



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE GEOTÊXTIL REVESTIDO COM LÁTEX COMO
ELEMENTO DE PROTEÇÃO EM SUPERFÍCIES AQUECIDAS**

**Tese submetida à
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**

CLARA SILVESTRE DE SOUZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ UBIRAGI DE LIMA MENDES

Natal, abril de 2017

CLARA SILVESTRE DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE GEOTÊXTIL REVESTIDO COM LÁTEX COMO
ELEMENTO DE PROTEÇÃO EM SUPERFÍCIES AQUECIDAS**

Tese apresentada ao PPGEM, da UFRN
como requisito para a obtenção parcial do título
de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes

**NATAL
ABRIL 2017**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Souza, Clara Silvestre de.

Desenvolvimento de geotêxtil revestido com látex como elemento de proteção em superfícies aquecidas / Clara Silvestre de Souza. - 2017.

144f.: il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes.

1. Fibras naturais – Tese. 2. Fibra de bananeira - Tese. 3. Geotêxtil - Tese. 4. Látex-
Tese. I. Mendes, José Ubiragi de Lima. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 677.1/.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE GEOTÊXTIL REVESTIDO COM LÁTEX COMO
ELEMENTO DE PROTEÇÃO EM SUPERFÍCIES AQUECIDAS**

CLARA SILVESTRE DE SOUZA

**Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de
DOUTOR(A) EM ENGENHARIA MECÂNICA
sendo aprovada em sua forma final.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes – UFRN

Prof. Dr. Moisés Vieira de Melo – UFRN

Prof. Dr. Natanaeyfle Randemberg Gomes dos Santos

Prof. Dra. Fernanda Alves Ribeiro - UFERSA

Prof. Dr. Elmo Thiago Lins Couras Ford

DEDICO:

Aos meus pais

Aos meus amigos

Obrigada por todo o apoio

**“WHEN YOU WASTE A MOMENT, YOU HAVE KILLED IT IN A SENSE,
SQUANDERING AN IRREPLACEABLE OPPORTUNITY. BUT WHEN YOU USE THE
MOMENT PROPERLY, FILLING IT WITH PURPOSE AND PRODUCTIVITY, IT LIVES ON
FOREVER.”**

Menachem Mendel Schneerson (Rebe Lubavitch)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a D'us por ter me ajudado a chegar até aqui e me ajudado a concluir mais uma etapa tão importante da minha vida.

Aos meus pais Célia Silvestre e Júlio César, pelo grande apoio e por me dizerem sempre que sou capaz. Só tenho a agradecer.

Ao meu orientador José Ubiragi por ser meu grande incentivador e amigo durante esses dois anos de mestrado e quatro anos de doutorado, totalizando seis anos de cumplicidade. Agradeço pela paciência e pela amizade.

Aos amigos do laboratório Ricardo Alex, Elione Moura, Renata Ferreira, Synara Cavalcanti e Raimison de Assis, pelos momentos de estudo e descontração. Obrigado por tornarem os momentos mais divertidos. Obrigada pela ajuda e companheirismo nos momentos mais difíceis.

À instituição UFRN e à CAPES por terem me dado a oportunidade de chegar até o título de doutora. Possuo imensa gratidão.

Ao Abdias pela amizade, o companheirismo, a paciência e as intermináveis idéias positivas.

A PolyOrganic pela doação do material e pela compreensão e apoio ao trabalho desenvolvido. Pela confiança, agradeço.

Um agradecimento também aos que ajudaram indiretamente como os técnicos dos laboratórios, os monitores, os familiares e amigos. Obrigada por todo apoio, compreensão e paciência.

