



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Utilização de fibra do coco babaçu (Orbignia, sp) como componente de biomanta na proteção de taludes de solo

INDIRA QUEIROZ MACAMBIRA BEZERRA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:
Profa. Dra. Nélida Lucia Del Mastro

#
#

São Paulo
2022

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Utilização de fibra do coco babaçu (Orbignia, sp) como componente de biomanta na proteção de taludes de solo

Versão Corrigida

Versão Original disponível no IPEN

INDIRA QUEIROZ MACAMBIRA BEZERRA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:
Nélide Lucia Del Mastro

#

#

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

BEZERRA, I. Q. M. **Utilização de fibra do coco babaçu (*Orbignia, sp*) como componente de biomanta na proteção de taludes de solo**. 2022. 99 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/>> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bezerra, Indira Queiroz Macambira
Utilização de fibra do coco babaçu (*Orbignia, sp*) como
componente de biomanta na proteção de taludes de solo / Indira
Queiroz Macambira Bezerra; orientadora Nélida Lúcia Del
Mastro. -- São Paulo, 2022.
99 f.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia
Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares, São Paulo, 2022.

1. Erosão. 2. Fibra Natural. 3. Geomanta. 4. Geotêxtil. I.
Del Mastro, Nélida Lúcia, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Indira Queiroz Macambira Bezerra

Título: Utilização de fibra do coco babaçu (*orbignia*, sp) como componente de Biomanta na proteção de taludes de solo.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Doutor em Ciências.

Data: 16/12/2022

Banca Examinadora

Profa. Dr.a Nélide Lúcia Del Mastro

Instituição: IPEN (IPEN)

juízoamento: NÃO VOTANTE

Prof. Dr. Dib Karam Júnior

Instituição: EACH (USP)

juízoamento: APROVADA

Profa. Dra. Daniele Gomes Carvalho

Instituição: UNITPAC

juízoamento: APROVADA

Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Kuhn

Instituição: UFOB

juízoamento: APROVADA

Aos meus pais Jurandyr e Gilce, que são
exemplos a serem seguidos, ao meu
marido Juliano, que me apoia
incondicionalmente em toda a minha
trajetória, e minha filha Maria Clara, que é
a razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A profa. Dra Nélida Lucia del Mastro que me orientou, ajudou, guiou, motivou e incentivou na realização deste trabalho, sempre muito atenciosa e disponível, a quem sou muito grata e tenho muito carinho e admiração.

Ao IPEN, na pessoa do Dr. Fernando Moreira, por me acolher e guiar mesmo de tão longe.

Ao UNITPAC por oportunizar este convênio com o IPEN e assim proporcionar a realização de mestrado e doutorado à seus docentes. Às reitoras, Carla Madeira, Susana Salazar e Otávia Borges, à diretora acadêmica Fabiana Bringel, e diretor administrativo Aristóteles Junior, que sempre me apoiaram nesta instituição de ensino superior nesses anos dedicados, em parte, a realização do doutorado, disponibilizando material, estrutura física e financeira. À coordenadora do curso de engenharia Denise Guimarães que sempre me incentivou muito. Ao prof. André Senna que esteve atento e disposto a auxiliar no bom andamento deste trabalho.

Ao prof. Dr. Orêncio Vilar, que indicou o tema deste trabalho e desde o mestrado me apoia e está sempre disposto a auxiliar.

À TOBASA por fornecer todo o epicarpo do coco babaçu necessário para esta pesquisa.

À Deflor Engenharia por ceder a tela de sustentação para a montagem da biomanta.

À UEMASul, na pessoa do prof. João Dias, que disponibilizou o laboratório para a realização de alguns ensaios e foi extremamente prestativo.

À todos os colegas professores dos cursos de engenharia do UNITPAC, que sempre me incentivaram, ajudaram e deram sugestões durante todos estes anos. Em especial Dani, Denise, Evilane e Adriano, mas principalmente a Mariana que esteve comigo nessa jornada desde início e sempre foi minha “guru”, disponível para tudo sem medir esforço, dia e hora.

Aos meus orientandos de iniciação científica, Camila, Hemily, Thaylla e Leandro, e aos técnicos do laboratório de geotecnia do UNITPAC, que me auxiliaram no desenvolvimento dessa pesquisa.

À minha família: pais, irmãos, cunhados, sobrinhos e filha, mas principalmente ao meu marido que sempre me apoiou, incentivou e esteve ao meu lado em todas as decisões que precisei tomar durante esta etapa tão importante da nossa vida.

Para ver o mundo em um grão de areia
e um céu em uma flor selvagem,
segure o infinito na palma da sua mão
e a eternidade em uma hora.

(William Blake)

RESUMO

BEZERRA, Indira Q. M. **Utilização de fibra do coco babaçu (*Orbignia, sp*) como componente de biomanta na proteção de taludes de solo.** 2022. 97 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo

Uma grande preocupação mundial é a destinação de resíduos, mesmo que estes sejam naturais e degradáveis. A casca do coco babaçu, presente na região norte e nordeste do Brasil, é um exemplo de resíduo gerado pela extração do coco babaçu como o objetivo principal da extração das amêndoas. Assim, neste trabalho buscou-se uma destinação ao epicarpo do coco babaçu, que corresponde à 13 % do fruto. Foi implementado um geotêxtil natural, também denominado de biomanta, para proteção de taludes de solo. A biomanta foi produzida manualmente com a fibra do coco babaçu e protegida por tela de polipropileno biodegradável. A manta foi assentada em um talude natural de solo durante 2 meses, em período chuvoso na cidade de Araguaina-TO, Brasil. O talude foi dividido em blocos com proteção de manta mais grama e sem a proteção da biomanta mais grama, coletando a água e o solo carregados durante as chuvas neste período. Os resultados apontaram que nos blocos com a proteção da manta a água escoada da chuva foi 32% menor que nos blocos sem manta, e que o solo carregado pela chuva foi 80% menor nos blocos cobertos pela manta. O epicarpo do coco babaçu apresentou massa específica de 1,083 g/cm³, absorção de água após 24 h de 0,75% e degradação de 8,87% quando assentada no talude de solo. Estes resultados confirmam a eficácia da biomanta como proteção a erosão de taludes de solo.

Palavras-chave: Erosão, Fibra natural, Geomanta, Geotêxtil.

ABSTRACT

BEZERRA, Indira Q. M. **Use of babassu coconut fiber (*Orbignia, sp*) as a componente of natural geotextile to protect soil slopes.** 2022. 97 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo

A worldwide concern is the destination of residues, including natural and biodegradable ones. The shell of the babassu nut found in the northern and northeast regions of Brazil is an example of residue, which is generated from the extraction of babassu nuts for the main purpose of extracting its seeds. Therefore, this work aimed to identify a sustainable destination for the babassu nut epicarp, corresponding to 13% of the fruit. A natural geotextile was implemented, also denominated as “biomanta”, to protect the soil of embankments. The “biomanta” was manually produced utilizing the shell’s fiber of babassu nut; and it was protected by a mesh made of biodegradable polypropylene. The “biomanta” was laid in a natural embankment for a period of 2 months, during the raining season in the city of Araguaina in the Brazilian state of Tocantins. The embankment was divided into blocks with some blocks covered by the “biomanta” and grass and another blocks without covered by the “biomanta” and grass. Across the bottom of the embankment was collected water and soil drained from the rainfall over that entire period. The results indicated that, in the blocks protected by the “biomanta”, the amount of water drained was 32% less than the areas without it; and that the amount of soil drained down by the rain was 80% less in the blocks covered by the “biomanta”. In addition, the babassu nut epicarp presented a specific mass of 1.083 g/cm³, absorption of water after 24 h of 0.75% and degradation of 8.87% when laid on the embankment soil.

Keyword: Biomanta, Erosion, Natural Fiber, Geotextile.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Métodos preventivos contra erosão em taludes: vantagens e desvantagens	24
Tabela 2 - Classificação dos Geossintéticos	26
Tabela 3 – Classificação das fibras	28
Tabela 4 - Composição química de fibras naturais no estado seco	30
Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras usadas em geotêxtil	31
Tabela 6 – Fibras naturais e suas aplicações geotécnicas	32
Tabela 7 - Propriedades físicas de alguns geotêxtis naturais	33
Tabela 8 – Partes constituintes do coco babaçu	36
Tabela 9 – Classificação do solo do talude	67
Tabela 10 – Massa específica e porosidade do solo do talude.....	68
Tabela 11 – Massa de solo coletado por bloco experimental	70
Tabela 12 - Total de água de chuva e massa de solo coletados	71
Tabela 13 - Massa de solo erodido, ensaio Inderbitzen	77

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de Geossintéticos	25
Figura 2 - Biomanta produzida pela Deflor Engenharia®	33
Figura 3 - a) plantação de coco babaçu, b) coco babaçu	35
Figura 4 - Partes aproveitáveis do coco babaçu.....	36
Figura 5 - Epicarpo do Coco Babaçu	39
Figura 6 - Ensaio de massa específica da fibra do coco babaçu	40
Figura 7 - Ensaio de absorção de água pela fibra do coco babaçu	41
Figura 8 – Prensa para ensaio de tração da fibra	42
Figura 9 – Dimensões da fibra.	42
Figura 10 – Execução do ensaio de resistência à tração da fibra	43
Figura 11 - Retirada das amostras indeformadas de solo.....	50
Figura 12 - a) Epicado lavado em água corrente; b) Epicador de molho em água; c) Epicado secando ao ar livre.	52
Figura 13 - a) Biomanta produzida manualmente; b) detalhe costura com linha de juta	52
Figura 14 - Área escolhida para realização do experimento.....	53
Figura 15 - Corte do talude	54
Figura 16 - Detalhe da instalação dos blocos experimentais	55
Figura 17 - Vista frontal da instalação das mantas no talude	55
Figura 18 - Vista lateral da instalação dos blocos experimentais	56
Figura 19. Muda de grama <i>paspalum notatum</i>	57
Figura 20 - Vista interna das bombonas coletoras de água de chuva	58
Figura 21 - Secagem das amostras água/solo na estufa	59
Figura 22 - Degradação do epicarpo do coco babaçu	60
Figura 23 - Aparelho utilizado para o ensaio de Inderbitzen	61
Figura 24 - Amostra de solo. a) sem cobertura vegetal; b) com cobertura de biomanta	62
Figura 25 - Absorção de água pela fibra em função do tempo.	64
Figura 26 - Água adsorvida pela fibra do coco babaçu	64
Figura 27 - Módulo de elasticidade da fibra do coco babaçu	65

Figura 28 – Curva tensão x deformação do epicarpo do coco babaçu	65
Figura 29 - Curva granulométrica do solo.....	66
Figura 30 - Volume Total de água + solo coletado diariamente	69
Figura 30 - Média massa de solo em função da precipitação de chuva	71
Figura 32 - Desenvolvimento da grama no talude	73
Figura 33 - Degradação da fibra de coco babaçu	76
Figura 34 - Massa de solo erodida acumulada, amostras B1, B2, B3, B4, B5 e B6	78
Figura 35 - Massa de solo erodida acumulada, amostras sem proteção B1, B3 e B5	79
Figura 36 - Massa de solo erodida acumulada, amostras com proteção B2, 43 e B6	79

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASMUBIP - Associação Regional Mulheres Trabalhadoras Rurais Bico do Papagaio

ASTM – American Society for Testing and Materials

CCA - Cinza de Casca de Arroz

CP - Corpos de Prova

DER - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GCE - Geocélula

GCL - Geocomposto Argiloso

GCO - Geocomposto

GGR - Geogrelha

GMA - Geomanta

GMB - Geomembrana

GNT - Georrede

GSY - Geossintéticos

GTX - Geotêxteis

IBAMA- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos recursos naturais renováveis

IGS - *International Geosynthetics Society*

ISO - *International Organization for Standardization*

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PCV - Policloreto de Vinila

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PET - Poli Tereftalato de Etila

PP – Polipropileno

UEMASul - Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

UNITPAC - Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos

USLE – Universal Solis Loos Equation

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivos específicos	19
1.2 Justificativa	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Erosão em taludes de solo	20
2.2 Geossintéticos	24
2.3 Fibras Vegetais	28
2.4 Geotêxtis com Fibras Vegetais (Geomanta)	31
2.5 Coco Babaçu	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Epicarpo do Coco Babaçu	38
3.2 Massa Específica das Fibras do Coco Babaçu	39
3.3 Absorção de Água pelas Fibras do Coco Babaçu	40
3.4 Resistência à Tração do Epicarpo do Babaçu	41
3.5 Massa Específica dos Grãos de Solo	44
3.6 Índices de Consistência do solo do talude	45
3.6.1 Limite de Liquidez	45
3.6.2 Limite de plasticidade	45
3.7 Análise Granulométrica Solo e Classificação do Solo	46
3.7.1 Análise Granulométrica Solo	46
3.7.1.1 Peneiramento grosso	46
3.7.1.2 Sedimentação	47
3.7.1.3 Peneiramento fino	48
3.7.2 Classificações do solo	48
3.7.2.1 Classificação da ABNT	49
3.7.2.2 Classificação Unificada	49
3.7.2.3 Classificação AASHTO	49
3.8 Massa Específica do Solo e Porosidade do Solo	50
3.9 Confecção da Biomanta	51
3.10 Caracterização do local de trabalho	53
3.10.1 Implantação dos blocos experimentais	54

3.10.2 Plantio e acompanhamento da vegetação	56
3.11 Coleta de dados dos blocos experimentais	57
3.12 Degradação do epicarpo do coco babaçu	59
3.13 Ensaio de Inderbitzen	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 Massa específica da fibra do coco babaçu	63
4.2 Absorção de água da fibra do coco babaçu	63
4.3 Resistência à tração da fibra	64
4.4 Massa específica dos grãos	66
4.5 Índices de Consistência	66
4.6 Classificação do Solo	66
4.7 Massa específica do solo e porosidade do solo	67
4.8 Ensaio de erodibilidade de campo	68
4.9 Desenvolvimento da grama	72
4.10 Degradação da fibra do coco babaçu	76
4.11 Ensaio de erodibilidade em laboratório – Inderbitzen	76
5. CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNCICE	89

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial o mundo vem conhecendo e aplicando grandes avanços tecnológicos (HOBSBAWM, 2014, p. 59).

Junto com os benefícios da globalização houve o aumento das dificuldades em viver com grande concentração de pessoas. A urbanização transformou o ambiente de vida das pessoas ao concentrar mais da metade da população em menos de 2% da área total do planeta (UN-Habitat, 2020).

A linha do tempo mostra que a construção civil sana as necessidades que o homem tem sem a atenção e cuidado com a sustentabilidade do meio ambiente. Contudo, com o passar dos anos o ser humano percebeu que é necessário haver uma mudança no consumo e na geração de materiais dentro da construção civil.

Carvalho e Melo (2006) destacam em seu trabalho que a ocupação e o uso do solo desordenado e sem planejamento no meio urbano são um dos principais motivos de surgimento de erosões de grande porte. Essa ideia sustentável surgiu a partir das consequências dos impactos negativos ocasionados pelo crescimento supracitado. Atualmente, se faz necessária a substituição de produtos que são ecologicamente incorretos por produtos ecologicamente corretos. Em alguns casos esses materiais podem ser reaproveitados em outras atividades. Um exemplo são as fibras naturais que possuem grande potencial para substituir alguns derivados petroquímicos, fazendo com que haja uma redução de produção de resíduos ao ecossistema mostrando resultado satisfatório quanto às suas propriedades (Correa, 2009).

Diante de acidentes ambientais ocasionados pela erosão em taludes de terra, decorrente principalmente da retirada da vegetação em locais onde há uma densidade demográfica elevada, observou-se que existe uma necessidade de projetar um dispositivo que auxilie na estabilização do talude capaz de conter essas encostas e evitar estes acidentes

Na engenharia, pode-se empregar os geossintéticos na substituição por materiais ecológicos, formando então as mantas para proteção de taludes. As mantas quando feitas a partir de materiais sustentáveis passam a se chamar biomanta e são utilizadas como uma barreira que evita adversidades como a instabilidade dos taludes em que estão aplicadas.

Dentre os métodos que são executados para auxiliar a proteção de taludes contra erosão, a biomanta é uma opção onde pode-se utilizar a hidrossemeadura concomitantemente à aplicação da manta.

A biomanta, já utilizada em obras de terra e infraestrutura, é muito versátil nas suas aplicações e finalidades. Esse material pode ser utilizado em reservatórios, ferrovias, barragens, além de se fazer presente também em estruturas de contenção.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal a produção e instalação de biomanta para proteção contra erosões, confeccionada a partir do epicarpo (casca) do coco babaçu, material descartado após a retirada das castanhas.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar propriedades físicas do epicarpo:
 - Massa específica
 - Absorção de água
 - Degradação
- Determinar de propriedade mecânica do epicarpo:
 - Resistência a tração
- Instalar bioamanta em talude natural;
- Verificar volume de água escoado em talude com e sem proteção de biomanta;
- Verificar massa de solo carregado em talude com e sem proteção de biomanta;

1.1.2 Justificativa

Os geotêxteis têm sido usados apresentando ótimos resultados em diversas situações e assim tem-se o aumento da demanda global por esses produtos, que podem ser aplicados como proteção de taludes. Entretanto, os geotêxteis, na grande maioria são fabricados a partir de polipropileno (PP), poli tereftalato de etila (PET) e polietileno (PE), que são polímeros não degradáveis. Desta forma, faz-se necessário a introdução do uso de matrizes com menor tempo de degradação na fabricação dos geotêxteis, como as fibras naturais de origem vegetal, usadas em conjunto com outras proteções naturais como o plantio de grama.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os solos e as rochas apresentam características distintas, ou seja, as propriedades mecânicas e hidráulicas dependem da sua formação geológica-geotécnica, e devem ser consideradas no projeto das obras.

2.1 Erosão em taludes de solo

De acordo com Caputo (2015), talude é qualquer superfície inclinada, sendo ela de origem natural ou artificial. A sua formação artificial é derivada em taludes de corte (onde se retira o material) ou taludes de aterro (onde além da terraplanagem há depósito do material).

Certificando o que foi dito, Carvalho e Melo (2006) divide os pontos potencializadores de processos erosivos em duas vertentes. Fatores externos: erosividade a partir da precipitação, condições de infiltração, escoamento superficial, grau de inclinação e o comprimento do talude; e fatores internos: gradiente cítico, desagregabilidade e erodibilidade do solo.

Além disso, para Silva (2012), taludes são zonas de topografia acentuada, com maior ou menor declive e expostos aos fenômenos erosivos, sendo comum a existência de movimentos de vertente, que nada mais é do que a movimentação de solo e/ou rocha. Em um talude onde se faz necessário garantir sua estabilidade, podem haver três situações: primeiro percebe-se um aterro, onde se trata do nivelamento ou elevação de determinada área; segundo já é possível observar a escavação, ou seja, o corte feito de acordo com a necessidade do terreno; e por fim talude misto, neste envolve tanto o aterro quanto o corte.

Para Silva (2012), a instabilidade de taludes pode ser de origem natural ou causada pelo homem. Quando de origem natural, existem três mecanismos (podendo ser isolados ou combinados) que provocam essa instabilidade, são eles: água, característica geomorfológicas e atividade sísmica. Já para causas antrópicas é possível analisar que a população está em constante expansão, quando ocorre esse aumento há a transformação e perturbação dos padrões de

estabilização das encostas ou até mesmo da drenagem também havendo remoção da camada vegetal.

Vale lembrar que irrigação, escavação, ocupação impropria de encostas e drenagem de reservatórios também causam instabilidade de áreas que em algum momento no passado foi estável, podendo causar deslizamentos. Segundo Silva (2012), o mesmo ocorre sempre por razões ambientais, económicas ou construtivas, quando é efetuada a escavação de um talude de ângulo superior ao existente.

Quando ocorre a instabilidade de talude, medidas de prevenção devem ser tomadas evitando que um problema maior venha a acontecer. Essas medidas devem ser tomadas a partir das condições existentes, por isso a importância de estudos do solo (geotécnicos e geológicos) pois é a partir dele que será possível definir os possíveis mecanismos de ruptura.

Um fator que influencia na estabilidade dos taludes é a erosão do solo constituinte do mesmo, pois havendo carreamento de partículas de solo o talude pode se tornar instável. Para Hsieh e Huang (2016) a erosão dos solos pode ser dividida em erosão natural e erosão acelerada. A erosão natural é causada por agentes naturais externos, como chuva, vento, neve, temperatura, sendo um processo natural lento podendo levar até 300 anos para a desintegração de uma rocha e consolidação de 25 mm de camada de solo. Por outro lado, a erosão acelerada é proveniente da ação humana, podendo citar o desmatamento e corte de taludes, e estudos de Wu e Wang (1996) apontam que neste tipo de erosão para a formação dos mesmos 25 mm de camada de solo são necessários aproximadamente 30 anos para a desintegração da rocha.

Para Couto (2015) a erodibilidade pode ser a maior ou a menor capacidade em que as partículas de um solo são capazes de se destacar e transportar através da ação de agentes erosivos. Já para Carvalho e Melo (2006) a erodibilidade é tida como a resistência do solo ao processo erosivo, abrangendo mais do que suas características intrínsecas, fatores tangentes como ciclo de umedecimento e secagem, e composição da água presente.

