on Long-Term Productivity: a Review of Literature and Current Research**. Technical Bulletin nº 887. Research Triangle Park, N. C.: National Council for Air and Stream Improvement. 2004.

NAYAKEKORALE, H. B. Soil Degradation. In: MAPA, R. B. **The Soils of Sri Lanka: World Soils Book Series**. 1.ed. Switzerland: Springer Nature, 2020. p. 103-118.

NUÑEZ, M. A.; CHIUFFO, M. C.; TORRES, A.; PAUL, T.; DIMARCO, R. D.; RAAL, P.; POLICELLI, N.; MOYANO, J.; GARCÍA, R. A.; WILGEN, B. W.; PAUCHARD, A.; RICHARDSON, D. M. Ecology and management of invasive Pinaceae around the world: progress and challenges. **Biological Invasions**. v. 19, n. 11. Jun. 2017. p. 3099-3120.

OLIVEIRA, I. R. C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

OLIVEIRA, J. T.; ROQUE, C. G.; TEODORO, P.; MONTANARI, R. Spatial variability of irrigated common bean yield correlated with the fertility of a Sandy soil. **Engenharia Agrícola (Online)**. v. 40. n. 5. 2020. p. 645-656.

OMAR, R. C.; TAHA, H.; ROSLAN, R.; BAHARUDDIN, I. N. Z. Geotextile from pineapple leaves and bio-grout for slope stabilization and erosion control. **International Journal of GEOMATE**. v. 17, n. 60. Ago. 2019. p. 219-224.

OSMAN, K. T. **Management of Soil Problems – Sandy Soils**. Germany: Springer. 1st ed. 2018. 494 p.

PARK, S.-I.; YANG, H. I.; PARK, H.-J.; SEO, B.-S.; JEONG, Y.-J.; LIM, S.-S.; KWAK, J.-H.; KIM, H.-Y.; YOON, K.-S.; LEE, S.-M.; CHOI, W.-J. Rice straw cover decreases soil erosion and sediment-bound C, N, and P losses but increases dissolved organic C export from upland maize fields as evidenced by $\delta^{13}C$. **Science of the Total Environment**. v. 753. Set. 2020. 11 p.

PAVAO-ZUCKERMAN, M. A. Soil Ecology. In: FATH, B. **Encyclopedia of Ecology**. 2nd ed. v. 3. Netherlands: Elsevier. 2019. p. 600-605.

PAPIEROWSKA, E.; MATYSIAK, W.; SZATYLOWICKZ, J.; DEBAENE, G.; URBANEK, E.; KALISZ, B.; LACHACZ, A. Compatibility of methods used for soil water repellency determination for organic and organo-mineral soils. **Geoderma**. v. 314. 2018. p. 221-231.

PEOPLES, M. B.; RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J; FILLERY, I. R. P. **Soil: Nutrient Cycling**. 2014. p. 197-210.

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

RAHMA, A. E.; WARRINGTON, D. N.; LEI, T. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. **International Soil and Water Conservation Research**. v.7. ago. 2019. p. 335-345.

RICKSON, R. J. Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. **Earth Surface Processes and Landforms**. v. 31. 2006. p. 550-560.

RODRIGO-COMINO, J.; GIMÉNEZ-MORERA, A.; PANAGOS, P.; POURGHASEMI, H. R.; PULIDO, M.; CERDÀ, A. The potential of straw mulch as a nature-based solution in olive groves treated with glyphosate. A biophysical and socio-economic assessment. **Land Degradation & Development**. v. 31. n. 15. Set. 2020. p. 1877-1889.

ROMEO, F.; MARZILLIANO, P. A.; TURRÍON, M. B.; MUSCOLO, A. Short-term effects of different fire severities on soil properties and *Pinus halepensis* regeneration. **Journal of Forestry Research**. v. 31. 2020. p. 1271-1282.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1 ed. Campinas, SP: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

RUIZ-COMENERO, M.; BIENES, R.; ELDRIDGE, D. J.; MARQUES, M. J. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbono in a vineyard in the central Spain. **Catena**. v. 104. Mai. 2013. p. 153-160.

SANTOS, C. H. **Alterações no estoque de carbono, na dinâmica da matéria orgânica e dos atributos químicos e físicos induzidos por diferentes usos dos solos de Colorado do Oeste-RO**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Mato Grosso – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Cuiabá – MT, 2008.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Saturação por Bases**. 2020. Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_21_2212200611544.html#:~:text=Refere%2Dse%20%C3%A0%20propor%C3%A7%C3%A3o%20de,a%2050%25%20(Distr%C3%B3fico) >. Acesso em: 20 de set. 2020.

SANTOS, N. S. **Prospecção da cadeia das fibras amazônicas: manutenção ou extinção?** 2018. 171 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônica Legal) – Universidade Federal do Amazonas – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus – AM, 2018.