RESUMO

Muito se pesquisa hoje sobre fontes renováveis de energia e materiais sustentáveis, visando diminuir os impactos causados no ambiente. Rejeitos de materiais que antigamente tinham como destino o lixo, atualmente são vistos de outra forma. O presente trabalho teve por objetivo confeccionar um material geotêxtil utilizando folhas de bananeira, em particular, a fibra extraída do caule da folha de bananeira que é reconhecida atualmente como uma das mais fortes fibras celulósicas. Como matriz desse geotêxtil natural, utilizou-se o látex e, posteriormente, foram analisadas as aplicações para o geotêxtil mediante caracterização do material prévia baseada na literatura. Os corpos de prova foram tecidos e revestidos em látex e em seguida, foi realizada verificação e análise das principais propriedades físico-químicas, mecânicas e térmicas. Tais propriedades foram obtidas através de testes como: Resistência à tração, Flamabilidade, Termogravimetria, Absorção de água e de umidade, Envelhecimento por ciclo e por umidade, Fricção, Densidade Linear, Gramatura, Biodegradação e degradação ambiental e Condutividade Térmica. Com base nos resultados das análises, foi possível concluir que o geotêxtil pode ser utilizado como revestimento para superfícies, pois além de resistente à tração mesmo quando aquecido, o geotêxtil apresentou baixa condutividade térmica (0,241W/mK), fato que o torna isolante térmico. Foi ainda concluído que o compósito natural conseguiu aliar as propriedades de resistência térmica e mecânica da fibra da bananeira com o alongamento do elastômero, látex. Tal resultado não comprometeu a higroscopicidade da fibra. Pôde-se concluir finalmente que o material é sustentável, não agride o meio ambiente e cumpre a função esperada.

Palavras-chave: Geotêxtil, fibra de bananeira, látex, material sustentável, isolante térmico.

ABSTRACT

A lot is being researched nowadays about renewable sources of energy and sustainable materials that aim to decrease the impact caused on the environment. Materials rejected that once had the trash as destination, currently are seen in another way. This present paper had as purpose the confection of a geotextile using banana tree leaves, in particular, fibers extracted from the stem of the banana tree leaves, which presently, are recognized as one of the strongest cellulosic fibers. As a natural geotextile matrix, latex was used and, subsequently, possible applications for the geotextile were analysed through previous material characterization based on literature. Samples were weaved and coated in latex, and, soon after, a verification and analyses of physical, chemical, mechanical and thermal properties were made. Such properties were obtained throughout tests like: Tensile Strength, Flammability, Analysis Thermogravimetric (TG), Water and Humidity Absorption, Aging by Cycle and by Water, Abrasion, Linear Density, Grammage, Biodegradation, Environmental Degradation and Thermal Conductivity. According to the analysis results, it was possible to conclude that the geotextile can be used as surfaces coating, because beside being high tensile strength, even heated, the geotextile presented a low thermal conductivity (0,214W/mK). That fact means that the material is a thermal insulator. Also, it was conclude that the natural composite acquire the properties such as thermal and mechanical strength from the banana tree fibers combined with the elongation from thermoplastic elastomer latex. Such result did not compromise the hygroscopicity of the fiber. Finally, it could be concluded that the material is sustainable, does not damage the environment and fulfil the coating function, a characteristic expected.

Key words: Geotextile, banana tree fiber, latex, sustainable material, coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- (a) separação de materiais distintos; (b) envolvendo conduto utilizado para drenagem; (c) estrutura de contenção; (d) aterro reforçado.....	23
Figura 2- Geotêxtil tecido	24
Figura 3- Entrelaçamento de Malha Geotêxtil	24
Figura 4- Estruturas não tecidas (a) agulhada; (b) termoligada.	25
Figura 5-a) Biomanta de fibra de coco; b) Geotêxtil de fibra de coco; c) Biocomposto fibra de sisal e juta; d) Biocomposto de palha de coco com palha agrícola.	27
Figura 6- Drenagem Planar.....	29
Figura 7- Filtragem.....	29
Figura 8- Reforço.	30
Figura 9- Separação.....	30
Figura 10- Proteção.....	31
Figura 11- Modelo esquemático da associação dos componentes na parede celular a) visto de um corte transversal; b) vista de um corte tangencial L-P, indica ligações lignina polioses.....	33
Figura 12- Representação da fibra de materiais lignocelulósicos e seus componentes: celulose, hemicelulose e lignina.....	34
Figura 13- Composição química a) Celulose; b) Lignina; c) Pectina.	35
Figura 14- Bananeira da Malásia.	37
Figura 15- Classificação de banana (<i>Musa sapientum</i>) por grupo cromossômico. ...	39
Figura 16- Bananeira e suas partes constituintes.	40
Figura 17- Fibras do tronco da bananeira após tratamento com Alkali.	41
Figura 18- Fibras da bananeira foram observadas através do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura).	42
Figura 19- Distribuição das diferentes espessuras das fibras.	44
Figura 20- Variação do diâmetro da fibra ao longo do comprimento da fibra. Leitura feita em 100 pontos distintos e cada comprimento da fibra.	45
Figura 21- Partes da bananeira.....	46
Figura 22- a) e b) <i>Hevea Brasiliensis</i>	49
Figura 23- Curvas Força-Deformação típicas de borracha vulcanizada e não vulcanizada.	50
Figura 24- Estrutura química da parte isoprênica da borracha natural.....	51