Alguns fatores influenciam na resistência do solo à erosão, podendo ser divididos em intrínsecos e extrínsecos ao solo. Os fatores intrínsecos são as características físicas do solo, como textura, estrutura, permeabilidade e

densidade, e os fatores extrínsecos são o comprimento, a forma, a declividade do talude e o tipo de cobertura vegetal do talude.

Segundo Llopis Trillo (1999 apud Gomes, 2001), para formações sedimentares, a erodibilidade depende das seguintes características: textura, estrutura, capacidade de infiltração e teor de minerais.

A textura do solo é o estudo das dimensões do solo, caracterizada pela curva granulométrica, assim, de maneira geral, os solos com predominância de partículas finas tendem a ter menor erodibilidade (CORRECHEL, 2003).

A estrutura é a determinação da propriedade física do solo constituído da parte sólida (grãos) e vazios (ar e/ou água). A capacidade de infiltração é a análise da textura do solo, sabendo que em solos arenosos a velocidade de infiltração é maior que em solos argilosos. O teor de minerais considera a origem dos grãos sendo o agente fundamental a análise da fração de argila que dispersa de maneira fácil (Gomes,2001).

De acordo com Bastos (1999), a taxa de erodibilidade é definida pela razão da massa seca da parte erodida da amostra e a área superficial da amostra, onde os solos podem ter variações de alta, média e baixa erodibilidade.

Já para Heidmann (2008) um solo erodível é aquele que possui uma perda de massa maior que 5% (condições de umidade natural e seca ao ar livre por 1 dia).

Para Correchel (2003), solos argilosos, pela ação da coesão, são mais resistentes à erosão, isto é confirmado por Menezes & Pjon (2010), onde afirmam que a erodibilidade depende do tipo de solo, sabendo que é corriqueiro que materiais com a granulometria mais fina sejam menos erodíveis. Já para Almeida (2014) o solo com maior erodibilidade são aqueles onde as amostras estavam saturadas.

Diante disso é necessário que se faça um estudo da capacidade erosiva do solo, sabendo como será o comportamento do mesmo em diferentes situações. Assim, a perda de solo depende de vários fatores e foram equacionados por Wischmeier e Smith (1978) na Equação Universal de Perda de Solo (*USLE – Universal Solis Loos Equation*).

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

Onde:

A = perda de solo por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R = fator devido à chuva e escoamento ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$);

K = fator devido à erodibilidade do solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$);

L = fator devido ao comprimento da rampa de escoamento (m);

S = fator devido a declividade (%);

C = fator devido ao tipo de cobertura (vegetação) (adimensional);

P = fator devido a práticas conservacionistas (adimensional).

A norma NBR: 11.682/2009 prescreve os requisitos exigíveis para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros realizados em encostas. Também devem ser consultadas recomendações e procedimentos elaborados por órgãos tais como: Manual de Geotécnica Taludes de rodovias: Orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER); Manual de vegetação rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos recursos naturais renováveis (IBAMA).

As encostas ou taludes de solos estão sujeitos a sofrer processos erosivos e uma das formas de coibir e conter erosões é protegendo-o com vegetação. Porém, em algumas situações mais agressivas é necessário a utilização de outros métodos tais como: diminuição da inclinação do talude, revegetação, emprego de materiais estabilizantes, muro de arrimo e ancoragem, utilização de bermas, dentre outros.

Os principais tipos de processos erosivos são pluviais, fluviais, lacustres, marinhos e eólicos. A erosão pluvial é exercida pela ação da água da chuva sobre o solo e possui alguns condicionantes como: clima, relevo, cobertura vegetal, ação antrópica e natureza do solo.

O processo erosivo pode atingir as seguintes fases:

- iniciando pela formação de sulcos e ravinas: agente erosivo é apenas a água de chuva;
- em seguida tem-se os saltos podendo alcançar as voçorocas: agente erosivo é a água de chuva e subterrânea;

- por fim, alargamento da voçoroca: remoção de grandes volumes de solo em pequeno espaço de tempo (poucos meses).

Uma alternativa viável para a contenção dessas erosões ou mesmo solos que se encontram em taludes é a aplicação de biomantas associadas ao replantio de vegetação que auxilia na contenção do solo.

Silva e Paschoalin Filho (2018) elaboraram uma comparação entre os principais métodos preventivos contra erosão em taludes (Tabela1), apontando as vantagens e desvantagens entre a biomanta, a hidrossemeadura e grama em placa.

Tabela 1 - Métodos preventivos contra erosão em taludes: vantagens e desvantagens

Método Preventivo	Vantagens	Desvantagens
Biomanta	As precipitações não carregam as sementes; Evita a dormência das sementes e contribui para a germinação; Facilidade executiva	Dependência climática; Manutenção
Hidrossemeadura	Não necessita de mão de obra especializada; Baixos impactos ambientais, por ser revegetação; Execução em diferentes ângulos (plano ou íngreme); Custo baixo na execução devido a mão de obra; Alta produtividade;	Dependência das condições climáticas, como a falta da ocorrência de precipitações pluviométricas para a germinação das sementes, causam dormência; Necessidade de cobertura adicional; Preparação do solo em regiões íngremes; Manutenção.
Grama em placa	Baixo custo; Execução rápida e eficiente	Dependência climática; Manutenção feita a cada 3 meses; Crescimento de erva daninha; Uso de herbicida

Fonte: Silva e Paschoalin Filho (2018)

2.2 Geossintéticos

A fim de solucionar de forma sustentável os desastres ambientais foram desenvolvidos os geossintéticos que de acordo com Sieira (2003) teve seu início

na década de 60. Desde então a sua utilização está em crescimento, principalmente nos últimos anos.

Considerando o emprego de materiais estabilizantes, uma das formas mais eficientes de proteção de taludes é o uso de geossintéticos que segundo a NBR 10318-1 (ABNT, 2018) são produtos poliméricos sintéticos ou naturais especificados de acordo com as suas propriedades características, podendo ser classificado como geotêxtil, geomanta ou geocomposto.

Geossintéticos (GSY) - Termo genérico que descreve um produto em que ao menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, sob a forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil.

(NBR ISO10318-1:2018)

Na Figura 1 são apresentados os principais tipos de geossintéticos.

Figura 1. Tipos de Geossintéticos



Fonte: Engenharia 360 (2022).

Os geossintéticos contêm uma vasta gama de polímeros (sintético ou natural), sabendo que foram produzidos com a finalidade de serem empregados com propósitos ambientais, geotécnicos e hidráulicos. Além disso, eles são materiais planos, poliméricos, podem ter combinação com solo, rochas ou outro elemento da geotecnia, e são classificados pela IGS - *International Geosynthetics Society* (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação dos Geossintéticos

Classificação	Definição
GTX (Geotêxteis)	São materiais flexíveis e permeáveis. A sua fabricação pode ser de forma tecida, não tecida, em malha, fios ou fibras tricotadas.
GGR (Geogrelha)	Possui estrutura no formato de grelha que podem ser quadradas ou triangulares. A sua fabricação pode ser em tramas ou malhas.
GNT (Georede)	Tem sua estrutura em forma de rede que apresenta porosidade em sua composição.
GMB (Geomembrana)	Mantas flexíveis com baixa ou baixíssima permeabilidade, podendo ser fabricadas a partir de um ou mais materiais sintéticos.
GCO (Geocomposto)	Recebe a função de dois ou mais geossintéticos, é fabricado a partir da combinação de outros materiais desse seguimento.
GCL (Geocomposto Argiloso)	É um geocomposto pré-fabricado que contém em sua composição argila envolvida por geotêxtil ou também podendo ser envolvido com geotêxtil mais a geomembrana.
Geotubo	São tubos poliméricos perfurados que podem, ou não, ser envolvidos por geotêxteis.
GCE (Geocélula)	São redes tridimensionais formadas por tiras poliméricas. Podem ser utilizadas em conjunto com o solo ou concreto.
Geoexpandido	São blocos ou placas criadas a fim de criar uma rede de baixa densidade. É obtido pela expansão de espuma de poliestireno, essa expansão forma células fechadas cheias de gás as quais caracterizam a baixa densidade do material.

Fonte: International Geosynthetics Society- IGS (2022)

Diferentes estruturas e formas de geotêxteis estão disponíveis para o uso principalmente em obras geotécnicas, e podem ser em forma de estruturas tecidas e não tecida. Os tecidos são usados predominantemente para drenagem, sistemas de revestimento e tecidos de revestimento de asfalto, enquanto os não tecidos são mais frequentemente usados para reforço de subleito e base, estabilização e separação de solo e paredes de sedimentos.

O geotêxtil é um produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando

estruturas tecidas, não-tecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhem várias funções numa obra geotécnica.

A geomanta é um produto tridimensional permeável, usado para o controle de erosão superficial do solo, também conhecido como biomanta quando biodegradável.

O geocomposto é um produto industrializado formado pela superposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si ou com outros produtos, geralmente desempenha uma função específica.

De acordo com Santos et al. (2019) o geossintético possui entre suas funções primárias: separação, filtração, drenagem, reforço, contenção de fluidos/gases, ou controle de processos erosivos. Conforme Bezerra & Costa (2012) os geossintéticos que são empregados com a finalidade de solucionar questões geotécnicas e proteção ambiental, desempenham as seguintes funções: filtração, drenagem, contenção de fluídos, reforço, separação, barreira e proteção. O uso dos geotêxteis, de acordo com Desai e Kant (2016), são: construção de rodovias, 44%, controle de erosão, 20%, drenagem, 16% e outros, 20%.

Devido a utilização dos geossintéticos ser ampla, observou-se a necessidade de adequação às situações, pois cada função exige uma propriedade diferente dos materiais utilizados, ainda na confecção.

Melo (2016) explica que os geotêxteis são, usualmente, empregados em obras de geotecnia para proteger superficialmente os taludes e canais, tendo uma ação de barreira protegendo o solo de ações erosivas decorridas de vento ou de água e diminuindo a velocidade da água que está escoando superficialmente pelo solo evitando que haja movimentação de material. Para Melo (2020) os geotêxteis podem ser utilizados como reforço do solo em áreas com suscetíveis a erosão ou em áreas já erodidas.

Segundo classificação incluída na NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2018) o geossintético é classificado como Geomanta (GMA) sendo ela tridimensional permeável, feita de monofilamentos poliméricos e/ou outros elementos (sintéticos ou naturais), interligados mecanicamente e/ou termicamente, e/ou quimicamente, e/ou outra forma. Santos (2015) expões que a estrutura de uma geomanta é formada por mais de 90% de vazios.

A biomanta é um produto manufaturado pelo homem que requer grande durabilidade diante das obras de terra. Podem ser constituídos de diversos materiais e formas, entre eles: palha ou fibra de coco, juta, colmo (caules de plantas gramíneas) de diversas plantas e entre outros. A utilização de geossintéticos se faz presente em estruturas de contenção, reservatórios, barragens, aeroportos, rodovias, ferrovias, aterros.

Melo (2020) confirma em seu trabalho a redução significativa da erosão e produção de sedimentos quando geomantas são aplicadas no solo afim de estabilizar os taludes.

No trabalho apresentado por Costa et. al. (2019) também é confirmada a diminuição de processos erosivos quando as geogrelhas são utilizadas, além de diminuir o volume de aterro que viria a ter, pois o método construtivo consegue redistribuir as tensões do solo, possibilitando a construção de estruturas íngremes.

2.3 Fibras Vegetais

As fibras são partes muito finas e normalmente alongadas de um material geralmente contendo filamentos que são cortados ou contínuos, e podem ser aplicadas como matéria prima em diversos aspectos da indústria manufatureira. Segundo Marinelli, et. al. (2008) as fibras são classificadas quanto a sua origem em dois tipos, manufaturadas e naturais. As fibras manufaturadas se dividem em artificiais ou sintéticas, e as fibras naturais se subdividem em três subgrupos relativos a sua origem, podendo ser animal, vegetal ou mineral (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação das fibras

Tipo	Origem	Exemplo
Naturais	Animal	Seda, Lã, Pêlo
	Vegetal	Semente (Algodão, Kapok, Coco) Caule (Linho, Juta, Rami) Folha (Abacaxi, Tenax, Sisal, Curauá).
	Mineral	Amianto
Manufaturadas	Sintéticas	PP, PE, aramida, poliéster, náilon, acrílico, etc
	Artificiais	Alginato, borracha, viscosa, acetato, tênsel
	Outras	Carbono, Vidro, metálica, cerâmica

Fonte: Ladchumananandasivam, 2002 apud Caldas (2014)

As fibras vegetais são feixes formados por células individuais compostas de microfibrilas, que são ricas em celulose. As inúmeras células que formam a fibra

estão agrupadas pela lamela intercelular composta de substâncias amorfas, como a hemicelulose, pectina e lignina. A caracterização das fibras é feita considerando os valores das propriedades físicas e mecânicas, por exemplo, o volume de vazios e a absorção de água. O volume de vazios influencia na grande absorção nos primeiros momentos de imersão, sendo um ponto negativo na relação água/aglomerante da matriz, na intumescência do material e posterior retração. Entretanto, o elevado número de vazios ajuda na redução da massa específica e da condutibilidade térmica, assim como o aumento da absorção acústica (GARCEZ et.al, 2018; MARINELLI et. al, 2008; RODIER, et.al, 2020).

As plantas que são cultivadas apenas para o uso das suas fibras são denominadas primárias (ex. juta, sisal, hemp), enquanto as plantas onde as fibras são utilizadas como um segundo produto são chamadas plantas secundárias (ex. coco, abacaxi) (KERNI et al, 2020).

Considerando a estrutura interna, as fibras vegetais podem ser consideradas como materiais compósitos naturais (JOHN e THOMAS, 2008), compostos principalmente por celulose, lignina e hemicelulose. Uma fibra individual (denominada de fibra técnica) é constituída por feixes de fibras celulares ou fibro-células alinhadas ao longo do eixo principal da fibra técnica (OLIVEIRA, 2010). Geralmente, cada fibro-célula é composta por uma parede celular constituída por quatro paredes cilíndricas também alinhadas no sentido longitudinal que são mantidas juntas por lignina. Assim, a parede celular é composta por uma parede primária, três paredes secundárias e o lúmen.

Mesmo sendo alvo de diversas pesquisas e fonte de desenvolvimento de novos produtos, adicionar fibras vegetais no reforço de materiais é uma técnica antiga. As fibras vegetais são basicamente feixes constituídos por conjuntos de células ordenadas em microfibras ricas em celulose. Estas células então ficam agrupadas sobre um tipo de rede intermolecular formada por substâncias amorfas, como a pectina, hemicelulose e também a lignina (FRANCO, 2010).

Tal ordenação é diferente entre as diferentes fibras, e faz com que o comportamento das mesmas seja diferente, recebendo assim classificações de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas, como a absorção de água, volume de vazios e a resistência à tração.

Do mesmo modo que o resultado da relação entre os elementos deve ser analisado e testado para avaliar suas características, avaliando a contribuição de cada um dos elementos no resultado final (SANTOS, 2006).

As fibras naturais também têm sido aproveitadas em diversas áreas, dentre elas a indústria da construção, tais como banana, juta, piassava, bagaço da cana de açúcar, arroz, sisal, coco, algodão, dentre outros.

Methacanon et al (2010) estudou a composição química da fibra seca (Tabela 4) e algumas propriedades, tais como a resistência a tração e o alongamento, tanto no estado seco como úmido, de fibras usada para composição de biomantas, como sisal, rosela, cana e coco.

Tabela 4 – Composição química de fibras naturais no estado seco

Fibra	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Teor de cinza	Umidade
Sisal	72,92%	5,63	13,59	0,84	7,02
Rosele	70,20	7,21	14,91	0,72	6,97
Cana	47,46	18,75	19,81	4,65	9,32
Coco	52,20	16,78	9,42	12,14	9,46

Fonte: Methacanon et al (2010)

Methacanon et al (2010) também estudou algumas propriedades mecânicas das fibras, como resistência a tração e alongamento no estado úmido foi sempre superior que no estado seco. A resistência a tração da cana e do coco foram similares, variando entre 18 e 33 MPa, porém bem abaixo dos valores do sisal e rosela, variando entre 112 e 180 MPa. Para o alongamento, sisal, rosele e cano apresentaram valores próximos e com pouca variação, entre 12 % no estado seco e 18 % no úmido, porém os valores para o coco foram discrepantes das demais fibras, apresentando alongamento de 9 % no estado seco e 25 % no estado úmido.

Complementando os dados Methacanon et al (2010), Desai (2016) reuniu características das principais fibras naturais utilizadas como componente de biomanta.

Na Tabela 5 são apresentadas algumas propriedades físicas e mecânicas destas fibras, tais como linho, hemp, juta, rami, coco, sisal e kenaf.

Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânica de fibras usadas em geotêxtil

Propriedade	Linho	Hemp	Juta	Rami	Coco	Sisal	Kenaf
Densidade (g/cm ³)	1,4-1,5	1,5	1,46	1,5	1,2-1,4	1,33-1,5	1,4
Finura	1,7-17,8	3-20	13-30	4,6-6,4	162-450	42	50
Comprimento (cm)	20-140	100-300	150-360	10-180	5-20	75-120	200-400
Cor	cinza	cinza	marrom	Branco	Marrom escuro	marrom	Marrom escuro
Absorção de água (%)	30	-	44,5	32	-	39,5	45
Resistência à tração (MPa)	600-1100	690	393-773	500	100-220	468-640	283-800
Módulo de elasticidade (GPa)	45-100	70	26,5	44	3-10	9,4-22	21-60
Alongamento (%)	1,5-2,4	1,6	1,5-1,8	2	15-30	3-7	2,2

Fonte: Desai (2016)

2.4 Geotêxtis com Fibras Vegetais (Geomanta)

Algumas fibras naturais, tais como bambu, juta, hemp, sisal, apresentam grande potencial para serem usadas como reforço na composição de polímeros devido elas apresentarem excelentes propriedades de baixa densidade, baixo custo, alta resistência ao impacto, grande flexibilidade, menos abrasivo à equipamento, menos risco para a saúde, processos amigáveis, menor emissão de gases de efeito estufa e são recicláveis. Os métodos para reforçar os polímeros com as fibras podem ser: lay-up manual, modelagem por injeção, modelagem por compressão e modelagem por transferência de resina (KERNI et al, 2020).

O uso de geotêxteis tem demonstrado uma crescente demanda em obras de engenharia, sendo usado mais de 1400 milhões de metros quadrados de geotêxteis por ano. Porém, a utilização de fibras naturais na composição do geotêxtil é de apenas 2%, embora estima-se que em aproximadamente 50% de todas as aplicações de geotêxtis as fibras naturais e os polímeros poderiam substituir as fibras sintéticas (PRAMBAUER, 2019).

Tanansa et al (2022) apresenta algumas fibras naturais e suas aplicações geotécnicas (Tabela 6).

Tabela 6 - Fibras naturais e suas aplicações geotécnicas

Fibra natural	Tipo	Propriedades	Processo	Aplicação
Jacinto	Fibra do tronco	Alta absorção de água, baixa resistência, baixo custo, alta disponibilidade	Geotêxtil tecido de vida curta	Controle de erosão
Junco	Fibra do tronco		Geotêxtil tecido de vida curta	Controle de erosão, melhoramento de solo
Roselle	fibras longa do caule	Baixa absorção de umidade, alta resistência	Geotêxtil tecido de vida curta	Reforço de solo
Sisal	Fibra de folha longa	Baixa absorção de umidade, alta resistência	Geotêxtil tecido de vida curta	Reforço de solo
Coco	Casca	Teor de umidade alto	Esteira de coco	Estabilidade de talude em região montanhosa, retenção de umidade no solo
Palma	Fibras da folha	Permeabilidade adequada para solos coesivos, aumentar a infiltração e diminuir o escoamento, alta durabilidade	Tapetes	Controle de erosão em solos de clima temperado, estabilização de solos e conservação em condições não uniforme em chuvas torrenciais
Juta	Fibras do caule	Aumento do tamanho dos poros permite desidratação rápida, baixa resistência a tração	Geotêxtil tubular tecido e não tecido	Controle de erosão, filtração e drenagem
Bambu	Fibra da folha	Boa resistência a tração, Eficaz na contenção de solo sob chuva	Fibra em corda	Erosão superficial, estabilidade de talude
Kenaf	Fibras do caule	Alta porosidade, alta condutividade hidráulica, capacidade de sorção de metais catiônicos	Geotêxtil não tecido	Projeto de águas residuais, retenção e escoamento em sistemas de tratamento

Fonte: Tanasa et al (2022)

A geomanta pode ter seu uso temporário ou permanente. As geomantas temporárias protegem o talude até a cobertura deste pela vegetação e degradação da manta. As geomantas permanentes não degradam e conserva-se no talude mesma sem a presença de vegetação.

As principais fibras usadas mundialmente como constituintes de biomantas são: coco, sisal e juta. Rao et al (2009) analisou 13 tipos de geotêxtis, de juta e coco, tecidos e não tecidos, identificando suas propriedades físicas e mecânicas tais como densidade, espessura, malha, resistência à tração alongamento. Na

Tabela 7 são apresentados alguns valores identificados por Rao et al (2009).