SANYAL, T. Jute, Jute Fiber, and Jute Yarn. In: **Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering**. 1.ed. Singapore: Springer Nature, 2017. p. 7-17.

SELONEN, S.; DOLAR, A.; KOKALJ, A. J.; SKALAR, T.; DOLCET, L. P.; HURLEY, R.; VAN GESTEL, C. A. M. Exploring the impacts of plastic in soil – The Effects of polyester textile fibers on soil invertebrates. **Science of The Total Environment**. v. 700. n. 15. Jan. 2020. 34 p.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. J.; THOMPSON, M. L. **Soils: Genesis and Geomorphology**. 2 ed. England: Cambridge University Press, 2015. 795 p.

SLENICKA, P.; ZOUHAR, J.; MOLNAROVA, K. J.; VLASAK, J.; KOTTOVA, B.; PETRZELKA, P.; GEBHART, M.; WALMSLEY, A. Trends of soil degradation:

Does the socio-economic status of land owners and land users matter? **Land Use Policy**. v. 95. Jun. 2020. 8 p.

SMITH, W. S.; JUNIOR, V. D.; CARVALHO, J. L. **Biodiversidade do Município de Sorocaba**. Sorocaba, SP: Prefeitura Municipal de Sorocaba, Secretaria do Meio Ambiente, 2014. 272 p.

SOIL QUALITY. **Infiltration**, 2020. Disponível em: <http://soilquality.org/indicators/infiltration.html>. Acesso em: 24 de nov. de 2020.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **What is Soil Science?**, 2020. Disponível em: < https://www.soils.org/about-soils>. Acesso em: 21 de set. 2020.

TA, N.; ZHANG, C.; DING, H. ZHANG, Q. Effect of tillage, slope, and rainfall on soil surface microtopography quantified by geostatistical and fractal índices during sheet erosion. **Open Geosciences**. v. 12, n.1. Jan. 2020. p. 232-241.

TEIXEIRA, N. C.; GUIMARÃES, C. D. C. Métodos de contenção e estabilização de processos erosivos avançados e voçorocas no Brasil. **Saberes Interdisciplinares**. v. 5, n. 10. Dez. 2017. p. 73-92.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 3. Ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. 573 p.

THE UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Rangeland Soil Quality – Water Erosion**. Mai. 2001 (Soil Quality Information Sheet, 9).

THE UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Soil Quality Indicators – Bulk Density**. Jun. 2008 (Soil Quality Physical Indicator Information Sheet Series).

THIÉBAUT, G.; TARAYRE, M.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, H. Allelopathic Effects of Native Versus Invasive Plants on One Major Invader. **Frontiers in Plant Science**. v. 10. Jul. 2019. p. 854-881.

THOMPSON, S. E.; KATUL, G. G.; PORPORATO, A. Role of microtopography in rainfall-runoff partitioning: An analysis using idealized geometry. **Water Resources Research**. V. 46. Jul. 2010. 11 p.

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**. 2017. 45 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba-SP, 2017.

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

VILLAR, M. L. P. **Manual de Interpretação de Análise de Plantas e Solos e Recomendação de Adubação**. Cuiabá: EMPAER, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).

WAGNER, S. C. Biological Nitrogen Fixation. **Nature Education Knowledge**. v. 3. n. 10. 2011.

WAGNER, V.; ANTUNES, P. M.; IRVINE, M.; NELSON, C. R. Herbicide usage for invasive non-native plant management in wildland areas of North America. **Journal of Applied Ecology**. v. 54, n. 1. Fev. 2017. p. 198-204.

WARING, R. H.; RUNNING, S. **Forest Ecosystems – Water Cycle**. Academic Press. 3 ed. Jul. 2007. 440 p.

WASSERMAN, J. C.; CARVALHO, A. C.; DA SILVA, K. M.; VICENTE, M. C.; GUIMARÃES, T. C. S. M. A qualidade da água e as mortandades de peixes na laguna de Araruama. **Engenharia e Ciências Ambientais: Contribuições à Gestão Ecossistêmica**. Rio de Janeiro – RJ: Editora Essentia, 2019. p. 222-244.

WEIDLICH, E. W. A.; FLÓRIDO, F. G.; SORRINI, T. B.; BRANCALION, P. H. S. Controlling Invasive Plant Species in Ecological Restoration: A global review. **Journal of Applied Ecology**. v. 57, n. 9. Set. 2020. p. 1806-1817.

ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 28. Mar. 2008. p. 65-86.

ZUMSTEIN, M. T.; SCHINTLMEISTER, A.; NELSON, T. F.; BAUMGARTNER, R.; WOEBKEN, D.; WAGNER, M.; KOHLER, H.-P. E.; MCNEILL, K.; SANDER, M. Biodegradation of synthetic polymers in soils: Tracking carbon into CO_2 and microbial biomass. **Science Advances**. v. 4, n. 7. Jul. 2018. 9 p.