Figura 25- Folha da bananeira dividida em 1) Folha; 2) Nervura central da folha; 3) Pecíolo da folha.....	57
Figura 26- Bananeira utilizada para a retirada das fibras.....	58
Figura 27- Garrafas de látex pré-vulcanizado.	58
Figura 28- Corte da folha da bananeira.....	59
Figura 29- a) Folha retirada da bananeira com limbo esquerdo, b) caule pronto para retirada da fibras do caule central.	60
Figura 30- a) Fibras após serem retiradas do caule da folha e b) fibras secas e cortadas, prontas para serem tecidas no tear.	61
Figura 31- Equipamento no laboratório de Engenharia Têxtil – LABCTEX/DET/UFRN.....	62
Figura 32- - Netzsch STA 449F3.....	63
Figura 33 - Microscópio Hitachi TM 3000.....	64
Figura 34- Tear.....	64
Figura 35 - a) tear com fibras de trama, b) tear com fibras nos sentidos de trama e urdume.	65
Figura 36- a) Tecido pronto ainda no tear e b) tecido pronto em estado final	65
Figura 37- a) Geotêxtil;b) Tecido imerso em látex e geotêxtil pronto.	66
Figura 38- Esquematização do teste de flamabilidade.....	67
Figura 39- Flamabilidade de a) tecido e b) composto geotêxtil	67
Figura 40- Retardante de chamas TCPP LO.....	69
Figura 41- Corpo de prova sem látex conforme a norma.	69
Figura 42 - Aplicação do retardante de chamas no substrato a) sem látex, b) com látex.....	69
Figura 43- Estufa utilizada nas análises.....	70
Figura 44 - Corpos de prova cortados conforme a norma.	71
Figura 45- Determinador de umidade Marte ID-200.....	73
Figura 46- Crock Meter.	74
Figura 47- Conta fios de 2 centímetros por 2 centímetros.	75
Figura 48 - Corpo de prova pesado conforme a norma ABNT 10591.	76
Figura 49- Teste de degradação ambiental. a) tecido sem revestimento de látex, b) geotêxtil.....	77
Figura 50- Corpos de prova sendo preparados para o teste de Degradação Ambiental.	78

Figura 51- a) Condutivímetro KD2 PRO e b) agulha.	78
Figura 52- Corpos de prova compactados sem látex. a) Vista lateral e b) vista superior.	79
Figura 53- Corpos de prova com látex. a) Ao receber o látex, b) Após 24 horas.	79
Figura 54- Análise de condutividade térmica nos corpos de prova a) com látex e b) sem látex.	80
Figura 55- Gráfico da amostra 1 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.	83
Figura 56- Gráfico da amostra 2 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.	84
Figura 57- Gráfico da Amostra 3 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.	85
Figura 58- Teste de Resistência à tração. a) Teste de tração, b) amostra rompida após a análise de tração.	86
Figura 59- O gráfico mostra o comportamento das 4 amostras de tecido sem látex, onde A (vermelho) é a amostra 1, B (verde) amostra 2, C (amarelo) amostra 3 e D é a amostra descartada.	87
Figura 60- Observa-se no gráfico o comportamento das 4 amostras de tecido com látex.	88
Figura 61- Gráficos de TG para o Geotêxtil a) sem látex, b) com látex.	89
Figura 62- a) MEV de uma das pontas da fibra da bananeira recém retirada da folha, b) A mesma imagem com um aumento de 100 vezes.	90
Figura 63- a) MEV Fibra sem látex com um aumento de 50 vezes, b) 100 vezes de aumento.	91
Figura 64- MEV Fibra recoberta com látex com aumento a) 50x, b) 100x.	91
Figura 65- MEV Fibra coberta por látex com aumento de 50 vezes.	92
Figura 66- Corpos de prova marcados para o teste de Inflamabilidade. À esquerda, geotêxtil e à direita, tecido sem látex.	93
Figura 67- a) Variação da taxa de queima linear entre as 3 amostras sem látex. b) Variação da taxa de queima linear entre as 3 amostras com látex.	93
Figura 68- Ensaio com amostras de tecido sem látex, onde a) chama nos primeiros 5 segundos, b) primeiro contato com a chama e c) amostra em após 10 segundos.	94