Tabela 7 - Propriedades físicas de alguns geotêxteis naturais

Propriedade	Tipo geotêxtil		
	Tecido de coco	Não-tecido de coco	Tecido de juta
Densidade (g/cm ³)	335 – 1750	420 – 1350	342-675
Resistencia a tração (kN/m) – direção da máquina	3,86 – 31,50	1,70 – 15,38	-
alongamento (%) - direção da máquina	19,60 – 42,00	12,08 – 35,00	-
Resistencia a tração (kN/m) – transversal a máquina	2,50 – 12,73	0,65 – 8,25	-
alongamento (%) - transversal a máquina	18,10 – 27,50	9,67 – 26,50	-

Fonte: adaptado de Rao et al (2009)

A fabricação e uso de geomantas (mantas permanentes) e biomantas (mantas degradáveis) tem se desenvolvido no Brasil, como as produzidas pela Deflor Engenharia®, Macaferri® e Vertical Green do Brasil®, e utilizadas em obras de proteção ambiental.

A biomanta fabricada pela Deflor Engenharia® é constituída por fibras vegetais, como palha agrícola e fibra de coco, e fibras sintéticas. Na Figura 2 é mostrada uma bioamanta de casca de coco, costurada industrialmente, formando uma trama resistente, entrelaçada por redes de polipropileno, o que permite programar sua degradabilidade. A manta pode ser unidimensional ou bidimensional, sendo um produto de alta resistência.

Figura 2 - Biomanta produzida pela Deflor Engenharia®



Fonte: Deflor Engenharia (2020)

A BioMac® da Macaferri® é produzida a partir da fibra de coco que possui

alta resistência e degradação lenta, contida entre duas linhas de polipropileno foto degradável e entrelaçadas com adesivos orgânicos.

A Vertical Green do Brasil® produz a Biomanta Antierosiva Geofiber®, constituída por fibras naturais de coco, ou sisal, ou ainda outros tipos de fibras vegetais. Pode ser do tipo trama e urdidura ou agulhada, disposta entre malhas sintéticas fotodegradáveis.

Barrela (2007) verificou que a biomanta, quando constituída por fibra de coco, é favorável para o controle de erosões que acontecem na direção vertical. Com a junção da rede de fibras de coco com a vegetação, a erosão do solo foi diminuída, sendo a perda anual era de cerca de 95% menor que a perda anual do solo desprotegido. Além de diminuir os processos erosivos, após a aplicação da biomanta também houve aumento de matéria orgânica, teor de água e crescimento da vegetação.

Lüdtke e Rodriguez (2014) produziram uma biomanta com a fibra de rami, resíduo da indústria fumageira, para o controle de degradação de solo. As biomantas produzidas apresentaram características semelhantes em comparação com as industriais quando analisado força de tração e absorção de água.

Minuzzo (2014) incorporou cinza de casca de arroz (CCA) aos solos e observou que condutividade hidráulica do composto diminuiu 87,17% quando comparado com o solo natural, tornando o CCA uma alternativa na substituição de materiais nobres e caros, em sistemas de contenção de contaminantes. Além do que esta prática pode reduzir o passivo ambiental que a CCA representa para a indústria de beneficiamento de arroz.

Mariani (2016) confeccionou manualmente biomanta com fibra de sisal e instalou em taludes concomitantemente a instalação de biomanta produzida industrialmente, assim foi possível observar que a aplicação das mesmas ofereceu proteção imediata, absorvendo água e reduzindo o escoamento superficial no solo. Além disso, a autora identificou que as biomantas comerciais de fibra de coco e biomantas artesanais de fibras de sisal controlam em 99% a erosão em taludes que ocorre com a semeadura de gramíneas sem a proteção de biomantas.

Basu et al (2019) desenvolveu um geotêxtil para proteção de talude de rios composto por juta e PEAD (Polietileno de Alta Densidade), com densidade de 430 g/m², resistência a tração de 10kN/m e índice de punção de 163 kN. A biomanta foi instalada no talude de um rio e foi observado que após 2 anos a juta começou a

degradar e que a vegetação plantada abaixo da manta havia se desenvolvido e coberto o talude.

2.5 Coco Babaçu

O coco de babaçu (*Attalea speciosa* ou *Attalea phalerata*) é o fruto de uma palmeira de mesmo nome, da família, *Arecaceae*, podendo ser encontrado em vários países da América do Sul. No Brasil, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), os babaçuais são encontrados nas regiões Nordeste, Norte e Centro Oeste, além do estado de Minas Gerais. Sendo que a região Nordeste possui a maior produção de amêndoas e a maior área que é ocupada por cocais.

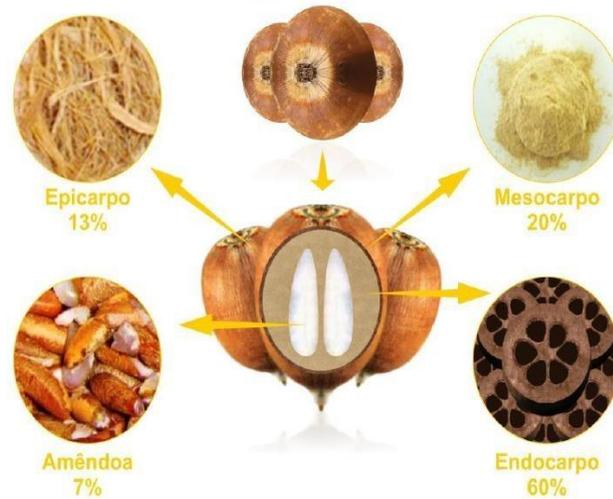
Na Figura 3 são apresentadas fotografias de um babaçual e do coco babaçu.

Figura 3 – a) plantação de coco babaçu, b) coco babaçu



Fonte: autor da tese

Segundo a EMBRAPA (1984) o babaçu é considerado o maior recurso oleífero nativo do mundo. De acordo com o Carrazza et al (2012), muitas espécies de plantas são estudadas no Brasil para inovação tecnológica, visando a sustentabilidade. O cerrado brasileiro é a uma savana rica em biodiversidade que se estende por quase 2 milhões de km² (equivalente a um quarto do território nacional), a palmeira do coco babaçu é uma das espécies mais representativas do extrativismo vegetal. Essas características acrescentaram para que houvesse uma estratégia nacional que fortalecesse a cadeia produtiva do coco babaçu. A composição do fruto do coco babaçu é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Partes aproveitáveis do coco babaçu.

Fonte: ASMUBIP, 2017.

Os frutos são quebrados, em sua maioria de modo artesanal com o uso de um machado e um pedaço de madeira, sendo esta principal fonte de renda de inúmeras famílias. A produtividade desse sistema rudimentar é baixa, porém já existem empresas que estão automatizando o processo. Mesmo sendo inteiramente aproveitável, a casca do coco (conjunto do epicarpo, mesocarpo e endocarpo que corresponde a 93 % do fruto) é praticamente descartado (EMBRAPA, 1984). Na Tabela 8 mostra-se as partes constituintes do fruto do babaçu com a descrição de cada uma delas e o seu uso e aplicações.

Tabela 8 – Partes constituintes do coco babaçu

	Descrição	Uso e Aplicação
Epicarpo	Camada externa rija e fibrosa	- Xaxim, estofados de banco de carros, vasos, etc.; - queima em fornos caseiros e comerciais (residências, padarias); Adubo orgânico.
Mesocarpo	Camada abaixo do epicarpo, rico em amido	- alimentação humana; - aglomerante para a fabricação de briquetes.
endocarpo	Camada mais resistente	- combustível substituto da lenha; - agricultura; - indústria: alimentícia, veterinária, farmacêutica, química; - artesanatos diversos.
Amêndoa	3 à 4 amêndoas por coco	- alimentação humana; - cosméticos e produtos de limpeza (sabonete, shampoo, sabões, etc.); - indústria: alimentícia, veterinária, farmacêutica, química.

Fonte: adaptado Teixeira (2002)

Os cocos de babaçu são destinados, em sua maioria, para a extração das amêndoas. Tendo seu uso nas indústrias alimentícia, cosmética, veterinária, farmacêutica e química. A parte de maior resistência (endocarpo) é a camada que representa mais da metade do fruto, utilizada como carvão por ser de qualidade superior ao carvão de madeira. O mesocarpo é a camada que se situa entre o epicarpo e o endocarpo, rica em amido e amplamente utilizada para a produção de farinha alimácea “in natura”, amido, glucose e álcool etílico (CINELLI, et. al., 2014)

O epicarpo compreende a cama externa e apresenta caráter rígido e fibroso. Sendo aplicado como xaxim, estofados, adubo orgânico e carvão, com características de queimas semelhantes as apresentadas pelo endocarpo. Mesmo tendo uma diversidade de aplicações, a casca do coco babaçu ainda é descartada em grande quantidade. Um dos fatores de descarte é o seu grande volume, que dificulta o armazenamento (CARRAZA, et. al., 2012).

Os principais componentes do epicarpo do coco babaçu são: lignina (17,8%), celulose (62%) e hemicelulose (13%), além de apresentar um teor de cinza de 1,1% (FRANCO, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção da biomanta foi utilizada a casca (epicarpo) do coco do babaçu e tela de polipropileno. A pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) localizado em Araguaína, Tocantins.

Os ensaios desenvolvidos durante a pesquisa foram realizados em campo (talude de solo) no estacionamento e nos laboratórios da referida instituição.

Os ensaios realizados em laboratório foram os seguintes:

- Massa específica da fibra, metodologia utilizada por Oliveira (2011);
- Absorção de água pelas fibras, metodologia utilizada por Oliveira (2011);
- Resistência a tração da fibra, adaptando a metodologia da ASTM D2256-10.
- Massa específica dos grãos, metodologia seguindo a NBR 6458: 2016 Versão Corrigida 2:2017;
- Índices de consistência: Limite de liquidez, metodologia seguindo a NBR 6459:2016 versão corrigida 2017 e Limite de plasticidade, metodologia seguindo a NBR 7180:2016;
- Análise granulométrica do solo do talude, metodologia seguindo a NBR 7181:2016 versão corrigida 2:2018;
- Erodibilidade do solo – ensaio de Inderbitzen, adaptado da metodologia de Fácio (1991);

Os ensaios realizados em campo foram os seguintes:

- Erodibilidade do solo em talude, adaptando a metodologia de Mariani (2016);
- Degradação do epicarpo, adaptando a metodologia de Mariani (2016).

3.1 Epicarpo do Coco Babaçu

O epicarpo do coco foi doado pela TOBASA Bioindústria de Babaçu S/A, com sede em Tocantinópolis - TO. Esta empresa desenvolve tecnologias e processos para o extrativismo florestal e aproveitamento integral do coco babaçu,

desde a cata / coleta, quebra do fruto até processamento tecnológico de vários produtos, como: óleo, biomassa energética, farinha amilácea, carvão ativado, dentre outros.

A fibra foi utilizada *in natura*, ou seja, não passou por nenhum processo de transformação (Figura 5). Elas foram selecionadas, manualmente e visualmente, em tamanhos entre 8 à 10 cm, lavadas em água corrente para retirada de sujeiras como solo e pedras e posteriormente secas ao ar livre.

Figura 5 - Epicarpo do Coco Babaçu



Fonte: Autor da tese

3.2 Massa Específica das Fibras do Coco Babaçu

O peso específico das fibras foi determinada utilizando-se um picnômetro e balança, considerando a metodologia utilizada por Oliveira, 2011. Pesou-se certa quantidade de fibra já triturada e seca e deixou imersas em água destilada por 24h. Em seguida as fibras foram transferidas para um picnômetro, completou com água e utilizando chapa aquecedora retirou-se o ar presente na água. Finalizando, pesou o conjunto picnômetro + fibra + água (Figura 6).

Posteriormente, o mesmo picnômetro é preenchido somente com água e pesado esse conjunto. Logo após pesa-se o picnômetro vazio.

A massa específica da fibra é calculada pela equação 1:

$$ds = \frac{\rho_s}{\rho_{\text{água}}} = \frac{M_f - M_v}{(M_a - M_v) - (M_{fa} - M_f)} \quad (2)$$

Onde:

M_v= Massa do picnômetro vazio;

M_f= Massa do picnômetro com a fibra;

M_{fa}= Massa do picnômetro com a fibra e água;

M_a= Massa do picnômetro com água.

Figura 6 - Ensaio de massa específica da fibra do coco babaçu.



Fonte: Autor da tese

3.3 Absorção de Água pelas Fibras do Coco Babaçu

Para a determinação da absorção de água utilizou-se a metodologia de Oliveira (2011), onde inicialmente a fibra de coco babaçu foi colocada em estufa na temperatura de 60°C até obter-se a constância de massa. Em seguida, a fibra ficou em ambiente com temperatura controlada para diminuição da temperatura e fácil manuseio.

Inicia-se o ensaio imergindo a fibra em água (Figura 7) e pesando a fibra

úmida nos intervalos de 5 min, 30 min, 1 hora, 2 horas e 24h até atingida completa saturação. Antes de cada pesagem retira-se a fibra da água e seca a mesma superficialmente com papel absorvente.

Para o cálculo da absorção de água utilizou-se a seguinte fórmula:

$$A = \frac{M1-M2}{M2} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A = Absorção de água (%)

M1= Massa úmida da amostra nos intervalos de tempo de leitura (g);

M2= Massa seca da amostra após secagem na estufa (g);

Figura 7 - Ensaio de absorção de água pela fibra do coco babaçu.



Fonte: Autor da tese

3.4 Resistência à Tração do Epicarpo do Babaçu

O ensaio de resistência a tração foi realizado no laboratório de materiais da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASul) campus Açailândia, utilizando máquina universal de ensaios da marca ISTRON modelo GR012, com célula de carga de 100 kN (Figura 8).

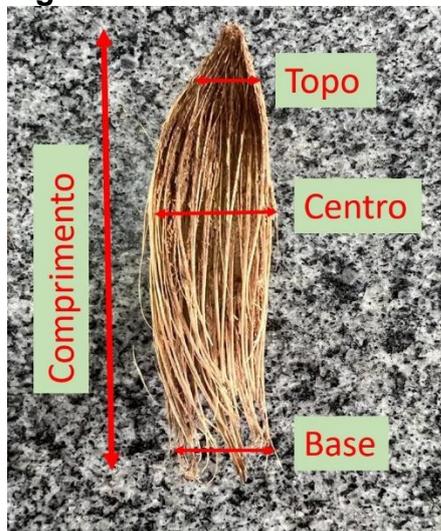
Figura 8 – Prensa para ensaio de tração da fibra.



Fonte: Autor da tese

Para a realização dos ensaios foram tomadas 30 amostras do epicarpo, nomeadas de corpos de prova (CP). Por se tratar de uma fibra natural, as amostras apresentaram dimensões variáveis, que foram medidas tomando o comprimento, a largura em três pontos (base, centro e topo) e a espessura. Na Figura 9 é exemplificado os locais de tomada das dimensões da fibra.

Figura 9 – Dimensões da fibra.



Fonte: Autor da tese

As fibras foram fixadas à prensa através de dois dormentes superiores e dois dormentes inferiores, no sentido transversal da fibra (Figura 10), espaçamento entre dormentes de 47 mm e velocidade de 3500 N/mim. O ensaio foi paralisado ao se detectar o rompimento da fibra, assim mediu-se a resistência à tração, o alongamento e o módulo de elasticidade da fibra.

Figura 10 – Execução do ensaio de resistência à tração da fibra.



Fonte: Autor da tese

A resistência à tração (σ) é dada pela razão entre a força (F) aplicada pela área (A).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Para o cálculo da área da aplicação da tomou-se como largura a média entre as medidas entre base, centro e topo.

O alongamento (ε) da fibra é dado pelo deslocamento da fibra no ponto máximo de tensão (dado em porcentagem), e o deslocamento é:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L_f - L_i}{L} \quad (5)$$

Onde:

L_f = deslocamento no ponto máximo de tração

L_i = distância entre os dormentes no início do ensaio

O módulo de elasticidade (E) da fibra é a razão entre a tensão máxima no regime

linear pela deformação:

$$E = \frac{\sigma_{m\acute{a}xima}}{\epsilon_{correspondente}} \quad (6)$$

3.5 Massa Específica dos Grãos de Solo

Neste ensaio foi determinado a massa específica real dos grãos de acordo com o que está prescrito na NBR 6458 (2016). Foi utilizado para a realização deste ensaio os seguintes materiais: estufa, balança, dispersor, picnômetro, bomba à vácuo e termômetro. Inicialmente foi necessário separar 60 g de solo e colocá-lo imerso em água destilada por 12 horas. Após isto, deve-se pesar o picnômetro vazio e com água até 500 ml. A amostra que estava submersa em água destilada deve ser transferida para o dispersor e dispersar por 15 minutos.

Depois disto a amostra deve ser transferida para o picnômetro que será completado com água destilada até a metade de sua capacidade. Deve-se aplicar o vácuo, após isto é necessário completar o volume total de 500 ml e aplicar o vácuo novamente. Por fim é preciso pesar o conjunto picnômetro + solo + água.

Após isto é possível calcular o peso específico dos grãos através da fórmula abaixo:

$$\gamma_s = \frac{M_1 x \frac{100}{100+h}}{\left[M_1 x \frac{100}{100+h} \right] + M_3 - M_2} x \delta_r \quad (7)$$

Onde:

γ_s = peso específico dos grãos (g/cm³);

M_1 = massa do solo úmido;

M_2 = massa do picnômetro + solo + água (na temperatura do ensaio);

M_3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência (na temperatura do ensaio);

h = umidade inicial da amostra;

δ_r = massa específica da água à temperatura do ensaio.

3.6 Índices de consistência do solo do talude

3.6.1 Limite de Liquidez

Separou-se aproximadamente 200 gramas do solo que passou na peneira #40 (0,42 mm). Colocou-se parte da amostra do solo na placa de vidro e adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com o auxílio da espátula, até a homogeneização da massa.

Passou-se para a concha do aparelho de Casagrande, certa quantidade dessa massa, aplainando-a com a espátula, de tal forma que a parte central ficasse com 10 mm de espessura. Fez-se com o cinzel, uma ranhura no meio da massa, no sentido do maior comprimento do aparelho, dividindo a massa do solo em duas partes.

Girou-se a manivela, à razão de duas voltas por segundo, contando o número de golpes até que se constatou o fechamento da ranhura num comprimento de 12 mm, quando então, parou-se a operação. Retirou-se, imediatamente, uma pequena quantidade do material no local onde as bordas da ranhura se tocaram para a determinação da umidade.

Transferiu-se o material de volta à placa de vidro, adicionou-se um pouco mais de água e repetiu-se o processo por mais quatro vezes.

Após a finalização de cada amostragem, retirou-se uma porção de solo para determinação do teor de umidade.

Para a determinação do limite de liquidez plota-se um gráfico com o teor e umidade pelo número de golpes em cada amostra, traçando-se uma reta interpolando todos os pontos e o limite de liquidez correspondente ao teor de umidade referente ao número de golpes igual a 25.

3.6.2 Limite de Plasticidade

Separou-se aproximadamente 200 gramas de material (solo) e passou-o na

peneira #40 (0,42 mm). Colocou-se parte da amostra do solo na placa de vidro adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com o auxílio da espátula, até a homogeneização da massa.

Tomou-se cerca de 10g da amostra e formou-se uma pequena bola, que quando rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão formou-se um cilindro.

Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3 mm e comprimento de 100 mm, transferiu-se imediatamente as partes do mesmo para uma cápsula de alumínio, para a determinação da umidade. O processo foi realizado 5 vezes, de modo a obter uma média dos valores de umidade.

O limite de plasticidade é determinado pela média entre os teores de umidade de cada amostra.

3.7 Análise Granulométrica Solo e Classificação do Solo

A classificação dos solos deve ser precedida da análise granulométrica do solo, ou seja, determinação do diâmetro das partículas constituintes do solo. Neste ensaio são determinados os diâmetros das partículas existentes no solo. Para realização deste, foi utilizada a NBR 7181:2016 Errata 2:2018 (Solo – Análise granulométrica), que ao final apresenta a curva granulométrica do solo. As descrições dos procedimentos são apresentadas a seguir.

3.7.1 Análise granulométrica do solo

3.7.1.1 Peneiramento grosso

Separou-se uma amostra de 200g de solo, peneirou-se o solo na peneira 2,0 mm e retirar o material retido. Após isto foi escolhido as peneiras a serem utilizadas e peneirar no agitador por 10 minutos. Por fim foi feito o cálculo de porcentagens retidas em cada peneira.

Para determinar o peso seco total da amostra foi necessário utilizar a formula seguinte.

$$P_S = \frac{P_r - P_g}{100 + H_{hig}} \times 100 + P_g \quad (8)$$

Onde:

P_S = peso seco total da amostra;

P_r = peso da amostra seca ao ar;

P_g = peso do material seco retido na #2,0 mm;

H_{hig} = umidade higroscópica (%).

3.7.1.2 Sedimentação

Toma-se o material passante na peneira 2,00 mm em Becker de vidro e em seguida mistura-se com água e defloculante (125 cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio na proporção 45,7g do sal por 1000 cm³).