Figura 69– Ensaio mostra amostras de geotêxteis em processo de combustão.a)Amostra após entrar em contato com a chama, b)amostra em 5 segundos de contato com a chama.....	95
Figura 70- Análise de Flamabilidade com retardante de chamas.....	95
Figura 71- Amostras sem látex após o teste de flamabilidade a)Amostra 1, b)amostra 2 e c) amostra 3.	96
Figura 72- Amostras com látex após o teste de flamabilidade. a)Amostra 1, b)amostra 2 e c) amostra 3.	96
Figura 73- Variação da taxa de queima linear para as amostras sem látex e com látex.....	98
Figura 74- Pesagem de a) Tecido; b) Geotêxtil.....	99
Figura 75- a) Braço do Abrasímetro Crockmeter friccionando o compósito geotêxtil e b) tecido sem látex posicionado no equipamento.....	100
Figura 76- Corpos de prova após sofrerem o teste de Abrasão ao lado do tecido teste de algodão.....	101
Figura 77- Corpo de prova a) sem látex e b) com látex.	102
Figura 78- a) mostra a pesagem inicial do tecido sem látex, b) equipamento realizado o aquecimento do tecido e realizado a análise da absorção de umidade, c) resultado da análise.....	103
Figura 79- a) mostra a pesagem inicial do geotêxtil, b) equipamento realizado o aquecimento do tecido e realizado a análise da absorção de umidade, c) resultado da análise.....	103
Figura 80- Amostra com látex e amostra sem látex após o teste de absorção de umidade.....	104
Figura 81- Comportamento das amostras sem látex referente à absorção de água.	107
Figura 82- Comportamento das amostras com látex referente à absorção de água.	107
Figura 83- Corpos de prova a) no início e b) final do teste de absorção de água. ..	108
Figura 84- Linhas representam o comportamento dos compósitos geotêxteis após sofrerem tração, onde a linha vermelha (A) é a amostra 1, a amarela (B) é a amostra 2 e a verde (C), é a amostra 3.....	110
Figura 85- Corpos de prova após 29 horas condicionados a temperatura de -5°C.	111
Figura 86- Segunda etapa do teste de envelhecimento por ciclo.....	112

Figura 87- Corpos de prova a) na estufa e b) após sair da estufa a 107°C.....	113
Figura 88-Linhas representam o comportamento dos compósitos geotêxteis após sofrerem tração, onde a linha vermelha (A) é a amostra 1, a amarela (B) é a amostra 2 e a verde (C), é a amostra 3.....	115
Figura 89- Corpos de prova na estufa em contato direto com água destilada.	116
Figura 90- Corpos de prova ao sair da estufa após 336 horas a 80°C e umidade 95%.	117
Figura 91- O gráfico mostra através de linhas o comportamento das 3 amostras provenientes de teste de envelhecimento por umidade no teste de tração.....	119
Figura 92- a) Amostra 1, b) amostra 2 e c) amostra 3, respectivamente, após 120 dias ainda enterradas.	119
Figura 93- Resquícios dos corpos de prova sem látex a) amostra 1, b) amostra 2 e c) amostra 3.	120
Figura 94- a) Amostra 1, b) Amostra 2 e c) Amostra 3.....	120
Figura 95- a) Amostra 1 após os 120 dias, b) Amostra 2 e c) Amostra 3.....	121
Figura 96- Condutividade Térmica para as seis amostras.	123
Figura 97- Face superior do compósito.....	123
Figura 98 - Calor específico para as seis amostras.	124
Figura 99- Difusividade térmica (α) para as seis amostras.	125
Figura 100 - Propriedades requeridas e métodos de ensaio para geotêxteis utilizados com elemento de proteção.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Requerimentos Funcionais para Geotêxteis.	28
Tabela 2 - Composição de algumas fibras naturais vegetais	35
Tabela 3 - Propriedades mecânicas e físicas das fibras de banana.	41
Tabela 4 - Propriedades da banana	42
Tabela 5 - Teores padrão de nutrientes para a banana Pacovan.	43
Tabela 6 - Composição das fibras de banana extraídas do pseudo caule fisicamente e por bioextração.....	45
Tabela 7 - Efeitos da variação das taxas de deformação.....	46
Tabela 8 - Propriedades físicas das fibras do pseudocaule e do pseudocaule de diferentes tipos de bananeiras.	47
Tabela 9 - Composição média do látex recém coletado.....	52
Tabela 10 - Tabulação das Propriedades Térmicas para uma Variedade de Materiais.....	56
Tabela 11 - Especificações Técnicas do Látex Pré Vulcanizado Centrifugado 60%	58
Tabela 12 - Classificação dos tecidos de acordo com a gramatura dada em g/m ² . ..	76
Tabela 13 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 fibras de bananeira sem látex submetidas a testes de resistência à tração.	81
Tabela 14 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 fibras de bananeira com látex submetidas a testes de resistência.	82
Tabela 15 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 tecidos sem látex submetidos a testes de resistência.	86
Tabela 16 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis com látex submetidos a testes de resistência.	86
Tabela 17 - Taxa de queima linear para as três amostras sem látex.....	93
Tabela 18 - Taxa de queima linear para as três amostras com látex.....	94
Tabela 19 - Taxa de queima linear para as três amostras sem látex e com retardante.....	97
Tabela 20 - Taxa de queima linear para as três amostras com látex e retardante....	97
Tabela 21 - Valores referentes à Gramatura do tecido.	99
Tabela 22 - Valores referentes à Gramatura do geotêxtil.....	99

Tabela 23 - Pesagem antes e depois das 24 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.	104
Tabela 24 - Pesagem antes e depois das 24 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.	104
Tabela 25 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.	105
Tabela 26 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.	105
Tabela 27 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.	105
Tabela 28 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.	106
Tabela 29 - Comportamento das amostras sem látex ao longo do período de imersão referente a duas semanas.	106
Tabela 30-Comportamento das amostras com látex ao longo do período de imersão referente a duas semanas.	106
Tabela 31- Comportamento dos corpos de prova sem látex após imersão de 24 horas em água destilada a 50°C.	108
Tabela 32- Comportamento dos corpos de prova sem látex e com látex após imersão de 24 horas em água destilada a 50°C.	108
Tabela 33- Resultados da equação para o aumento de peso dos corpos de prova sem látex e com látex.	109
Tabela 34- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Absorção de água, submetidos a testes de resistência.	109
Tabela 35- Preparação para o teste de envelhecimento. Peso das amostras de tecido sem látex e compósito após 24 horas a 60°C.	111
Tabela 36- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o primeiro ciclo condicionado a -5°C por 29 horas.	111
Tabela 37- Comportamento dos corpos de prova com látex após o primeiro ciclo condicionado a -5°C por 29 horas.	111
Tabela 38- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o segundo ciclo condicionado a 22°C por 19 horas e 95% de umidade relativa.	112
Tabela 39- Comportamento dos corpos de prova com látex após o segundo ciclo condicionado a 22°C por 19 horas e 95% de umidade relativa.	112

Tabela 40- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o terceiro ciclo condicionado a 107°C por 29 horas.	113
Tabela 41- Comportamento dos corpos de prova com látex após o terceiro ciclo condicionado a 107°C por 29 horas.	113
Tabela 42- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o quarto e último ciclo condicionado a 22°C por 19 horas com umidade relativa de 95%.	114
Tabela 43- Comportamento dos corpos de prova com látex após o quarto e último ciclo condicionado a 22°C por 19 horas com umidade relativa de 95%.	114
Tabela 44- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Envelhecimento por ciclo, submetidos a testes de resistência.	114
Tabela 45- Peso das amostras de tecido sem látex e geotêxtil antes do teste de envelhecimento por umidade.	116
Tabela 46- Comportamento dos corpos de prova sem látex após 336 horas a temperatura de 80°C com umidade relativa de 95%.	117
Tabela 47- Comportamento dos corpos de prova com látex após 336 horas a temperatura de 80°C com umidade relativa de 95%.	117
Tabela 48- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Envelhecimento por umidade, submetidos a testes de resistência.	118
Tabela 49- Valores das análises para corpos de prova sem látex.	122
Tabela 50- Valores das análises para corpos de prova com látex.	122
Tabela 51 - Valores para análises de Resistência com seus respectivos valores de Alongamento e tempo de ruptura.	126
Tabela 52 - Valores médios das propriedades térmicas.	127