Esta mistura foi transferida para o dispersor e agitada por 15 min. Em um local onde a temperatura é controlada, faz-se a transferência para a proveta graduada e completa com água destilada até 1000 ml, onde se deve agitar até que a temperatura se equilibre, após isto deve ser tampado e agitado por mais 1 min. Em seguida deve-se efetuar a leitura do densímetro nos tempos de 0,5, 1 e 2 minutos sem retirar o densímetro. Depois o densímetro deve ser retirado cuidadosamente e realizar-se as demais leituras com 4, 8, 15, 30 minutos e 1, 2, 4, 8, 12 e 24 horas. Vale ressaltar que é necessário medir a temperatura da dispersão após cada leitura. Por fim a porcentagem de material em suspensão foi calculada a partir da fórmula seguinte.

$$Q_S = N \times \frac{\delta_g}{(\delta_g - 1)} \times \frac{1000 (L - L_d)}{\frac{P_H}{(100 + H_{hig})} \times 100} \quad (9)$$

Onde:

Q_S = Porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N = porcentagem do material que passa #2,0 mm;

δ_g = peso específico dos grãos (g/cm³);

L = leitura do densímetro;

L_d = leitura do densímetro no meio dispersor (mesma temperatura da dispersão);

P_H = peso do material submetido à sedimentação (g);

H_{hig} = Umidade higroscópica (%).

Por fim para realizar o cálculo do diâmetro dos grãos foi utilizada a fórmula abaixo:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \mu}{\gamma_g^{-1}} \times \frac{a}{t}} \quad (10)$$

Onde:

d = diâmetro dos grãos;

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura do ensaio (g.s/cm²);

a = altura de queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro, em cm (curva de calibração);

t = tempo de sedimentação;

γ_g = peso específico dos grãos do solo (g/cm³).

3.7.1.3 Peneiramento fino

O primeiro passo foi secar na estufa o material da dispersão que ficou retido na peneira 0,0075 mm após o ensaio de sedimentação.

Posteriormente, deve-se escolher as peneiras a serem utilizadas e peneirar no agitador por 10 min.

E por fim realizar o cálculo das porcentagens retidas em cada peneira, traçar a curva granulométrica e classificar o solo em função da porcentagem dos grãos presentes no solo.

3.7.2 Classificações do solo

Os solos podem ser identificados considerando vários tipos de classificações. Neste trabalho serão empregados os seguintes sistemas de

classificação:

- ABNT, seguindo a NBR 6502/2022,
- Classificação Unificada padronizado pela norma D-2487 ASTM,
- Classificação AASHTO: prescrita na norma D-3282 da ASTM, método M145

3.7.2.1 Classificação da ABNT

Segundo a classificação da ABNT pela norma NBR 6502/2022, os solos são divididos em função do tamanho dos grãos da seguinte forma: pedregulho grãos maiores que 2,0 mm, areia grãos entre 0,06 e 2,0 mm, silte grãos entre 0,002 e 0,06 mm, e argila grãos menores que 0,002 mm.

3.7.2.2 Classificação Unificada

O Sistema Unificado de Classificação foi proposto por Casagrande em 1942, revisado em 1952 pelo Escritório de Recuperação de Solo e atualmente é padronizado pela norma D-2487 ASTM. Os solos grossos (grãos retidos na peneira #200 maior que 50%) são divididos entre pedregulho (indicado pelo prefixo G) e areia (indicado pelo prefixo S), e os solos finos (grãos passante na peneira #200 maior que 50%) são divididos entre silte (indicado pelo prefixo M) e argila (indicado pelo prefixo C). Para completar a descrição do solo usa-se as letras W (bem graduado), P (fracamente graduado), L (baixa plasticidade) e H (alta plasticidade).

3.7.2.3 Classificação AASHTO

O sistema AASHTO foi desenvolvido como um sistema de classificação de Administração Rodoviária Pública, em 1929, e já passou por várias revisões, sendo que atualmente está prescrito na norma D-3282 da ASTM, método M145 AASHTO. Nesta classificação os solos são divididos em granulares (35% ou menos dos grãos passam pela peneira #200) e silte-argila (mais de 35% dos grãos passam pela peneira #200), e subdivididos em grupo com as seguintes nomenclaturas: solos granulares (A-1, A-2 e A-3) e solos silte e argila (A-4, A-5, A-6 e A-7), para tal deve ser considerado o tamanho dos grãos, o limite de liquidez, o índice de plasticidade

e o índice de grupo.

3.8 Massa Específica do Solo e Porosidade do Solo

A densidade e porosidade do solo foram determinadas a partir das coletas das amostras indeformadas de solo utilizadas para a realização do ensaio de inderbitizem, idealizado por Fácio (1991).

Os moldes metálicos foram confeccionados nas dimensões 10x9x5 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente. Neste estudo as amostras foram retiradas na camada superficial do talude que foram realizados os ensaios de campo (Figura 11), havendo apenas a retirada a camada de grama existente no local. Optou-se por retirar superficialmente as amostras indeformadas de solo pois a biomanta foi aplicada na superfície do talude, logo, o solo coletado devido a precipitação da chuva, é o solo superficial.

Figura 11 - Retirada das amostras indeformadas de solo.



Fonte: Autor da tese

Para que não houvesse perda de material, as amostras eram enroladas em papel filme, levadas para o laboratório e em seguida aplainadas nas bordas superiores e inferiores com uma régua biselada, garantindo a determinação das massas e volume da amostra de solo coletada.

O cálculo da massa específica do solo é dada pela razão entre a massa total de solo pelo volume total de solo (CAPUTO, 2015), ou seja:

$$\gamma = \frac{M_t}{V_t} \quad (11)$$

Onde:

γ é massa específica do solo

Mt = Massa total do solo

Vt = Volume total do solo

Além disso, Caputo (2015) define que porosidade do solo é a razão o volume de vazios e o volume total de solo, e dada em porcentagem. Assim:

$$n\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

n = porosidade

Vv = Volume de vazios da amostra de solo

Vt = Volume total da amostra de solo

3.9 Confeção da Biomanta

Para a confecção da biomanta o epicarpo (casca) do coco babaçu houve a necessidade de limpeza da mesma para retirada de resíduos tais como insetos e partículas de solo. Assim, inicialmente a fibra foi lavada em água corrente para retirada de partículas maiores, e em seguida para retirada de partículas pequenas a fibra foi deixada de molho, em baldes com água, durante 24 h. Por fim a fibra foi exposta ao ar livre para secagem. Este processo é mostrado na Figura 12.

A biomanta foi produzida manualmente, constituída 100 % de fibra vegetal (epicarpo do coco babaçu) selecionada com dimensão longitudinal de no mínimo 8 cm e transversalmente sem restrição de dimensão. Optou-se por utilizar a fibra sem desfibramento (processo mecânico), ou seja, a fibra *in natura*, pois desta forma a biomanta pode ser produzida pela população da região onde a fibra é retirada e descartada.

A fibra foi sustentada por rede de polipropileno fotodegradável, na malha de 2,5 x 2 cm, fornecida pela Deflor Bioengenharia, e costurada com juta a cada 10 cm transversalmente e longitudinalmente.

Figura 12 - a) Epicado lavado em água corrente; b) Epicador de molho em água; c) Epicardo secando ao ar livre.



Fonte: Autor da tese

As mantas foram confeccionadas nas dimensões de 100 x 300 cm, equivalente ao local de aplicação da mesma para a realização dos ensaios no talude natural, e na gramatura de 1300 g/m². A escolha deste valor da gramatura deu-se pelo fato de valores inferiores proporcionar vazios entre as fibras. A Figura 13 mostra os detalhes da biomanta.

Figura 13 - a) Biomanta produzida manualmente; b) detalhe costura com linha de juta.



Fonte: Autor da tese

3.10 Caracterização do local de trabalho

O trabalho experimental de campo foi realizado no talude de solo do UNITPAC (Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos) em Araguaína-TO. O talude é um aterro construído para nivelamento do terreno e execução das edificações da faculdade, localizado atrás do auditório no bloco administrativo (Figura 14). Este local foi escolhido pois apresenta dimensões superiores à 5,0 metros tanto em comprimento quanto na inclinação, facilitando a instalação da biomanta. Além disso, foi observado alguns pontos de erosão no local, sugerindo que o mesmo poderia estar suscetível a perda de material mesmo estando coberto por vegetação (grama).

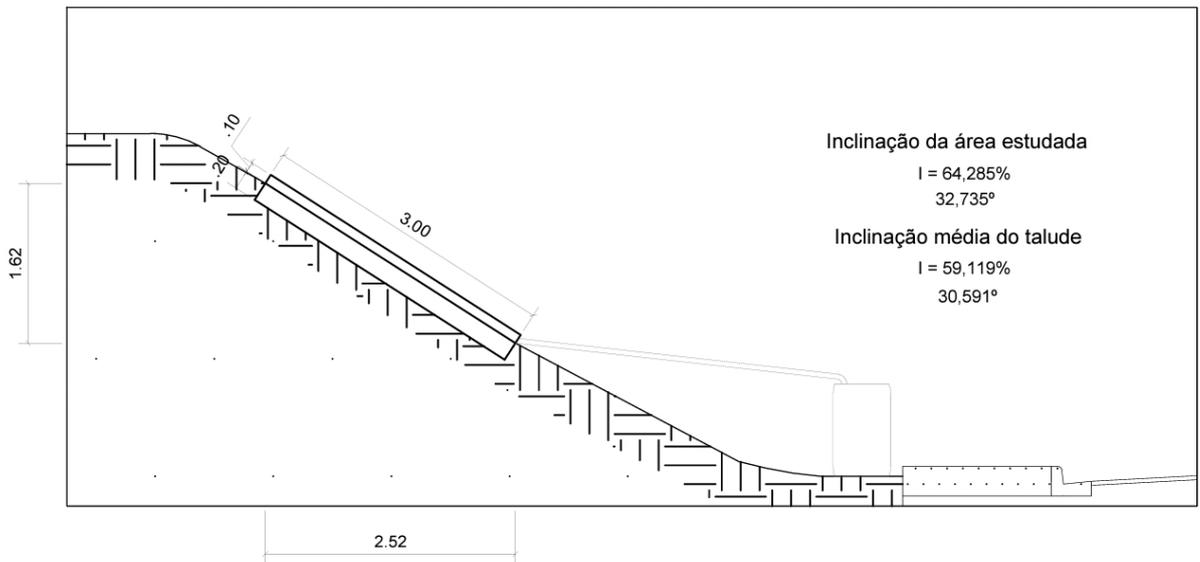
Figura 14 - Área escolhida para realização do experimento.



Fonte: Autor da tese

O talude apresentou as dimensões indicadas na Figura 15, sendo a inclinação de 30°.

Figura 15 - Corte do talude.



Fonte: Autor da tese

3.10.1 Implantação dos blocos experimentais

Após a escolha e caracterização da área, foi feita a delimitação dos blocos experimentais. Como o talude já estava todo coberto por vegetação, preliminarmente foi retirada a toda a grama existente no local para que fosse possível quantificar a perda de solo do talude desde a sua implantação, simulando assim taludes naturais.

Em seguida foram implantados 6 (seis) blocos com área de 3 m², nas dimensões de 1 x 3 m, com a maior dimensão no sentido do declive. Os blocos foram delimitados com chapas de zinco na espessura de 0,35 mm, sendo enterrada aproximadamente 7 cm e borda livre de 23 cm. Para a captação da água de chuva na parte inferior dos blocos foram conectados canos de PCV de 100 mm interligados à bombonas com capacidade de 160 L. Para melhor fixação das bombonas o solo foi escavado, furos variando entre 30 à 60 cm de profundidade e diâmetro de 80 cm, ou seja, o mesmo diâmetro das bombonas. Posteriormente as bombonas foram fixadas nos furos com concreto magro, garantindo que estivessem perfeitamente niveladas.

Na Figura 16 é apresentado o detalhe da instalação dos blocos experimentais.

Figura 16 - Detalhe da instalação dos blocos experimentais.



Fonte: Autor da tese

Foram instalados 6 (seis) blocos experimentais denominados de B1, B2, B3, B4, B5 e B6 (Figura 17), sendo 3 blocos (B1, B3 e B5) cobertos apenas com grama e 3 blocos (B2, B4 e B6) coberto com a grama+ biomanta.

Figura 17- Vista frontal da instalação das mantas no talude.



Fonte: Autor da tese

Na Figura 18 é mostrada a vista lateral da instalação dos blocos experimentais.

Figura 18 - Vista lateral da instalação dos blocos experimentais.



Fonte: Autor da tese.

3.10.2 Plantio e acompanhamento da vegetação

Após a instalação dos blocos experimentais foi realizado o plantio da cobertura vegetal. A gramínea plantada nos blocos experimentais foi a mesma já existente no talude, a grama batatais (*paspalum notatum*), pois foi verificado visualmente que a mesma fazia a cobertura do solo sem deixar vazios.

A *paspalum notatum* é uma espécie encontrada em várias regiões do Brasil, e é utilizada como pastagem ou cultivada como gramado, porém, o seu plantio resulta em gramados heterogêneos apresentando diferenças quanto às dimensões e ao grau de pilosidade das folhas e das inflorescências (SOUZA, CAVALLARI E GUSMÃO 2020).

O plantio da grama foi pelo método de mudas (Figura 19), sendo estas retiradas do próprio talude com o auxílio de um trado de diâmetro de 15 cm. As mudas foram inseridas nos blocos experimentais em covas de no máximo 10 cm de profundidade e espaçadas entre si em 20 cm tanto longitudinalmente como transversalmente, conforme recomendado por Souza, Cavallari e Gusmão (2020).

Figura 19. Muda de grama *paspalum notatum*.



Fonte: Autor da tese

O desenvolvimento da vegetação como um todo foi acompanhado através de registros fotográficos dos 06 blocos experimentais em diferentes épocas, concomitante ao período das coletas de água e solo. Os registros foram realizados a cada 20 dias totalizando 4 imagens por bloco, nos dias 00, 20, 40, 60, contados a partir da data da implantação dos blocos.

3.11 Coleta de dados dos blocos experimentais

Na região de Araguaína-TO segundo Weather Spark (2022) o período denominado chuvoso ocorre entre os meses de outubro à abril, assim, o ensaio de erodibilidade de campo foi realizado entre os dias 12 de fevereiro de 2022 à 17 de abril de 2022, perfazendo um total de 20 amostragens, que foram condicionadas aos dias que ocorreu chuva no local do experimento.

No interior das bombonas (instaladas conforme o item 3.10.1) foram colocados baldes plásticos com capacidade de 30 L (Figura 20) para armazenamento da água de chuva de pequenas intensidades, ou seja, que não ultrapassasse a capacidade dos baldes em um período máximo de 24 h.

Figura 20 - Vista interna das bombonas coletoras de água de chuva.



Fonte: Autor da tese

Para as coletas das amostras de água e solo foi estipulado um período máximo de 24 h de chuva, sendo as coletas realizadas sempre no período da manhã desde que não estivesse chovendo naquele horário, pois haveria perda de material durante a remoção. O volume total de água escoada foi medido nos baldes e nas bombonas.

Devido ao grande volume de água e solo coletados em cada ocorrência de chuva, optou-se por realizar a quantificação por amostragem, assim, a água e o solo armazenados nos baldes /ou bombonas, foram misturados manualmente durante 1 minuto, para homogeneização, e em seguida retiradas 4 amostras de 1 L cada. As amostras foram transferidas para formas metálicas e levadas a estufa à 115° C até secagem total (figura 21), e posteriormente pesadas para verificação das massas de solos coletadas.

Para o cálculo da massa total de solo erodido calculou-se a média das 4 amostras de cada bloco experimental e multiplicou-se pelo volume total de água coletada conforme a equação 13.

$$M_e = V_a \times M_s \quad (13)$$

Onde:

M_e = massa total de solo erodido por bloco experimental

V_a = volume total de água coletada por bloco experimental

M_s = média de massa de solo coletado por amostragem por bloco experimental

Figura 21 - Secagem das amostras água/solo na estufa.



Fonte: Autor da tese

3.12 Degradação do epicarpo do coco babaçu

A decomposição da fibra vegetal da biomanta é de suma importância, pois a sua decomposição deve ocorrer para que o talude a ser protegido seja coberto pela vegetação plantada abaixo da manta. Portanto, foi realizado a verificação da degradação do epicarpo do coco babaçu utilizado para a confecção da biomanta.

Para o ensaio de degradação da fibra, foram tomadas amostras do epicarpo, previamente lavadas e secadas ao ar livre, ensacado em tela de nylon e colocado no talude para exposição ao sol e à chuva, ao lado dos blocos experimentais. Na Figura 22 é mostrado as 21 amostras da fibra de epicarpo ensacada e colocada no

talude.

Figura 22 - Degradação do epicarpo do coco babaçu.



Fonte: Autor da tese

A cada 21 dias as amostras eram retiradas, lavadas e secadas em estufa à 50°C, pesadas e recolocadas novamente no talude até completar 105 dias de exposição. Avaliou-se a degradação a partir da diferença de peso inicial e o peso em cada etapa.

3.13 Ensaio de Inderbitzen

Para verificação da erodibilidade do solo em laboratório foi executado o ensaio de Inderbitzen, idealizado por Fácio (1991) e adaptado para esta pesquisa.

A primeira etapa do ensaio equivale a retirada das amostras indeformadas de solo, conforme descrito no item 3.7 – Densidade e Porosidade do Solo. Foram coletadas 3 amostras de solo ao lado de cada bloco experimental e ensaiadas sem cobertura vegetal e com proteção da biomanta considerando a mesma configuração dos blocos, assim totalizando 18 amostras ensaiadas.

Em seguida foi realizada a calibração do aparelho de Inderbitzen, definido a

inclinação, a vazão e o tempo a ser ensaiado. Para isso foram seguidos os parâmetros idealizados de Fácio (1991), considerando uma vazão de 50 mL/s, tempo de ensaio de 60 minutos, porém a declividade escolhida foi 30° equivalente a declividade do talude do ensaio de campo (Figura 23).

Figura 23 - Aparelho utilizado para o ensaio de Inderbitzen.



Fonte: Autor da tese

O ensaio consistiu em:

1. Nivelamento do solo nos amostradores metálicos e determinação do teor de umidade do solo antes do ensaio;
2. Posicionamento da amostra dentro do molde acrílico de 10 cm x 9,0 cm, apenas com o solo e, em seguida, solo + biomanta (Figura 24);
3. Iniciar a descarga de água e o recolhimento do material erodido retido na peneira malha 0,075 mm (N° 200), sendo verificado em tempos de 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos.
4. Ao final do tempo de ensaio retirou-se amostra de solo para verificação do teor de umidade do solo após o ensaio;
5. Em seguida os recipientes com o solo + água coletado em cada leitura foram levados a estufa para secagem durante 24 h;
6. Após secagem, a massa de solo erodido foi pesada.

Os resultados coletados são demonstrados por intermédio de um gráfico de perda de solo (g) por tempo de ensaio (minutos).

Figura 24 - Amostra de solo. a) sem cobertura vegetal; b) com cobertura de biomanta.



a



b

Fonte: Autor da tese

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa específica da fibra do coco babaçu

De acordo com o método do picnômetro adotado para calcular peso específico da fibra em relação à água, foi obtido um valor de 1,038 g/cm³. Este valor está próximo ao encontrado para fibras como sisal e coco Desai (2016) na ordem de 1,2 a 1,5 g/cm³, Oliveira (2011) de 0,97 g/cm³ para o ubuçu e para o epicarpo do babaçu por Carvalho e Rodrigues (2017) de 1,04 g/cm³.

4.2 Absorção de água da fibra do coco babaçu

O ensaio de absorção mostrou que a fibra absorve a água principalmente nas primeiras horas, até os primeiros 120 minutos, com valor de 76%. Após esse período a absorção da água continua aumentando, porém de forma menos significativa, alcançando o valor máximo de 120% após 72 horas do início do ensaio e assim estabilizando a absorção de água (Figura 25).

Esses dados comprovam o comportamento já observado anteriormente para o epicarpo do coco babaçu por Oliveira (2011) e Arantes (2020). Além disso, como neste trabalho o ensaio foi realizado por um espaço de tempo maior (5 dias), identificou-se que além da fibra absorver a água, os vazios entre os filamentos da fibra foram preenchidos por água devido à polarização das moléculas de água (H⁺, OH⁻), as partículas sólidas atraem seus íons positivos, formando assim uma película de água adsorvida (Figura 26).

Quando comparado a outras fibras como sisal, juta e coco, resultados apresentados por Desai (2016), o coco babaçu tem uma absorção de água superior às demais, que alcançaram valores entre 30 e 45% de absorção de água.

Figura 25 - Absorção de água pela fibra em função do tempo.

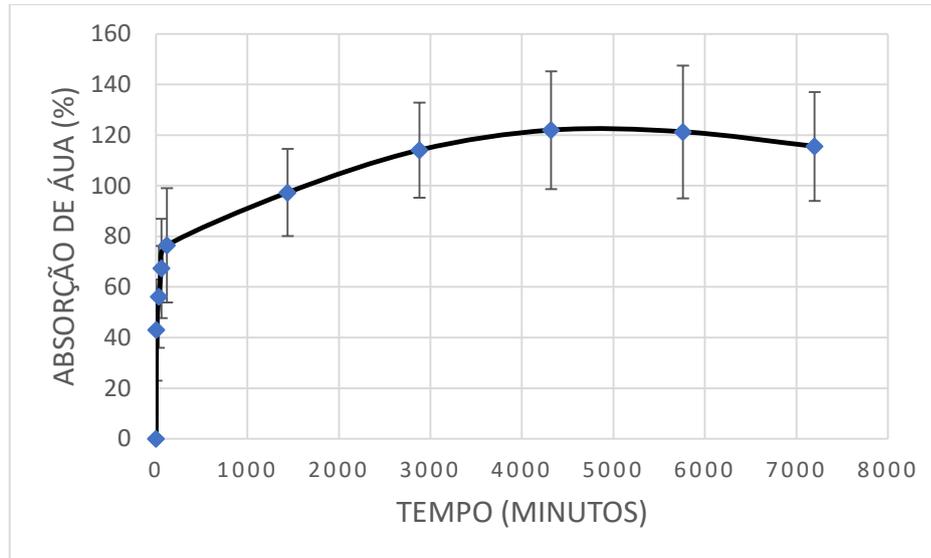


Figura 26 - Água adsorvida pela fibra do coco babaçu.

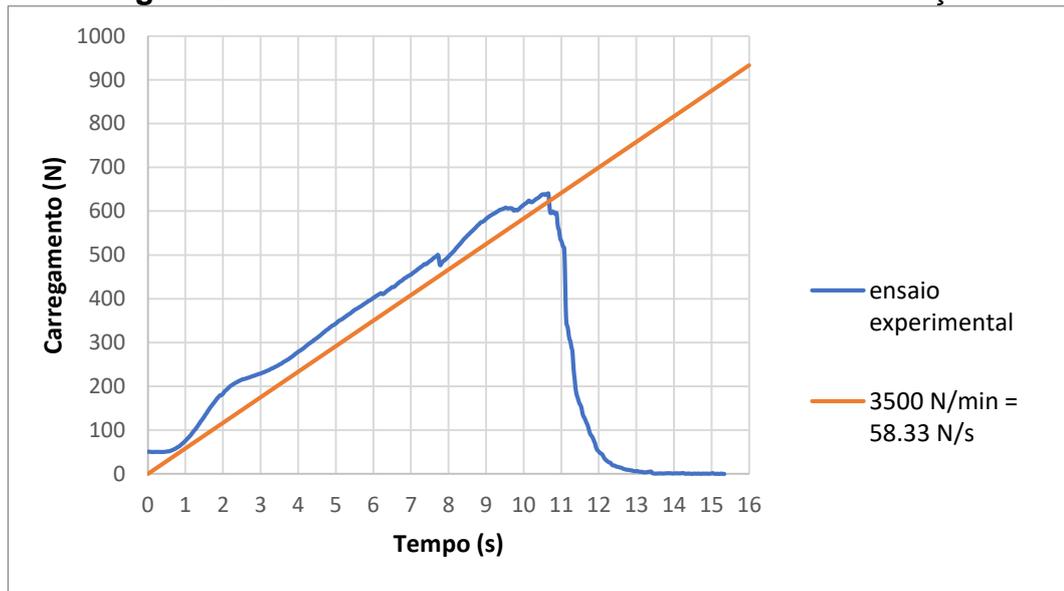


4.3 Resistência à tração da fibra

Os resultados do ensaio de tração da fibra apresentaram grande variação, apresentando um desvio padrão de 0,36. Assim, dos 30 corpos de prova ensaiados, 9 foram descartados por apresentarem valores acima ou abaixo da faixa média considerando o desvio padrão.

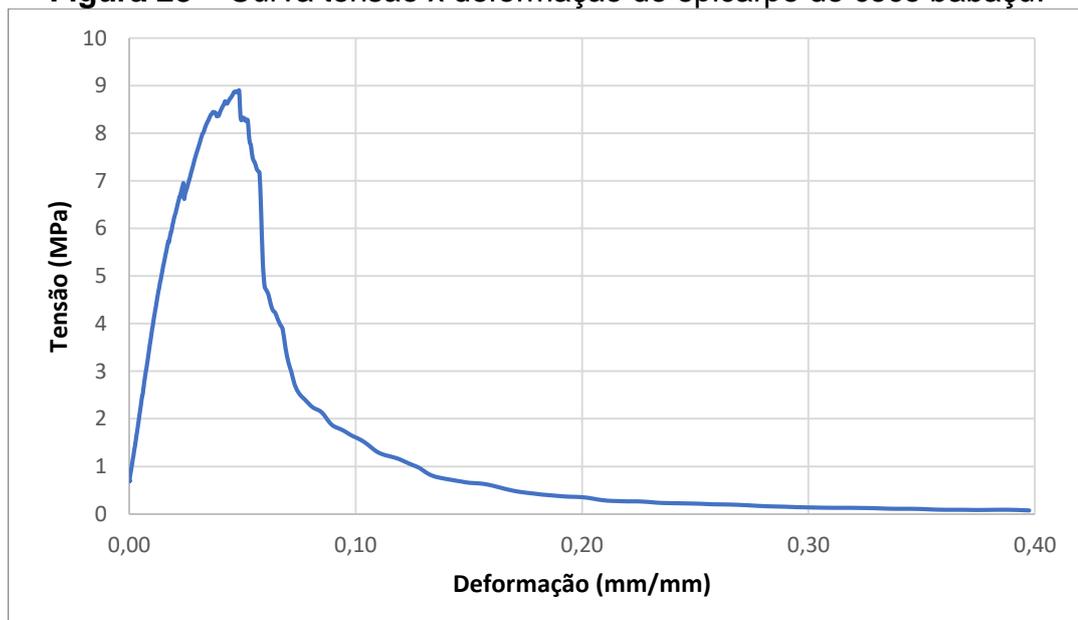
Devido a essa grande variação, tomou-se como resultado final o corpo de prova que apresentou os valores mais próximos da média ponderando dos 21 restantes. Na Figura 27 é apresentado o carregamento aplicado na fibra em função do tempo, apontando uma carga máxima de 640,60 N após 10,6 s.

Figura 27 – Módulo de elasticidade da fibra do coco babaçu.



A curva tensão x deformação do epicarpo do coco babaçu é apresentada da Figura 28, e assim determinou-se que a resistência a tração da fibra é 8,90 MPa, o módulo de elasticidade 1,14 GPa e o alongamento 0,78%. Estes valores estão abaixo dos valores fornecidos por Desai (2016) para outras fibras naturais já utilizadas pela indústria para a fabricação de geomantas.

Figura 28 – Curva tensão x deformação do epicarpo do coco babaçu.



4.4 Massa específica dos grãos

O solo do talude onde foi implantado os blocos experimentais apresentou massa específica dos grãos de $2,59 \text{ g/cm}^3$. Caputo (2015) apresenta que a maioria da massa específica dos solos varia entre $2,65$ à $2,85 \text{ g/cm}^3$, porém o autor informa que para solos com presença de matéria orgânica a massa específica diminui, comprovando o valor identificado neste estudo.

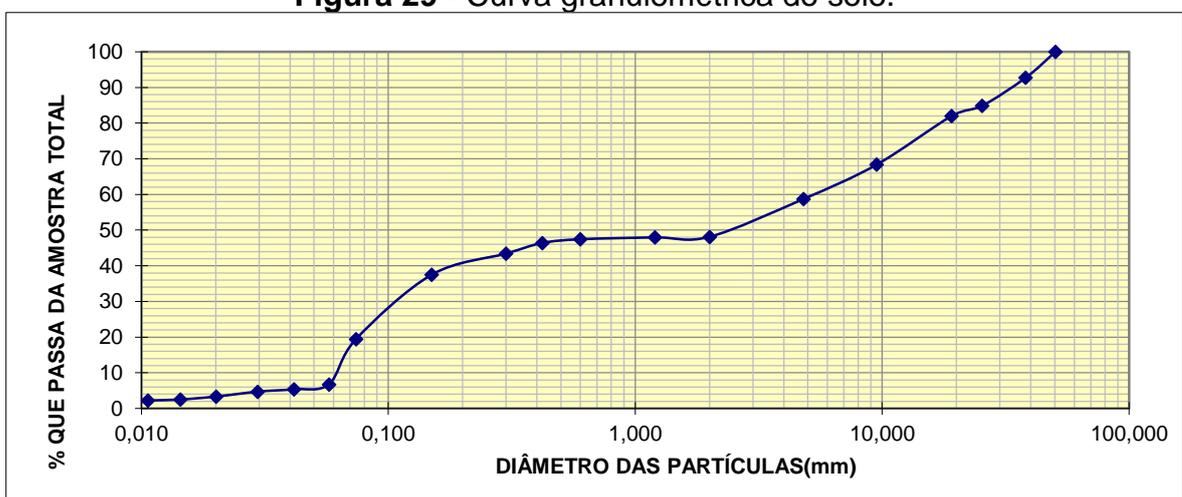
4.5 Índices de Consistência

O solo do talude apresentou limite de plasticidade de $26,21 \%$ e limite de liquidez de $31,90 \%$, assim o índice de plasticidade foi de $5,69 \%$. Desta forma o solo pode ser classificado como fracamente plástico, conforme Caputo (2015).

4.6 Classificação do Solo

Com os dados coletados no ensaio de granulometria conjunta (NBR 7181/2018) gerou-se a curva granulométrica do solo exibida na Figura 29.

Figura 29 - Curva granulométrica do solo.



O solo apresentou as seguintes porcentagem dos grãos: 49,88 % de pedregulho, 39,59 % de areia (4,64% de areia grossa, 0,71% de areia média e 34,24% de areia fina), 2,55 % de silte e 7,97% de argila, assim sendo classificado como pedregulho arenoso.

Considerando a Classificação Unificada (D-2487 ASTM) o solo em estudo foi classificado como GW-GM, ou seja, pedregulho bem graduado com silte e areia.

Para o sistema AASHTO, o solo analisado foi classificado como A-2-4 (Pedregulho argiloso), pois a porcentagem de grão passante na peneira #200 é 8,85% (menor que 35%), o limite de liquidez é 32 % (menor que 40%), índice de plasticidade 6% (menor que 10%) e índice de grupo 0.

Na Tabela 9 são apresentadas as classificações do solo de forma sucinta.

Tabela 9 – Classificação do solo do talude

ABNT (NBR 7181-2018)	Classificação Unificada	AASHTO
pedregulho arenoso	GW-GM -pedregulho bem graduado com silte e areia	A-2-4 (Pedregulho argiloso)

Considerando o exposto por Bertoni e Lombardi Neto (2005) e a granulometria do solo do talude em estudo, pode-se sugerir que ele está sujeito a sofrer processos erosivos. Os autores afirmam que, de maneira generalizada, os solos arenosos e pedregulhos tendem a estar mais suscetíveis à erosão pois os poros entre os grãos são maiores e as partículas têm baixa coesão, assim facilitando que as mesmas sejam carregadas pela água de chuva.

4.7 Massa específica do solo e porosidade do solo

A massa específica do solo (γ) e a porosidade (n) do solo no talude foi determinado para os 6 blocos experimentais. Na Tabela 10 são apresentados os valores obtidos em cada parcela, e a média entre eles. A porosidade do solo foi de 47,62 %, confirmando também a afirmação de Bertoni e Lombardi Neto (2005), onde solos pedregulhos e solos arenosos apresentam alta porosidade e assim maior tendência de sofrer erosão.

Tabela 10 – Massa específica e porosidade do solo do talude

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
γ (g/cm³)	1,655	1,350	1,525	1,472	1,755	1,704
Média	1,577 g/cm ³					
n (%)	45,00	53,19	49,11	50,55	42,81	45,07
Média	47,62 %					

4.8 Ensaio de erodibilidade de campo

O ensaio foi realizado por amostragem, assim o Apêndice A apresenta todos os dados coletados de volume total de água coletada por bloco experimental, quantidade solo erodido em cada amostra e por bloco experimental. A Figura 29 apresenta o volume de água mais solo coletados diariamente a cada ocorrência de chuva. Na Tabela 10 são informados as datas das coletas, o volume de chuva em 24 horas e a quantidade total de solo erodido em cada bloco experimental.

Vale ressaltar que os dados de massa de solo erodida apresentados na Tabela 10, são valores referente a extrapolação dos valores coletados em função do volume total de água, visto que a coleta de solo foi realizada por amostragem.

Os dados apresentados na Figura 30 apontam que as parcelas B1 e B5 foram as amostras com maiores volumes de água coletadas, sendo que das 20 coletas a parcela B1 apresentou superioridade em 11 coletas e a parcela B5 apresentou 8 coletas com maior volume, e em 1 coleta valores entre B1 e B5 foram equivalentes para as duas parcelas.

Quando observado os valores de solo coletados (Tabela 11) a parcela B1 corresponde a 12 coletas com os maiores valores, a parcela B3 a 5 coletas e B4 e B5 apenas 1 coleta. Desta forma verificou-se que a parcela B1 exibiu superioridade nos dois parâmetros.

Ao tomar os menores valores de volume de água e solo coletados, tem-se que a parcela B6 apresentou 13 valores com as menores coletas de água, a parcela B3 apresentou 5 coletas com menores valores de água coletada, e B2 e B4 apenas 1 coleta com menores valores de água. Quando observado o solo coletado a parcela B6 e mostrou 16 valores com menores coleta de solo, B4 com 4 coletas e B2 com 1 coleta. Assim, a parcela B6 apresentou os menores valores tanto em

coleta de água quanto de solo.

Assim, pode-se afirmar que os maiores valores de coleta de água e solo estão em maioria nas parcelas com apenas cobertura vegetal e os menores valores de coleta de água e solo estão principalmente nas parcelas com cobertura vegetal e biomanta. Desta forma, evidenciando que a proteção do talude com a manta gerou uma maior retenção de água da chuva e conseqüentemente menor escoamento da água e menor carreamento de partículas de solo.

Figura 30 - Volume Total de água + solo coletado diariamente

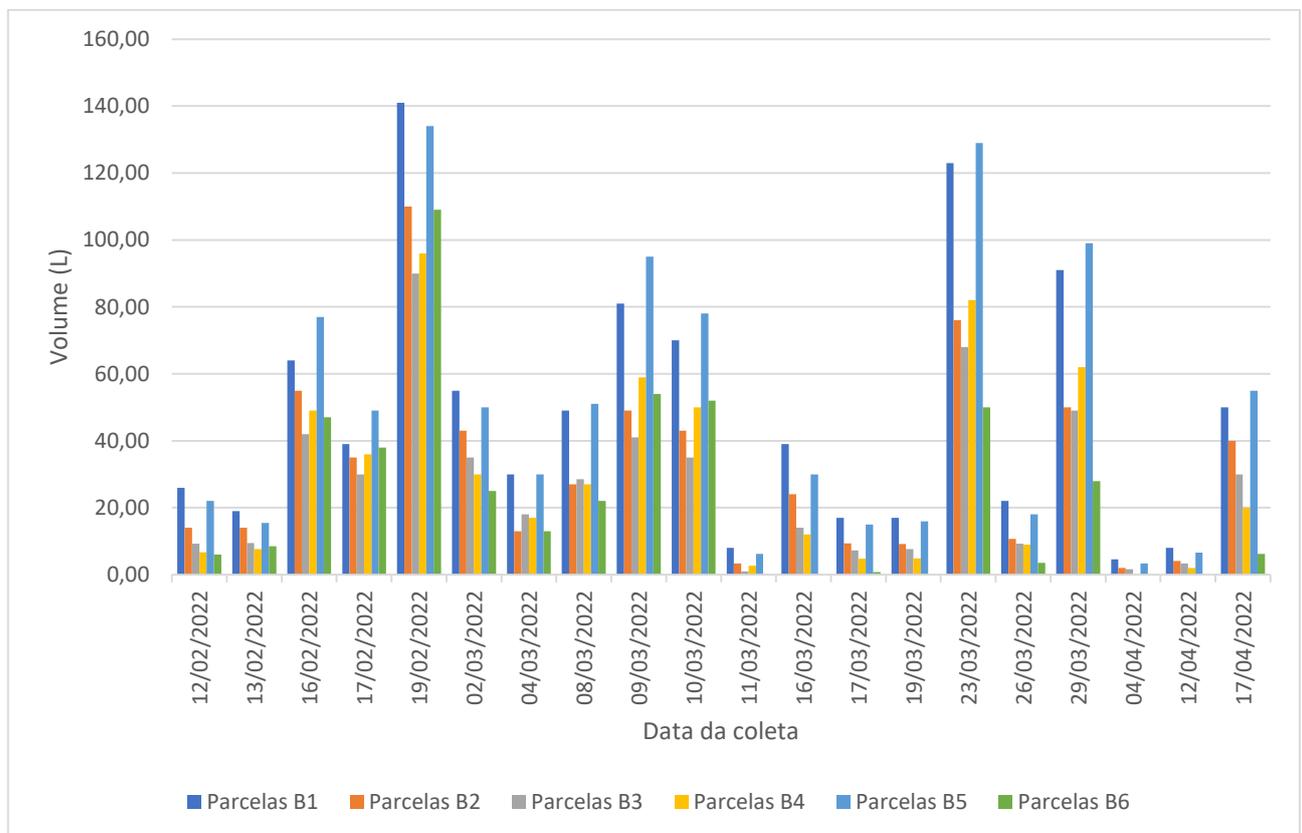
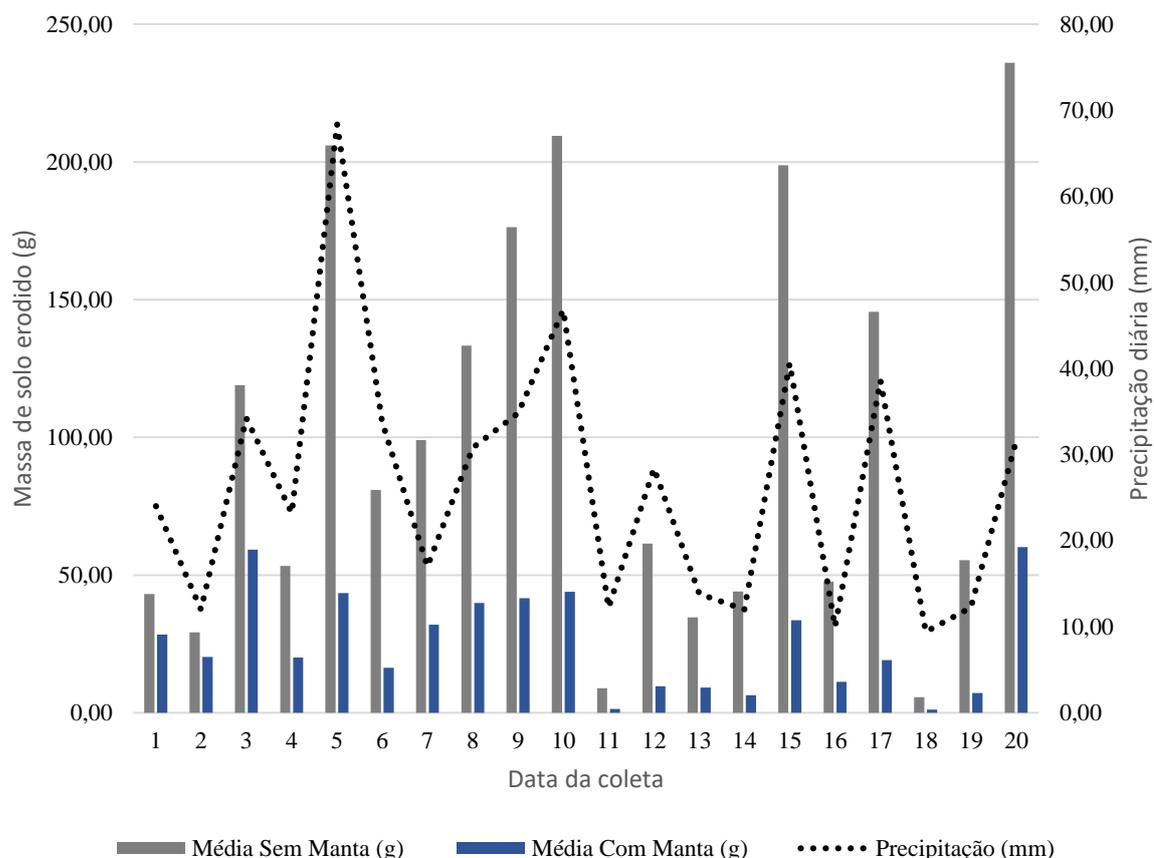


Tabela 11 – Massa de solo coletado por bloco experimental.