SÍMBOLOS

Alfabeto Latino:

A	Área transversal	[m ²]
C _p	Calor específico	[J/m ³ K]
C	Conductividade térmica	[W/mK]
F	Força de ruptura máxima	[N/s]
G	Gramatura	[g/m ²]
L	Comprimento da amostra	[mm]
q	Fluxo de calor	[W/m ²]
R	Resistividade térmica	[°Ccm/W]
T	Temperatura	[°C]
Tex	Densidade linear (Título)	[fios/cm]
V	Taxa linear de queima	[mm/m]

Alfabeto Grego:

α	Difusividade Térmica	[mm ² /s]
---	----------------------	----------------------

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	20
1.2.	OBJETIVOS	21
1.2.1.	Objetivos Gerais.....	21
1.2.2.	Objetivos Específicos	21
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.	Geotêxtil	23
2.2.	Geotêxtil Natural	25
2.3.	Tipos de Geotêxteis Naturais	26
2.4.	Funções dos Geotêxteis Naturais	28
2.5.	Fibras	31
2.6.	Fibras Naturais Vegetais	33
2.7.	Bananicultura	36
2.8.	Pacovan	40
2.9.	Fibra da bananeira	40
2.10.	Caracterização do material	41
2.11.	Polímeros	47
2.12.	Látex	48
2.13.	Composição do Látex.....	51
2.14.	Propriedades Térmicas	52
2.15.	Capacidade Calorífica e Calor Específico	53
2.16.	Expansão Térmica ou Difusividade Térmica	54
2.17.	Condutividade Térmica	55
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
3.1.	Materiais.....	57
3.2.	Métodos	59

3.3. Preparação da Fibras.....	60
3.4. Caracterização dos materiais.....	61
3.5. Análises das fibras.....	61
3.6. Resistência das Fibras.....	62
3.7. Ensaio de Termogravimetria.....	62
3.8. Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	63
3.9. Tecelagem.....	64
3.10. Formação do Geotêxtil.....	65
3.11. Análises dos tecidos in natura e dos tecidos geotêxteis.....	66
3.12. Resistência à tração.....	66
3.13. Flamabilidade.....	67
3.14. Absorção de água (Higroscopia).....	70
3.15. Envelhecimento por umidade.....	71
3.16. Envelhecimento por ciclo.....	72
3.17. Absorção de umidade.....	73
3.18. Teste de Fricção (Atrito).....	74
3.19. Densidade Linear (Título).....	75
3.20. Gramatura ou Densidade Superficial.....	75
3.21. Biodegradação Ambiental.....	76
3.22. Degradação Ambiental.....	77
3.23. Condutividade Térmica.....	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.1. Resistência.....	81
4.1.1. Resistência das fibras.....	81
4.1.2. Resistência do geotêxtil.....	85
4.2. Análise de Termogravimetria TG e Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura.....	88

4.3.	Análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	90
4.4.	Flamabilidade.....	92
4.5.	Gramatura.....	98
4.6.	Abrasão (Fricção).....	100
4.7.	Densidade.....	101
4.8.	Absorção de umidade.....	102
4.9.	Absorção de água (Higroscopia).....	104
4.10.	Envelhecimento por ciclo.....	110
4.11.	Envelhecimento por umidade.....	115
4.12.	Biodegradação Ambiental.....	119
4.13.	Degradação Ambiental.....	121
4.14.	Propriedades Térmicas.....	122
4.15.	Condutividade Térmica (K).....	122
4.16.	Calor específico (Cp).....	123
4.17.	Difusividade Térmica (α).....	124
4.18.	Síntese dos resultados.....	125
4.18.1.	Resistência à tração.....	126
4.18.2.	Gramatura e Densidade.....	126
4.18.3.	Propriedades Térmicas.....	127
5.	CONCLUSÕES.....	128
6.	SUGESTÕES.....	130
7.	REFERÊNCIAS.....	131

1. INTRODUÇÃO

Muito se pesquisa hoje sobre fontes renováveis de energia e materiais sustentáveis, visando diminuir os impactos causados no ambiente. Rejeitos de materiais que antigamente tinham como destino o lixo, atualmente são vistos de outra forma.