Data da chuva	Volume chuva em 24 h (mm)	B1	B2	B3	B4	B5	B6
		Massa de solo erodido (g)					
12/02	24,0	52,7	39,2	19,0	17,6	57,5	2,8
13/02	12,0	45,5	20,8	17,3	19,7	24,7	3,1
16/02	34,2	149,3	61,9	71,9	56,6	135,4	14,7
17/02	23,2	64,7	18,3	36,8	21,6	58,8	22,4
19/02	68,4	359,2	49,3	153,5	37,6	105,5	38,9
02/03	33,8	141,4	20,0	60,6	12,7	40,7	9,3
04/03	17,0	151,6	51,4	56,4	12,6	88,9	11,5
08/03	30,8	202,9	65,9	60,2	13,9	136,9	8,5
09/03	34,8	239,2	60,6	68,8	22,7	221,0	20,8
10/03	46,8	259,5	60,1	97,8	27,8	271,1	32,5
11/03	12,2	12,6	1,6	2,1	1,2	12,2	-
16/03	28,4	65,2	11,8	32,2	7,4	86,8	-
17/03	13,8	49,2	14,4	17,7	3,8	36,9	0,2
19/03	12,0	52,3	8,8	31,5	3,9	48,4	-
23/03	40,6	266,3	43,8	184,9	23,3	145,1	14,2
26/03	10,0	68,5	12,1	32,5	10,5	41,9	1,6
29/03	38,6	259,3	20,5	59,4	17,7	118,1	7,1
04/04	9,4	5,60	1,2	4,6	-	6,6	-
12/04	12,2	110,7	7,6	21,5	6,7	34,0	-
17/04	31,6	478,2	104,1	73,6	16,2	156,4	6,3
Total		953,6	631,7	529,3	577,8	979,5	463,0

Para correlacionar os valores de água percolado e a massa de solo erodido no talude com o volume de chuva de cada dia, foi elaborada a Figura 31, sendo que no mesmo foi tomado como dados a média entre as parcelas com a presença de biomanta e a média entre as parcelas sem o plantio de grama, para todos os dias de chuva no período em estudo. A relação entre os volumes de chuva e os volumes de água e solo coletados são proporcionais, ou seja, para maiores volumes de chuva maior foram os volumes de água e solo coletados, com exceção ao dia 7, que houve um volume de chuva menor que no dia 6, porém o volume de água e solo coletados foram maiores que no dia anterior.

Figura 31 - Média massa de solo em função da precipitação de chuva.

De forma sucinta, na Tabela 12, são apresentados os valores totais de volume de água + solo e a massa de solo erodido blocos sem proteção de manta e com proteção de manta coletados nos blocos experimentais. Os dados mostram que ao analisar o volume de água + solo, os blocos com a proteção da manta apresentaram uma redução de 32%, e em relação à massa de solo erodido a redução nos blocos com a proteção da manta foi de 80%. Assim, a biomanta trouxe redução tanto no volume de água coletada quanto na perda de solo, demonstrando de forma muito expressiva a eficiência da proteção do talude.

Tabela 12 – Total de água de chuva e massa de solo coletados.

	volume de água + solo (L)	massa de solo erodido (g)
Blocos sem proteção de manta	2462,50	5962,52
Blocos com proteção de manta	1672,48	1201,11

A redução do volume de água deve-se ao fato da fibra do coco absorver

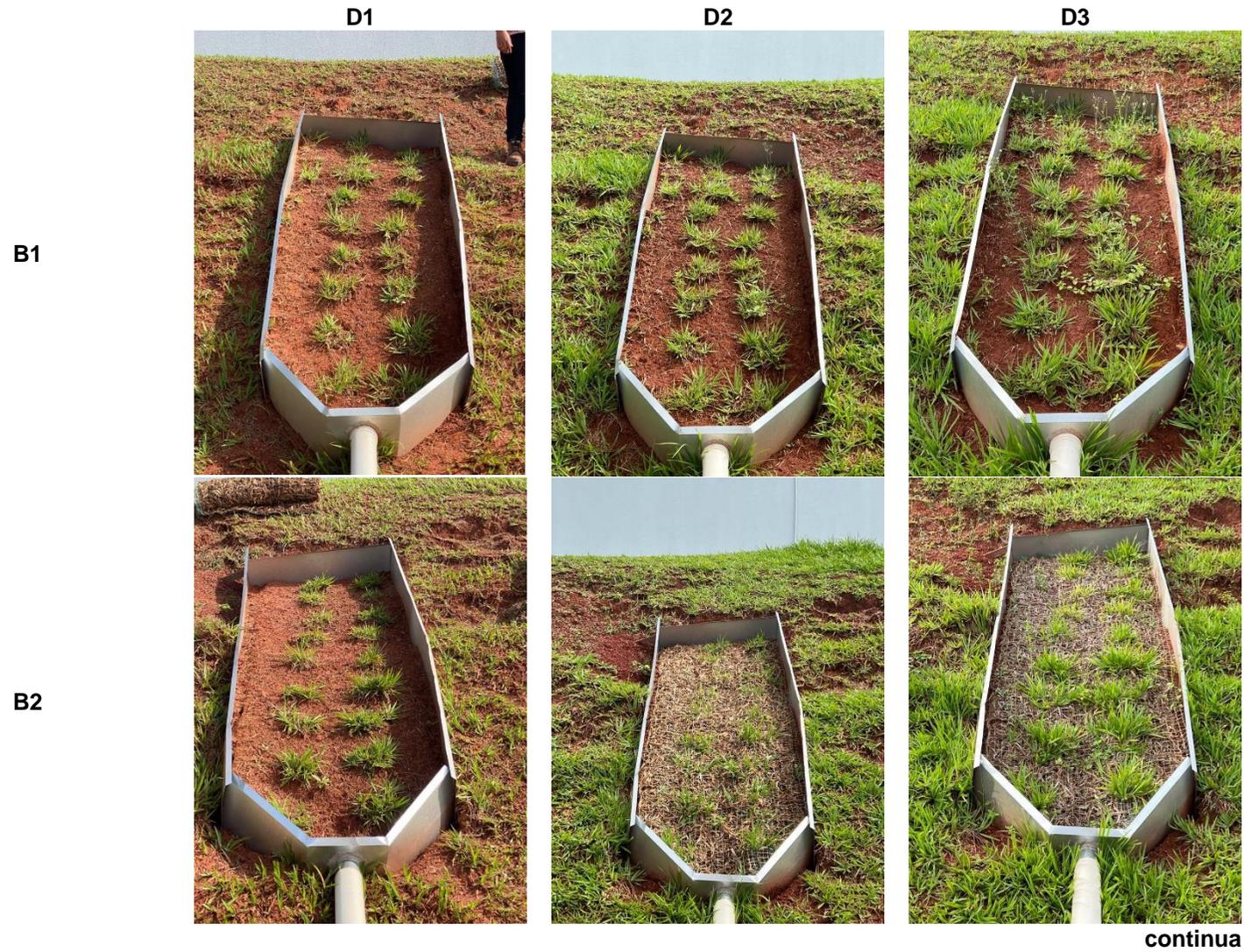
parte da água que escoaria pelo talude quando o mesmo está desprotegido. A redução na massa de solo está relacionada ao fato de o talude estar totalmente protegido, ou seja, o solo não está exposto e o contato entre o ele e água de chuva é apenas pela água que infiltra pelos vazios entre a fibra. Este fato mostra que a biomanta é eficaz principalmente em taludes de corte ou aterro sem cobertura vegetal inicial devido ao plantio da vegetação após a execução da obra.

4.9 Desenvolvimento da grama

A grama babatais foi plantada em todos os blocos experimentais para a verificação do seu desenvolvimento com e sem a cobertura da biomanta. O seu desenvolvimento foi analisado através de fotografias a cada 21 dias (denominados D1, D2 e D3) simultaneamente aos dias de coleta de água e solo erodido no talude, conforme apresentado na Figura 32.

O plantio da grama ocorreu no período de chuva da região, o que favoreceu o seu desenvolvimento, e pôde-se observar que mesmo nos blocos que foram protegidos pela biomanta a grama brotou e cresceu ao longo do período analisado. Isso mostra que a biomanta atingiu o seu objetivo de proteção inicial de taludes sem cobertura vegetal e após a sua degradação a grama cobrirá o talude.

Figura 32 - Desenvolvimento da grama no talude.



B3

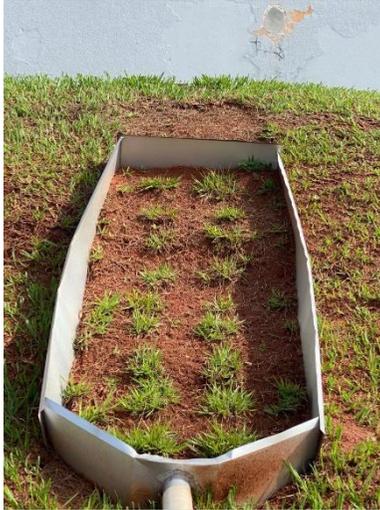


B4



continua

B5



B6

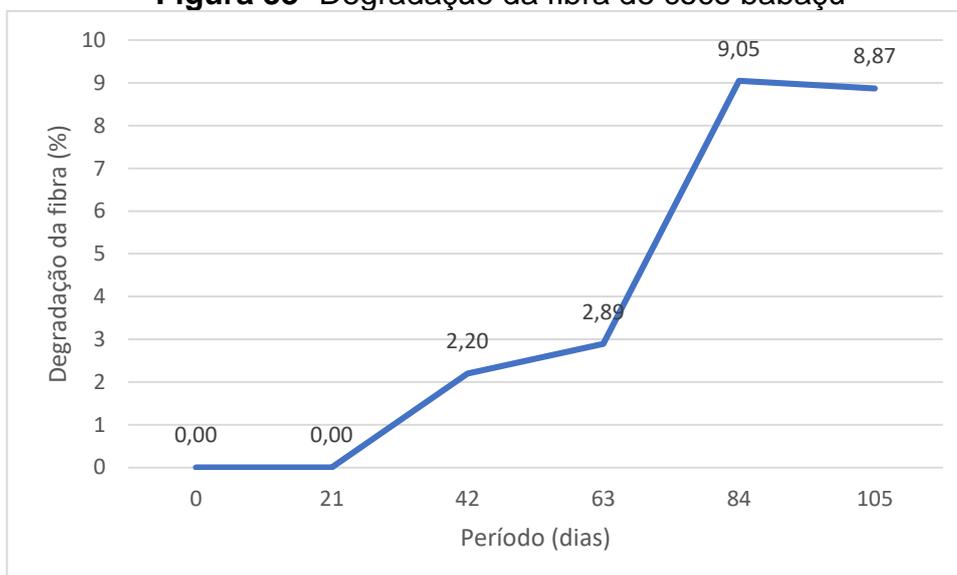


4.10 Degradação da fibra do coco babaçu

Em concomitância ao ensaio de erodibilidade do talude realizou-se o ensaio de degradação da fibra de coco babaçu. A Figura 33 mostra os valores médios da perda de massa da fibra após 105 dias de ensaio em porcentagem em relação a massa inicial da fibra.

Nos primeiros 21 dias não houve perda de massa da fibra, a partir daí a degradação foi crescente até atingir 9,05 % após 84 dias e uma leve diminuição ao final do ensaio passando para 8,87 %. Esse valor de degradação do epicarpo do babaçu foi menor que o valor apresentado por Mariani (2017) que analisou a degradação da fibra do coco, onde a degradação máxima foi de 22 %. Isso mostra que a fibra do babaçu é mais resistente.

Figura 33- Degradação da fibra de coco babaçu



4.11 Ensaio de erodibilidade em laboratório - Inderbitzen

Para a verificação da erodibilidade, foi executado em laboratório o ensaio de Inderbitzen. Na Tabela 13 e na Figura 34 são informados os dados do ensaio de

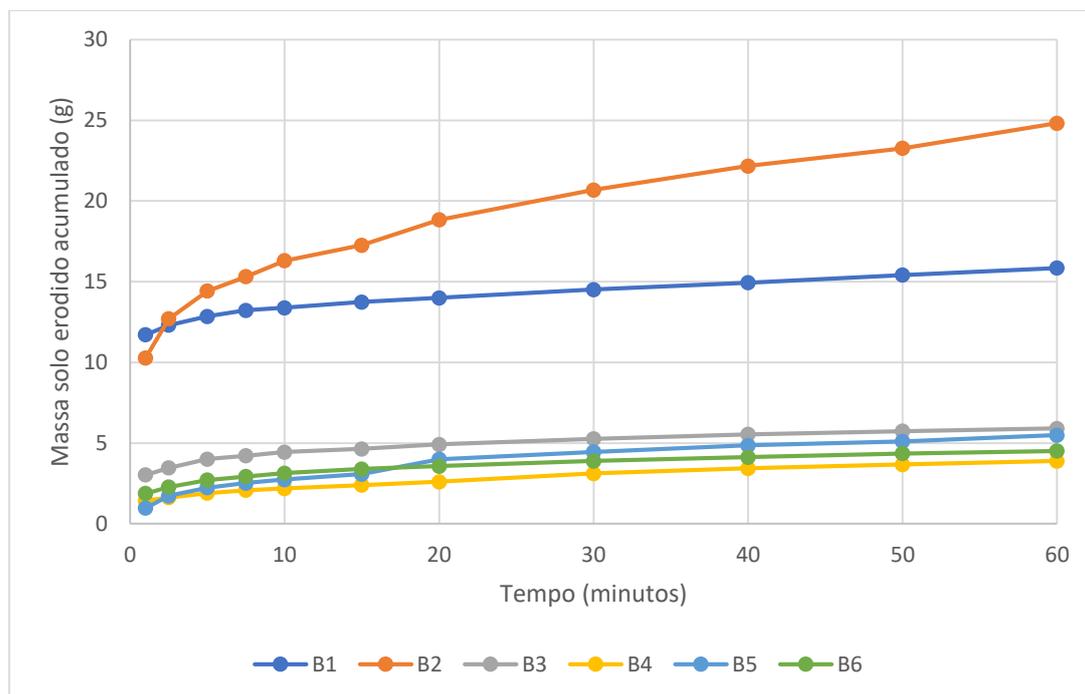
Inderbitzen nas amostras indeformadas coletadas ao lado dos blocos experimentais, mostrando a massa de solo acumulada erodida no decorrer do ensaio, e o teor de umidade (h) das amostras antes e depois do ensaio. Assim como nos blocos experimentais as amostras B1, B3 e B5 foram ensaiadas sem cobertura vegetal e as amostras B2, B4 e B6 foram ensaiadas cobertas pela biomanta.

Tabela 13 - Massa de solo erodido, ensaio Inderbitzen.

Tempo (minutos)	Massa de solo erodido (g)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	11,714	10,284	3,031	1,433	0,971	1,878
2,5	12,306	12,704	3,461	1,628	1,732	2,279
5	12,853	14,423	4,009	1,901	2,239	2,710
7,5	13,230	15,314	4,214	2,075	2,527	2,930
10	13,387	16,306	4,442	2,190	2,737	3,133
15	13,738	17,267	4,641	2,391	3,075	3,394
20	13,997	18,836	4,918	2,607	3,998	3,572
30	14,514	20,690	5,267	3,120	4,454	3,886
40	14,938	22,174	5,541	3,436	4,861	4,127
50	15,409	23,266	5,743	3,674	5,104	4,352
60	15,848	24,821	5,905	3,887	5,492	4,517
h(%) antes do ensaio	16,140	11,567	15,661	14,905	18,476	19,90
h(%) depois do ensaio	31,065	28,294	25,711	26,839	23,250	25,44

O resultado dos ensaios mostrou que, comprovando o que já havia sido apresentado por Fácio (1991), Almeida (2104), o solo apresenta maior erodibilidade nos primeiros minutos, até aproximadamente 20 minutos, e em seguida tendem a ser constante.

Figura 34 - Massa de solo erodida acumulada, amostras B1, B2, B3, B4, B5 e B6



Neste estudo identificou-se que as amostras B1 e B2 apresentaram a maior quantidade de solo erodido, sendo 15,84 g e 24,82 g para B1 e B2, respectivamente. Em contrapartida as amostras com menos massa de solo desprendida foram as amostras B4 e B6, com 3,88 g e 4,52 g, respectivamente, ao final de 60 minutos. Assim, constatou-se que para maiores tendências de erodibilidade não houve padronização entre amostras com cobertura ou sem cobertura, porém, as amostras com menor desagregação foram aquelas ensaiadas com a proteção da biomanta (B4 e B6).

As Figuras 35 e 36 apresentam os valores de erodibilidade separadamente entre as amostras sem cobertura vegetal (Figura 35) e com proteção da biomanta (Figura 36).

Figura 35 - Massa de solo acumulada erodida, amostras sem proteção B1, B3 e B5

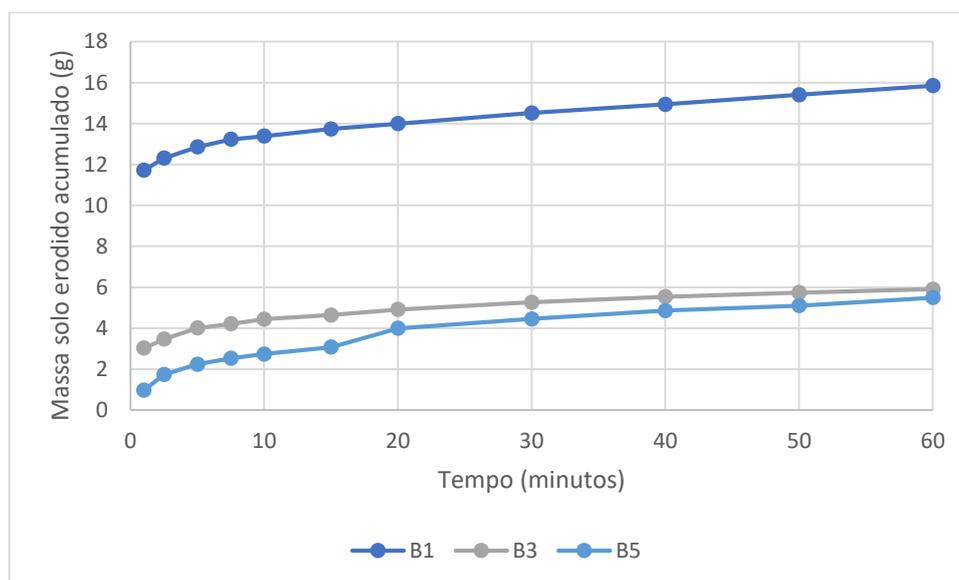
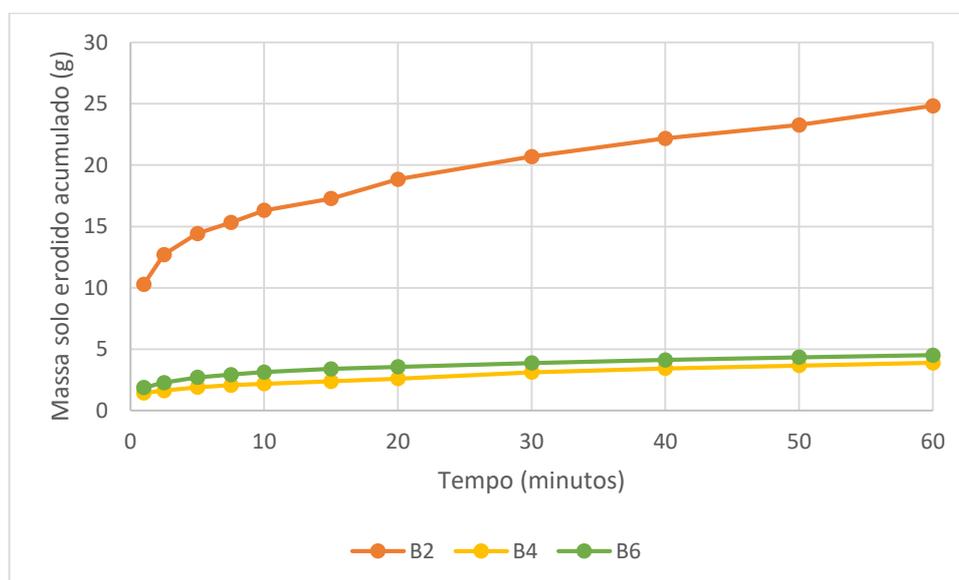


Figura 36 - Massa de solo acumulada erodida, amostras com proteção B2, B4 e B6



5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi confeccionada uma biomanta com epicarpo do coco babaçu sustentada por tela de polipropileno fotodegradável, que tem como principal função a proteção de taludes de solo contra erosão.

A manta foi disposta em um talude natural e comparado com taludes sem proteção. Após os ensaios de captação de água e solo do talude verificou-se que a aplicação de biomanta em taludes oferece proteção imediata do solo, absorvendo água e reduzindo o escoamento superficial no solo, pois os a captação de água da chuva em blocos com a manta foi 32% menor que em talude sem proteção da manta. Além disso, a quantidade de solo desprendida do talude com proteção da biomanta foi 80% menor que nos taludes protegidos apenas por grama.

Este comportamento comprova que taludes com a colocação superficial de biomanta estão protegidos das intempéries de forma instantânea, demonstrando que em ocasião da construção de obras de terra (corte ou aterro) em períodos de chuva, a implantação do geotêxtil natural é de suma importância para não haver carreamento de solo e possíveis erosões.

Como a biomanta natural tem uma vida útil menor que as mantas sintéticas, é de suma importância que as mesmas sejam instaladas juntamente com o plantio de grama. Este estudo comprovou que as gramas plantadas abaixo da manta se desenvolvem e posteriormente cobrem a manta.

O ensaio de Inderbitzem apresentou valores de erodibilidade do solo com e sem proteção da biomanta similares, este resultado provavelmente está relacionado ao fato do tamanho dos corpos de prova do ensaio que não reproduziram o comportamento de campo.

Além dos estudos da biomanta foi realizado ensaios para conhecimento do comportamento físico do epicarpo. A massa específica da fibra apresentou valor de 1,083 g/cm³, similar a outras fibras como sisal e juta.

A absorção de água pela fibra foi de 120% após 3 dias, valor superior a valores apresentados por outros autores, mostrando que o epicarpo de coco babaçu é muito eficiente na retenção da água e conseqüentemente diminuindo o escoamento da água de chuva e carreamento de solo no talude.

O epicarpo do coco babaçu apresentou degradação foi de 8,87 % após 105 dias de exposição ao sol e à chuva, valor superior ao do sisal. A resistência à tração da fibra foi 8,90 MPa e o alongamento 0,78%, valores inferiores à outras fibras como juta e coco.

Desta forma, o epicarpo do coco babaçu mostrou-se eficiente como componente de uma biomanta natural, assim como o coco, a juta e o sisal, que já são utilizados em escala industrial. A utilização desta fibra impactaria economicamente, de forma direta, os catadores de coco babaçu da região norte e nordeste do Brasil, além de dar uma destinação a essa fibra que é descartada após a extração das amêndoas.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- Determinação da degradação da fibra por um período de tempo maior que 1 ano;
- Verificação da resistência a tração da biomanta;
- Investigação da interação solo-manta
- Implantação da biomanta em solos com maior porcentagem de areia, pois estes apresentam, na grande maioria, maior potencial erosivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. G. R. **Erodibilidade de solos tropicais não saturados nos municípios de Senador Canedo e Bonfinópolis-GO**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Curso de Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

ARANTES, M. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu - uma contribuição para a sustentabilidade**. 2020, 80 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

ASMUBIP - Associação Regional de Mulheres Trabalhadoras Rurais do Bico do Papagaio. **A palmeira Babaçu**. Disponível em: <<http://www.asmubip.org.br/babacu/a-palmeira/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

AMERIACAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)**. Philadelphia. ASTM, 2000. (ASTM D 2487-00).

AMERIACAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes**. Philadelphia. ASTM, 2015. (ASTM D 3282-15).

AMERIACAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method**. Philadelphia. ASTM, 2010. (ASTM D 2256-10).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Grãos e pedregulhos retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. (ABNT NBR 6458:2016 Errata 2:2017).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, ABNT, 2017. (ABNT NBR 6459: 2016 – Versão corrigida 2017).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solos e Rochas - terminologia**. Rio de Janeiro, ABNT, 2022. (ABNT NBR 6502:2022).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, ABNT, 2017. (ABNT NBR 7180: 2006).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.(ABNT NBR 7181:2016 Errata 2018).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Geossintéticos Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, ABNT, 2018. (ABNT NBR ISO 10318-1: 2018 Emenda 1:2021).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, ABNT, 2019. (ABNT NBR 11682: 2009).

BARRELA, C. **Aplicação de Geossintéticos no Controle da Erosão Superficial e Costeira**. Relatório 206/2007 – NGE, LNEC, Departamento de Geotecnia, Núcleo de Geologia de Engenharia, Lisboa, Portugal, 51p. maio. 2007. Disponível em:

<http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/16061/Rel206_07.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 16 nov 2020.

BASTOS, C. A. B. **Estudo Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais não Saturados**. 1999. 303p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2978/000242000.pdf?sequence=1> Acesso em 22 nov 2019.

BASU, G. et al. Bioengineering of river earth embankment using natural fibre-based composite-structured geotextiles. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 47, n. 4, p. 493-501, 2019. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.03.002>> Acesso em: 25 jun 2022.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 10.ed. São Paulo: Ícone, 2017

CALDAS, B. G. S. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. 2014. 121 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. v. 2, ed. 6. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. da. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Babaçu (*Attalea spp.*)**. 2. ed. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). 68 p. 2012. Disponível em: < http://www.ispn.org.br/arquivos/Mont_babacu006.pdf >. Acesso em: 06 Mar. 2018

CARVALHO, J.C.; MELO, M. T. da S. **A erosão à luz da legislação ambiental**. In: CARVALHO, J.C.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro. 1ª ed. Brasília: FINATEC, 2006, v 1, 01-37p.

CARVALHO, M. M. de B; RODRIGUES, N. C. S. **Tijolo Ecológico de Solo Cimento Incorporado com Fibra de Coco de Babaçu**. 2017. 75p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Araguaína.

CINELLI, B. A.; LÓPEZ, J. A.; CASTILHO, L. R.; FREIRE, D. M. G.; CASTRO, A. M. Granular starch hydrolysis of babassu agroindustrial residue: A bioprocess within the context of biorefinery. **Fuel**, v.124, p.41–48, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.076>> Acesso em 16 set 2022

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em :< <https://docplayer.com.br/5142141-Monografia-sustentabilidade-na-construcao-civil-autor-lasaro-roberto-correa-orientador-prof-jose-claudio-nogueira-vieira.html>> Acesso em: 12 abr. 2019

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica de análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs**. 2003. 99p. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-13042004-111210/publico/Vladia.pdf>> Acesso em: 5 abr 2020.

COSTA, B.C.A.A.; COSTA, M.C.A; GONZAGA, G.B.M. Utilização de geossintéticos como elemento de contenção de taludes: estudo de caso do uso de geogrelhas na recuperação da encosta do Murilópolis, no bairro da Serraria, Maceió/AL. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 17 a 19 de Setembro, 2019, Palmas, TO. **Resumos...**

COUTO, B. O. C. **Análise de Erodibilidade em Taludes com Horizontes Resistentes e Suscetíveis aos Processos Erosivos**. 2015. 124p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

DESAI, A. N.; KANT, Ravi. Geotextiles made from natural fibres. In: **Geotextiles**. Woodhead Publishing, 2016. p. 61-87. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100221-6.00004-8>> Acesso em: 03 fev 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro. 1997. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>> Acesso em: 26 ago 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Babaçu: Programa Nacional de Pesquisa**. Departamento de Orientação e Apoio à Programação de Pesquisa. Brasília .1984. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/51263>> acesso em 15 abr 2018.

FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Universidade de Brasília, Brasília.

Franco, F.J.P. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra**. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12697>> Acesso em: 15 set 2022.

GARCEZ, M. R.; MACHADO, A. O.; GARCEZ, E. O.; GATTO, D. A. Tijolos leves para alvenaria produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23 n.3, p. 607-614, maio/jun 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522018154695>> Acesso em: 18 maio 2021.

GOMES, F.S. **Estudo da Erodibilidade e Parâmetros Geotécnicos de um Solo em Processo Erosivo**. 2001. 207p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Geociências) Universidade Federal Pernambuco. Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5852/1/arquivo6729_1.pdf> Acesso em: 09 ago. 2020.

HEIDEMANN, M. **Mapeamento Geotécnico de um Vetor de Expansão Urbana do Município de Tubarão – SC**. 2008. 178p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

HOBBSAWN, Eric J. **A era das revoluções: Europa 1789 -1848**. Tradução de Maria Tereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014. P.59

HSIEH, Chiwan; HUANG, Muji. Fundamentals of erosion control on slopes and the role of geosynthetics. In: European Geosynthetics Conference, 6th, September 25-28, 2016, Malaga, Spain. **Anais...** Disponível em: <https://library.geosyntheticsociety.org/wp-content/uploads/resources/proceedings/122021/Special_14.pdf> Acesso em: 22 fev 2021.

International Geosynthetics Society- IGS. **Classificação dos Geossintéticos**. Preparado por R.J. Bathurst Tradução: Marianna J.A. Mendes (*) (International Geosynthetics Society – IGS), 2020. Disponível em: <<https://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/04/1.pdf>> Acesso em: 10 fev 2021.

JOHN, M. J.; THOMAS, S.; Biofibers and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v.71, p.343–364, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>> Acesso em: 11 abr 2022.

KERNI, Love et al. A review on natural fiber reinforced composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 28, p. 1616-1621, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.851>> Acesso em: 25 jun 2022.

LÜDTKE, J. R.; RODRIGUEZ, A. de A. L. Produção de biomantas com resíduo da indústria fumageira. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21., 9 a 13 de novembro, 2014, Cuiabá, MT. **Anais...** Disponível em: <<https://docplayer.com.br/88268974-Producao-de-biomantas-com-residuo-da-industria-fumageira-jeane-roberta-ludtke-adriane-de-assis-lawisch-rodriguez.html>> Acesso em: 9 de ago 2019.

MARIANI, P. P. **Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes**. 2016. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/165152>> Acesso em: 18 jun 2019.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros**, v.18 n.2 São Carlos Apr./June 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200005>> Acesso em: 03 ago 2019.

MENEZES, M. B. M. & PEJON, O. J. Análise da Influência do Teor de Umidade na Absorção D'água e Sucção dos Solos em Estudos de Erodibilidade. **Geociências**, UNESP, São Paulo, 29(2): 211-228, 2010. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3994>> Acesso em: 23 set 2019.

MELO, J. F. G. **Utilização de Geossintético no Controle da Erosão**. 2016. 61p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/utilizacao-de-geossintetico-no-controle-da-erosao.pdf Acesso em: 03 fev 2020.

MELO, M. T. da Silva. **Utilização de geossintéticos para controle de erosão superficial hídrica em face de talude**. (2020). 152p. Tese (Doutorado em Geotecnia) Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/39400>> Acesso em: 15 dez 2020

METHACANON, P.; Weerawatsophon, U.; Sumransin, N.; Prahsarn, C.; Bergado, D.T. Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1090-1096, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.036>> Acesso em: 27 maio 2022

MINUZZO, S. **Análise das características do solo de Francisco Beltrão-PR e suas influências nas inundações do perímetro urbano**. 2016. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2207> Acesso em: 22 set 2019

OLIVEIRA, A.K.F. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito**

poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos. 2011. 251 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) Pontifícia Universidade Católica - RIO. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/55568/55568_1.PDF Acesso em: 17 mar 2018.

OLIVEIRA, A. M. R. da S. **Caracterização da fibra de licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari) para aplicações na construção civil.** 2010, 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia. Salvador. Disponível em: < <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/18466>> Acesso em: 08 set 2019

PRAMBAUER, M.; Wendeler, C.; Weitzenböck, J.; Burgstaller, C. Biodegradable geotextiles—An overview of existing and potential materials. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 47, n. 1, p. 48-59, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.09.006>> Acesso em: 16 abr 2022.

RAO, G.; BALAN, K.; DUTTA, R. Characterisation of natural geotextiles. *International Journal of Geotechnical Engineering*, v. 3, n. 2, p. 261-270, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.3328/IJGE.2009.03.02.261-270>> Acesso em: 28 out 2021.

RODIER, L.; CORREIA, V. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Elaboration of ecoefficient vegetable fibers reinforced cement-based composites using glass powder residue. **Cement and Concrete Composites**, Vol. 110, July 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103599>> Acesso em: 13 jun 2021.

SIEIRA, A. C. C. **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Georelha.** 2003. 363p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil: Geotecnia). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=4295@1>>. Acesso em 27 set 2020.

SILVA, J.C.D.S.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Estudo comparativo entre técnicas de proteção superficial de taludes situados na rodovia SP-263: biomanta, hidrossemeadura e grama em placa. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS**, v. 7, 2018. Disponível em: <http://www.singep.org.br/7singep/resultado/83.pdf>> Acesso em: 15 out 2020.

SILVA, R. A. F. **Aplicação da Engenharia Natural na Estabilização de Taludes.** 2012. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade da Madeira. Portugal. Disponível em: <<https://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/535/1/MestradoRubenSilva.pdf>> Acesso em: 06 ago 2019.

Souza, Francisco Humberto Dubbern de; Cavallari, Marcelo Mattos; Gusmão, Marcos Rafael. **Produção comercial de sementes de *Paspalum notatum* var. *notatum*.** São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 22 p. Documentos 136.

2020. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213146/1/Documentos-136.pdf>> Acessado em 07 jul. 2021.

TANASĂ, Fulga; NECHIFOR, M.; IGNAT, M.; TEACĂ, C. Geotextiles—A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering.

Textiles, v. 2, n. 2, p. 189-208, 2022. Disponível em:

<<https://doi.org/10.3390/textiles2020011>> Acesso em: 12 out 2022.

TEIXEIRA, M. A. **Biomassa de babaçu no Brasil**. In Encontro de Energia no Meio Rural, 4, 2002. Campinas. **Proceedings online**. Disponível em: <<https://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0081.pdf>>. Acessado em: 11 nov. 2021.

TEIXEIRA, Marcos Alexandre. Babassu—A new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 9, p. 857-864, 2008.

UN-Habitat. World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization.

United Nations Human Settlements Programme. 418p. 2020. Disponível em

https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf Acesso em: 10/10/2022.

Weather Spark. **Clima e condições meteorológicas médias em Araguaína no ano todo**. <https://pt.weatherspark.com/y/30128/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Aragua%C3%ADna-Brasil-durante-o-ano> Acesso em: 01 de julho de 2022.

WU, C.; WANG, A., Soil loss and soil conservation measures on steep sloping orchards. Conference of the International Soil Conservation Organization (ISCO), 9th. August 26-30, 1996, Bonn, Germany. **Proceedings...**

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Volume de água e massa de solo coletados diariamente nos dias de chuva

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	12/02/2022	º DA AMOSTR	1
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	TARA DO RECIPIENTE (G)	PESO TOTAL (G)	PESO SOLO TOTAL (G)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	0,93	A1	188,43	190,51	2,08	2,03	8,11
	1	1.2	1,10	A2	185,29	187,25	1,96		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,95	179,58	1,63		
	26,00	1.4	1,16	A4	189,93	192,37	2,44		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	185,03	187,41	2,38	2,80	11,19
	2	1.2	1,00	B2	187,49	189,97	2,48		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,14	196,62	3,48		
	14,00	1.4	1,00	B4	184,70	187,55	2,85		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,49	189,86	2,37	2,04	8,18
	3	1.2	1,00	C2	185,82	187,82	2,00		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,21	185,13	1,92		
	9,30	1.4	1,00	C4	185,05	186,94	1,89		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,89	185,12	3,23	2,62	10,48
	4	1.2	1,00	D2	193,67	195,87	2,20		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,36	242,22	1,86		
	6,73	1.4	1,00	D4	245,74	248,93	3,19		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,86	221,85	1,99	2,61	10,45
	5	1.2	1,00	E2	213,39	215,65	2,26		
	Volume total	1.3	1,00	E3	222,06	224,65	2,59		
	22,00	1.4	1,00	E4	223,53	227,14	3,61		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,90	191,37	0,47	0,48	1,90
	6	1.2	1,00	B5	189,47	189,93	0,46		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,47	177,94	0,47		
	6,00	1.4	1,00	D5	242,49	242,99	0,50		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	13/02/2022	º DA AMOSTR	2
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	TARA DO RECIPIENTE (G)	PESO TOTAL (G)	PESO SOLO TOTAL (G)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,41	190,51	2,10	2,40	9,59
	1	1.2	1,00	A2	185,27	187,41	2,14		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,93	180,79	2,86		
	19,00	1.4	1,00	A4	189,91	192,39	2,48		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	185,02	186,37	1,35	1,48	5,93
	2	1.2	1,00	B2	187,47	188,79	1,32		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,12	194,70	1,58		
	14,00	1.4	1,00	B4	184,68	186,36	1,68		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,46	189,33	1,87	1,82	7,30
	3	1.2	1,00	C2	185,80	188,12	2,32		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,18	184,83	1,65		
	9,50	1.4	1,00	C4	185,03	186,48	1,45		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,87	185,39	3,52	2,59	10,37
	4	1.2	1,00	D2	193,64	197,28	3,64		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,33	241,97	1,64		
	7,60	1.4	1,00	D4	245,70	247,27	1,57		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,84	221,70	1,86	1,59	6,37
	5	1.2	1,00	E2	213,36	215,13	1,77		
	Volume total	1.3	1,00	E3	222,03	223,42	1,39		
	15,50	1.4	1,00	E4	223,50	224,85	1,35		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,89	191,24	0,35	0,36	1,44
	6	1.2	1,00	B5	189,45	189,80	0,35		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,46	177,79	0,33		
	8,50	1.4	1,00	D5	242,48	242,89	0,41		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	16/02/2022	º DA AMOSTR	3
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela 1	1.1	1,00	A1	188,39	189,67	2,28	2,33	9,33
		1.2	1,00	A2	185,24	187,72	2,48		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,91	180,03	2,12		
	64,00	1.4	1,00	A4	189,88	192,33	2,45		
Com manta	Parcela 2	1.1	1,00	B1	185,00	186,19	1,19	1,13	4,51
		1.2	1,00	B2	187,45	188,59	1,14		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,11	194,22	1,11		
	55,00	1.4	1,00	B4	184,66	185,73	1,07		
Sem Manta	Parcela 3	1.1	1,00	C1	187,44	189,17	1,73	1,71	6,85
		1.2	1,00	C2	185,77	187,46	1,69		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,14	184,78	1,64		
	42,00	1.4	1,00	C4	185,01	186,80	1,79		
Com manta	Parcela 4	1.1	1,00	D1	181,84	182,98	1,14	1,15	4,62
		1.2	1,00	D2	193,61	194,68	1,07		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,29	241,43	1,14		
	49,00	1.4	1,00	D4	245,66	246,94	1,28		
Sem manta	Parcela 5	1.1	1,00	E1	219,82	221,55	1,73	1,76	7,03
		1.2	1,00	E2	213,34	215,19	1,85		
	Volume total	1.3	1,00	E3	222,00	223,75	1,75		
	77,00	1.4	1,00	E4	223,47	225,17	1,70		
Com manta	Parcela 6	1.1	1,00	A5	190,88	191,18	0,30	0,31	1,25
		1.2	1,00	B5	189,44	189,71	0,27		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,44	177,79	0,35		
	47,00	1.4	1,00	D5	242,47	242,79	0,32		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	17/02/2022	º DA AMOSTR	4
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela 1	1.1	1,00	A1	188,36	189,80	1,44	1,66	6,64
		1.2	1,00	A2	185,22	186,99	1,77		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,89	179,71	1,82		
	39,00	1.4	1,00	A4	189,86	191,47	1,61		
Com manta	Parcela 2	1.1	1,00	B1	184,99	185,47	0,48	0,52	2,09
		1.2	1,00	B2	187,44	188,07	0,63		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,09	193,60	0,51		
	35,00	1.4	1,00	B4	184,64	185,11	0,47		
Sem Manta	Parcela 3	1.1	1,00	C1	187,41	188,67	1,26	1,21	4,84
		1.2	1,00	C2	185,75	187,09	1,34		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,11	184,21	1,10		
	30,00	1.4	1,00	C4	184,99	186,12	1,13		
Com manta	Parcela 4	1.1	1,00	D1	181,82	182,27	0,45	0,60	2,40
		1.2	1,00	D2	193,58	194,14	0,56		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,26	240,92	0,66		
	36,00	1.4	1,00	D4	245,63	246,36	0,73		
Sem manta	Parcela 5	1.1	1,00	E1	219,79	221,15	1,36	1,20	4,80
		1.2	1,00	E2	213,31	214,68	1,37		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,97	222,98	1,01		
	49,00	1.4	1,00	E4	223,45	224,51	1,06		
Com manta	Parcela 6	1.1	1,00	A5	190,86	191,47	0,61	0,59	2,35
		1.2	1,00	B5	189,42	189,99	0,57		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,43	177,94	0,51		
	38,00	1.4	1,00	D5	242,45	243,12	0,67		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	19/02/2022	º DA AMOSTR	5
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	ESQ TOTAL (g)	ESQ SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,34	190,74	2,40	2,55	10,19
	1	1.2	1,00	A2	185,20	187,36	2,16		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,87	180,59	2,72		
	141,00	1.4	1,00	A4	189,83	192,74	2,91		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,98	185,43	0,45	0,45	1,79
	2	1.2	1,00	B2	187,42	187,97	0,55		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,07	193,47	0,40		
	110,00	1.4	1,00	B4	184,62	185,01	0,39		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,38	189,06	1,68	1,71	6,82
	3	1.2	1,00	C2	185,72	187,38	1,66		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,08	184,75	1,67		
	90,00	1.4	1,00	C4	184,97	186,78	1,81		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,79	182,31	0,52	0,39	1,57
	4	1.2	1,00	D2	193,55	193,97	0,42		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,23	240,59	0,36		
	96,00	1.4	1,00	D4	245,59	245,86	0,27		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,77	220,55	0,78	0,79	3,15
	5	1.2	1,00	E2	213,28	214,08	0,80		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,94	222,75	0,81		
	134,00	1.4	1,00	E4	223,42	224,18	0,76		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,85	191,23	0,38	0,36	1,43
	6	1.2	1,00	B5	189,40	189,78	0,38		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,41	177,73	0,32		
	109,00	1.4	1,00	D5	242,44	242,80	0,36		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	02/03/2022	º DA AMOSTR	6
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	ESQ TOTAL (g)	ESQ SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,32	190,74	2,42	2,57	10,28
	1	1.2	1,00	A2	185,18	187,36	2,18		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,85	180,59	2,74		
	55,00	1.4	1,00	A4	189,81	192,74	2,93		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,96	185,43	0,47	0,47	1,86
	2	1.2	1,00	B2	187,40	187,97	0,57		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,05	193,47	0,42		
	43,00	1.4	1,00	B4	184,60	185,01	0,41		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,36	189,06	1,70	1,73	6,93
	3	1.2	1,00	C2	185,70	187,38	1,68		
	Volume total	1.3	1,00	C3	183,04	184,75	1,71		
	35,00	1.4	1,00	C4	184,94	186,78	1,84		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,77	182,31	0,54	0,42	1,69
	4	1.2	1,00	D2	193,52	193,97	0,45		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,19	240,59	0,40		
	30,00	1.4	1,00	D4	245,55	245,86	0,31		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,75	220,55	0,80	0,81	3,26
	5	1.2	1,00	E2	213,26	214,08	0,82		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,91	222,75	0,84		
	50,00	1.4	1,00	E4	223,39	224,18	0,79		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,84	191,23	0,39	0,37	1,48
	6	1.2	1,00	B5	189,39	189,78	0,39		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,40	177,73	0,33		
	25,00	1.4	1,00	D5	242,43	242,80	0,37		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	04/03/2022	º DA AMOSTR	7
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1		188,30	193,05	5,05	20,21
	1	1.2	1,00	A2		185,15	191,93		
	Volume total	1.3	1,00	A3		177,83	182,43		
	30,00	1.4	1,00	A4		189,79	193,86		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1		184,95	188,87	3,95	15,82
	2	1.2	1,00	B2		187,38	190,88		
	Volume total	1.3	1,00	B3		193,04	196,81		
	13,00	1.4	1,00	B4		184,58	189,21		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1		187,33	190,24	3,13	12,53
	3	1.2	1,00	C2		185,68	188,31		
	Volume total	1.3	1,00	C3		183,01	186,30		
	18,00	1.4	1,00	C4		184,92	188,62		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1		181,75	182,64	0,74	2,97
	4	1.2	1,00	D2		193,49	194,10		
	Volume total	1.3	1,00	D3		240,16	241,02		
	17,00	1.4	1,00	D4		245,51	246,12		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1		219,73	221,70	2,96	11,85
	5	1.2	1,00	E2		213,23	216,71		
	Volume total	1.3	1,00	E3		221,88	225,67		
	30,00	1.4	1,00	E4		223,36	225,97		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5		190,83	191,85	0,88	3,54
	6	1.2	1,00	B5		189,37	190,25		
	Volume total	1.3	1,00	C5		177,39	178,15		
	13,00	1.4	1,00	D5		242,42	243,29		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	08/03/2022	º DA AMOSTR	8
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1		188,27	191,74	4,14	16,56
	1	1.2	1,00	A2		185,13	189,72		
	Volume total	1.3	1,00	A3		177,81	182,50		
	49,00	1.4	1,00	A4		189,76	193,57		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1		184,94	187,61	2,44	9,76
	2	1.2	1,00	B2		187,37	190,01		
	Volume total	1.3	1,00	B3		193,02	195,08		
	27,00	1.4	1,00	B4		184,56	186,94		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1		187,30	188,94	2,11	8,45
	3	1.2	1,00	C2		185,65	188,45		
	Volume total	1.3	1,00	C3		182,98	184,78		
	28,50	1.4	1,00	C4		184,90	187,11		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1		181,72	182,15	0,52	2,06
	4	1.2	1,00	D2		193,46	193,89		
	Volume total	1.3	1,00	D3		240,13	240,66		
	27,00	1.4	1,00	D4		245,48	246,15		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1		219,70	222,55	2,68	10,74
	5	1.2	1,00	E2		213,20	215,64		
	Volume total	1.3	1,00	E3		221,85	224,27		
	51,00	1.4	1,00	E4		223,34	226,37		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5		190,81	191,21	0,39	1,55
	6	1.2	1,00	B5		189,35	189,66		
	Volume total	1.3	1,00	C5		177,37	177,85		
	22,00	1.4	1,00	D5		242,41	242,78		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	09/03/2022	º DA AMOSTR	9
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (€)	RESO SOLO TOTAL (€)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,25	191,21	2,96	2,95	11,81
	1	1.2	1,00	A2	185,11	187,51	2,40		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,79	180,79	3,00		
	81,00	1.4	1,00	A4	189,74	193,18	3,44		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,92	186,13	1,21	1,24	4,95
	2	1.2	1,00	B2	187,35	188,62	1,27		
	Volume total	1.3	1,00	B3	193,00	194,38	1,38		
	49,00	1.4	1,00	B4	184,54	185,63	1,09		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,28	188,97	1,69	1,68	6,71
	3	1.2	1,00	C2	185,63	187,41	1,78		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,94	184,65	1,71		
	41,00	1.4	1,00	C4	184,88	186,41	1,53		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,70	182,12	0,42	0,38	1,54
	4	1.2	1,00	D2	193,43	193,85	0,42		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,09	240,48	0,39		
	59,00	1.4	1,00	D4	245,44	245,75	0,31		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,68	221,93	2,25	2,33	9,31
	5	1.2	1,00	E2	213,18	215,31	2,13		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,82	223,90	2,08		
	95,00	1.4	1,00	E4	223,31	226,15	2,84		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,80	191,18	0,38	0,38	1,54
	6	1.2	1,00	B5	189,34	189,77	0,43		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,36	177,71	0,35		
	54,00	1.4	1,00	D5	242,40	242,77	0,37		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	10/03/2022	º DA AMOSTR	10
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (€)	RESO SOLO TOTAL (€)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,23	192,53	4,30	3,71	14,83
	1	1.2	1,00	A2	185,08	189,15	4,07		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,76	180,79	3,03		
	70,00	1.4	1,00	A4	189,71	193,15	3,44		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,91	186,06	1,15	1,40	5,59
	2	1.2	1,00	B2	187,33	188,73	1,40		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,99	194,59	1,60		
	43,00	1.4	1,00	B4	184,52	185,96	1,44		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,25	189,89	2,64	2,79	11,18
	3	1.2	1,00	C2	185,60	188,26	2,66		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,91	185,91	3,00		
	35,00	1.4	1,00	C4	184,86	187,74	2,88		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,67	182,27	0,60	0,56	2,22
	4	1.2	1,00	D2	193,41	193,97	0,56		
	Volume total	1.3	1,00	D3	240,06	240,50	0,44		
	50,00	1.4	1,00	D4	245,40	246,02	0,62		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,66	222,80	3,14	3,48	10,43
	5	1.2	0,00	E2	213,15	-	-		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,78	225,16	3,38		
	78,00	1.4	1,00	E4	223,28	227,19	3,91		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,79	191,32	0,53	0,63	2,50
	6	1.2	1,00	B5	189,32	189,89	0,57		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,34	178,08	0,74		
	52,00	1.4	1,00	D5	242,38	243,05	0,67		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	11/03/2022	º DA AMOSTR	11
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,21	189,73	1,52	1,57	6,28
	1	1.2	1,00	A2	185,06	186,25	1,19		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,74	179,07	1,33		
	8,00	1.4	1,00	A4	189,69	191,93	2,24		
Com manta	Parcela	1.1	0,80	B1	184,89	185,83	0,94	0,48	1,93
	2	1.2	0,80	B2	187,31	187,99	0,68		
	Volume total	1.3	0,80	B3	192,97	193,13	0,16		
	3,30	1.4	0,80	B4	184,50	184,66	0,16		
Sem Manta	Parcela	1.1	0,85	C1	187,23	189,31	2,08	2,08	2,08
	3	1.2	0,00	C2	185,58	0,00	-		
	Volume total	1.3	0,00	C3	182,87	0,00	-		
	1,00	1.4	0,00	C4	184,84	0,00	-		
Com manta	Parcela	1.1	0,65	D1	181,65	182,88	1,23	0,46	1,85
	4	1.2	0,65	D2	193,38	193,58	0,20		
	Volume total	1.3	0,65	D3	240,02	240,30	0,28		
	2,70	1.4	0,65	D4	245,36	245,50	0,14		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,64	220,90	1,26	1,95	7,81
	5	1.2	1,00	E2	213,13	215,77	2,64		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,75	224,37	2,62		
	6,25	1.4	1,00	E4	223,25	224,54	1,29		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	A5	190,78	0,00	-	-	-
	6	1.2	0,00	B5	189,31	0,00	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,33	0,00	-		
	0,00	1.4	0,00	D5	242,37	0,00	-		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	16/03/2022	º DA AMOSTR	12
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,18	189,28	1,10	1,67	6,69
	1	1.2	1,00	A2	185,04	186,40	1,36		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,72	180,04	2,32		
	39,00	1.4	1,00	A4	189,66	191,58	1,92		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,88	185,39	0,51	0,49	1,96
	2	1.2	1,00	B2	187,30	187,81	0,51		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,95	193,40	0,45		
	24,00	1.4	1,00	B4	184,48	184,97	0,49		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,20	189,89	2,69	2,30	9,21
	3	1.2	1,00	C2	185,55	187,90	2,35		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,84	185,06	2,22		
	14,00	1.4	1,00	C4	184,82	186,77	1,95		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,62	182,62	1,00	0,62	2,47
	4	1.2	1,00	D2	193,35	193,96	0,61		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,99	240,49	0,50		
	12,00	1.4	1,00	D4	245,33	245,69	0,36		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,61	223,55	3,94	2,89	11,58
	5	1.2	1,00	E2	213,10	215,62	2,52		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,72	224,12	2,40		
	30,00	1.4	1,00	E4	223,23	225,95	2,72		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	A5	190,76	-	-	-	-
	6	1.2	0,00	B5	189,29	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,31	-	-		
	0,00	1.4	0,00	D5	242,36	-	-		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	17/03/2022	º DA AMOSTR	13
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,16	188,57	2,41	2,90	11,58
	1	1.2	1,00	A2	185,01	188,55	3,54		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,70	179,67	1,97		
	17,00	1.4	1,00	A4	189,64	193,31	3,67		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,87	186,71	1,84	1,53	6,14
	2	1.2	1,00	B2	187,28	188,53	1,25		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,94	194,43	1,49		
	9,40	1.4	1,00	B4	184,46	186,01	1,55		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,17	190,34	3,17	2,45	9,78
	3	1.2	1,00	C2	185,53	187,60	2,07		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,81	184,52	1,71		
	7,25	1.4	1,00	C4	184,80	187,63	2,83		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,60	182,32	0,72	0,80	3,20
	4	1.2	1,00	D2	193,32	194,05	0,73		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,96	240,92	0,96		
	4,80	1.4	1,00	D4	245,29	246,07	0,78		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,59	222,47	2,88	2,46	9,83
	5	1.2	1,00	E2	213,07	214,97	1,90		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,69	225,41	3,72		
	15,00	1.4	1,00	E4	223,20	224,54	1,34		
Com manta	Parcela	1.1	0,80	A5	190,75	191,01	0,26	0,26	0,26
	6	1.2	0,00	B5	189,27	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,30	-	-		
	0,80	1.4	0,00	D5	242,35	-	-		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	19/03/2022	º DA AMOSTR	14
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,14	193,06	4,92	3,08	12,30
	1	1.2	1,00	A2	184,99	187,40	2,41		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,68	180,28	2,60		
	17,00	1.4	1,00	A4	189,62	191,99	2,37		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,85	185,86	1,01	0,96	3,84
	2	1.2	1,00	B2	187,26	188,31	1,05		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,92	193,68	0,76		
	9,20	1.4	1,00	B4	184,44	185,46	1,02		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,15	189,06	1,91	4,14	16,56
	3	1.2	1,00	C2	185,51	189,22	3,71		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,77	188,06	5,29		
	7,60	1.4	1,00	C4	184,77	190,42	5,65		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,58	181,24	-0,34	0,81	3,23
	4	1.2	1,00	D2	193,29	194,08	0,79		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,92	241,92	2,00		
	4,90	1.4	1,00	D4	245,25	246,03	0,78		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,57	221,16	1,59	3,04	12,17
	5	1.2	1,00	E2	213,05	215,18	2,13		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,66	225,00	3,34		
	15,90	1.4	1,00	E4	223,17	228,28	5,11		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	A5	190,74	-	-	-	-
	6	1.2	0,00	B5	189,26	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,29	-	-		
	0,00	1.4	0,00	D5	242,34	-	-		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	23/03/2022	º DA AMOSTR	15
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (€)	RESO SOLO TOTAL (€)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,12	189,85	1,73	2,17	8,66
	1	1.2	1,00	A2	184,97	186,99	2,02		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,66	180,18	2,52		
	123,00	1.4	1,00	A4	189,59	191,98	2,39		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,84	185,37	0,53	0,58	2,31
	2	1.2	1,00	B2	187,24	187,80	0,56		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,90	193,48	0,58		
	76,00	1.4	1,00	B4	184,42	185,06	0,64		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,12	189,34	2,22	2,72	10,87
	3	1.2	1,00	C2	185,48	188,40	2,92		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,74	185,17	2,43		
	68,00	1.4	1,00	C4	184,75	188,06	3,31		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,55	181,85	0,30	0,28	1,14
	4	1.2	1,00	D2	193,26	193,56	0,30		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,89	240,17	0,28		
	82,00	1.4	1,00	D4	245,21	245,47	0,26		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,55	220,67	1,12	1,12	4,50
	5	1.2	1,00	E2	213,02	214,27	1,25		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,63	222,75	1,12		
	129,00	1.4	1,00	E4	223,14	224,15	1,01		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,73	190,98	0,25	0,28	1,14
	6	1.2	1,00	B5	189,24	189,51	0,27		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,27	177,52	0,25		
	50,00	1.4	1,00	D5	242,33	242,69	0,36		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	26/03/2022	º DA AMOSTR	16
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (€)	RESO SOLO TOTAL (€)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,09	190,82	2,73	3,12	12,46
	1	1.2	1,00	A2	184,95	188,69	3,74		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,64	181,70	4,06		
	22,00	1.4	1,00	A4	189,57	191,50	1,93		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,83	185,76	0,93	1,13	4,50
	2	1.2	1,00	B2	187,23	188,27	1,04		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,88	193,91	1,03		
	10,70	1.4	1,00	B4	184,40	185,90	1,50		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,09	190,02	2,93	3,50	14,00
	3	1.2	1,00	C2	185,46	187,51	2,05		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,71	186,47	3,76		
	9,30	1.4	1,00	C4	184,73	189,99	5,26		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,53	183,07	1,54	1,17	4,67
	4	1.2	1,00	D2	193,23	193,90	0,67		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,86	241,41	1,55		
	9,00	1.4	1,00	D4	245,18	246,08	0,90		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,52	221,37	1,85	2,33	9,31
	5	1.2	1,00	E2	212,99	215,29	2,30		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,60	223,61	2,01		
	18,00	1.4	1,00	E4	223,12	226,27	3,15		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,71	191,06	0,35	0,46	1,84
	6	1.2	1,00	B5	189,22	189,48	0,26		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,26	178,19	0,93		
	3,50	1.4	1,00	D5	242,31	242,62	0,31		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	29/03/2022	º DA AMOSTR	17
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,07	190,56	2,49	2,85	11,40
	1	1.2	1,00	A2	184,92	188,28	3,36		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,62	180,00	2,38		
	91,00	1.4	1,00	A4	189,54	192,72	3,18		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,81	185,16	0,35	0,41	1,64
	2	1.2	1,00	B2	187,21	187,59	0,38		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,87	193,33	0,46		
	50,00	1.4	1,00	B4	184,38	184,83	0,45		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	187,07	188,12	1,05	1,21	4,84
	3	1.2	1,00	C2	185,43	186,61	1,18		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,67	184,01	1,34		
	49,00	1.4	1,00	C4	184,71	185,99	1,28		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,50	181,72	0,22	0,29	1,15
	4	1.2	1,00	D2	193,20	193,51	0,31		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,82	240,15	0,33		
	62,00	1.4	1,00	D4	245,14	245,43	0,29		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,50	220,45	0,95	1,19	4,77
	5	1.2	1,00	E2	212,97	214,32	1,35		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,57	223,06	1,49		
	99,00	1.4	1,00	E4	223,09	224,07	0,98		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,70	190,93	0,23	0,25	1,02
	6	1.2	1,00	B5	189,21	189,42	0,21		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,24	177,48	0,24		
	28,00	1.4	1,00	D5	242,30	242,64	0,34		

		DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO				DATA	04/04/2022	º DA AMOSTR	18
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,05	189,51	1,46	1,22	4,87
	1	1.2	1,00	A2	184,90	186,27	1,37		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,60	178,69	1,09		
	4,60	1.4	1,00	A4	189,52	190,47	0,95		
Com manta	Parcela	1.1	0,90	B1	184,80	185,52	0,72	0,59	1,18
	2	1.2	0,90	B2	187,19	187,65	0,46		
	Volume total	1.3	0,00	B3	192,85	-	-		
	2,00	1.4	0,00	B4	184,36	-	-		
Sem Manta	Parcela	1.1	0,80	C1	187,04	191,38	4,34	2,88	5,75
	3	1.2	0,80	C2	185,41	186,82	1,41		
	Volume total	1.3	0,00	C3	182,64	-	-		
	1,60	1.4	0,00	C4	184,69	-	-		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	D1	181,48	-	-	-	-
	4	1.2	0,00	D2	193,17	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	D3	239,79	-	-		
	0,00	1.4	0,00	D4	245,10	-	-		
Sem manta	Parcela	1.1	0,80	E1	219,48	221,72	2,24	2,01	8,05
	5	1.2	0,80	E2	212,94	214,48	1,54		
	Volume total	1.3	0,80	E3	221,54	223,27	1,73		
	3,30	1.4	0,80	E4	223,06	225,60	2,54		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	A5	190,69	-	-	-	-
	6	1.2	0,00	B5	189,19	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,23	-	-		
	0,00	1.4	0,00	D5	242,29	-	-		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	12/04/2022	º DA AMOSTR	19
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,03	201,37	13,34	13,83	55,33
	1	1.2	1,00	A2	184,88	196,35	11,47		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,58	195,33	17,75		
	8,00	1.4	1,00	A4	189,50	202,26	12,76		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,79	187,25	2,46	1,85	7,41
	2	1.2	1,00	B2	187,17	189,77	2,60		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,83	193,99	1,16		
	4,10	1.4	1,00	B4	184,34	185,53	1,19		
Sem Manta	Parcela	1.1	0,80	C1	187,01	188,35	1,34	6,51	26,04
	3	1.2	0,80	C2	185,39	186,44	1,05		
	Volume total	1.3	0,80	C3	182,61	196,98	14,37		
	3,30	1.4	0,80	C4	184,67	193,94	9,27		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	D1	181,46	-	-	3,27	6,54
	4	1.2	0,00	D2	193,14	-	-		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,76	243,27	3,51		
	2,05	1.4	1,00	D4	245,06	248,09	3,03		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,46	224,38	4,92	5,15	20,62
	5	1.2	1,00	E2	212,91	220,16	7,25		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,51	224,99	3,48		
	6,60	1.4	1,00	E4	223,03	228,00	4,97		
Com manta	Parcela	1.1	0,00	A5	190,68	-	-	-	-
	6	1.2	0,00	B5	189,17	-	-		
	Volume total	1.3	0,00	C5	177,22	-	-		
	0,00	1.4	0,00	D5	242,28	-	-		

	DADOS DO EXPERIMENTO EM CAMPO					DATA	17/04/2022	º DA AMOSTR	20
	IDENTIFICAÇÃO	AMOSTRAS	VOLUME (L)	NOME DO RECIPIENTE	RA DO RECIPIENTE	RESO TOTAL (g)	RESO SOLO TOTAL (g)	MÉDIA	SOMA
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	A1	188,01	202,21	14,20	9,57	38,26
	1	1.2	1,00	A2	184,85	192,29	7,44		
	Volume total	1.3	1,00	A3	177,56	187,23	9,67		
	50,00	1.4	1,00	A4	189,47	196,42	6,95		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	B1	184,77	187,62	2,85	2,60	10,41
	2	1.2	1,00	B2	187,15	189,50	2,35		
	Volume total	1.3	1,00	B3	192,82	195,26	2,44		
	40,00	1.4	1,00	B4	184,32	187,09	2,77		
Sem Manta	Parcela	1.1	1,00	C1	186,99	188,96	1,97	2,45	9,81
	3	1.2	1,00	C2	185,36	188,13	2,77		
	Volume total	1.3	1,00	C3	182,57	185,30	2,73		
	30,00	1.4	1,00	C4	184,65	186,99	2,34		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	D1	181,43	182,18	0,75	0,81	3,24
	4	1.2	1,00	D2	193,11	193,99	0,88		
	Volume total	1.3	1,00	D3	239,72	240,54	0,82		
	20,00	1.4	1,00	D4	245,02	245,82	0,80		
Sem manta	Parcela	1.1	1,00	E1	219,44	222,57	3,13	2,84	11,37
	5	1.2	1,00	E2	212,89	215,79	2,90		
	Volume total	1.3	1,00	E3	221,48	224,15	2,67		
	55,00	1.4	1,00	E4	223,00	225,67	2,67		
Com manta	Parcela	1.1	1,00	A5	190,67	191,51	0,84	1,02	4,09
	6	1.2	1,00	B5	189,16	189,98	0,82		
	Volume total	1.3	1,00	C5	177,20	177,95	0,75		
	6,20	1.4	1,00	D5	242,27	243,94	1,67		

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.