Com base nessa nova visão sustentável, propõe-se uma mudança na confecção de compósitos. Conforme Raghavendra *et al.* (2013), os materiais sustentáveis confeccionados a partir de fibras são renováveis, tem baixo custo, completamente ou parcialmente biodegradáveis. Em paralelo, Ramesh *et al.* (2014), ainda acrescenta que as fibras não são abrasivas, possuem um valor calorífico bom, excelentes propriedades mecânicas, baixa densidade e são ecológicas. O autor ainda cita que as fibras ricas em lignocelulose como banana, sisal, bambu e etc, são mais frequentemente usadas para reforços em compósitos ou geotêxteis.

Geotêxteis naturais são todos os materiais desenvolvidos a partir de fibras naturais e usados em associação com o solo que podem ser confeccionados por fibras têxteis sozinhas ou em uma combinação híbrida com fibras sintéticas para aplicações estruturais. Utilizando fibras naturais em uma matriz de resina natural como o ácido polilático (PLA), proveniente do milho ou polihidroxibutirato (PHB) polímeros que possuem amido como base e borracha natural látex, obtém-se o melhor resultado (EZEMA *et al.*, 2014).

A longevidade do geotêxtil dependerá da quantidade de celulose e lignina presentes na fibra, portanto, sua composição química é extremamente importante. Apresentam ainda um alto grau de biodegradabilidade e, portanto, são utilizados onde há uma necessidade de estruturas de proteção temporárias, não interferindo no meio ambiente, agindo também na restauração ou desenvolvimento.

Nesse contexto, sabe-se que o Brasil é o segundo produtor mundial de bananas, a banana é uma das frutas de maior destaque na fruticultura brasileira quanto à sua importância econômica. E ainda, sabe-se que após a colheita da bananeira, ela é cortada e seus resíduos de biomassa (pseudocaule e folhas) são dispostos na própria lavoura até a sua completa decomposição por agentes naturais.

Estima-se que em 2013, foram geradas 1.847.405 toneladas de pseudocaule e 295.584 toneladas de folhas, que podem ser utilizados na geração de energia e na confecção de compósitos e geotêxteis (KHROL, 2014).

A possibilidade de utilizar os rejeitos dispostos na lavoura, oriundos da fruticultura da banana (folhas das bananeiras), como base para a confecção de um geotêxtil natural, motivou essa pesquisa.

Utilizou-se como resina o elastômero natural, látex. Material proveniente da *Hevea Brasilliensis*, cuja produção no Brasil é da ordem de 90.000 ton/ano e que apresenta como características, baixa absorção de umidade, alta elasticidade e biodegradabilidade (FILHO, 2015).

O desenvolvimento do geotêxtil confeccionado com o rejeito da bananeira como matéria-prima, visa uma reciclagem do material levando em consideração os aspectos sociais, econômicos e ambientais e, conseqüentemente, contribui com a política mundial de preservação ambiental.

Destaca-se o caráter inovador da pesquisa, pois há poucos trabalhos referentes a tal assunto na literatura científica e em publicações.

Esta pesquisa é dividida em sete capítulos. Sendo o primeiro deles a Introdução da pesquisa realizada; no segundo capítulo são apresentados os Objetivos Gerais e Específicos do seguinte trabalho; o terceiro capítulo traz a Revisão Bibliográfica de todo o conteúdo que baseou o desenvolvimento dessa pesquisa; o quarto capítulo, Materiais e Métodos, introduz a metodologia utilizada. O quinto capítulo evidencia os resultados obtidos com a pesquisa. Os últimos capítulos apresentam a Conclusão, no sexto capítulo, Sugestão, sétimo capítulo e, no oitavo e último capítulo, estão relacionadas todas as referências utilizadas na pesquisa.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Desenvolver um geotêxtil utilizando látex como resina polimérica e fibras da folha de bananeira in natura, visando proteção térmica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a fibra da folha da bananeira através de análises de Termogravimetria (TG), análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), além

da caracterização com relação ao peso e diâmetro, Resistência à tração e alongamento das fibras;

- Confeccionar o Geoêtil através de um tecido de fibras da folha da bananeira com reforço de látex;

- Caracterizar o geotêtil através da Determinação de gramatura;

- Caracterizar as propriedades físicas do geotêtil através de ensaios de Densidade, Absorção de água e Teor de umidade; Envelhecimento por ciclo e Teor de umidade; Biodegradação Ambiental, Degradação Ambiental e Abrasão;

- Caracterizar as propriedades mecânicas do geotêtil através de ensaios de Resistência à tração e alongamento;

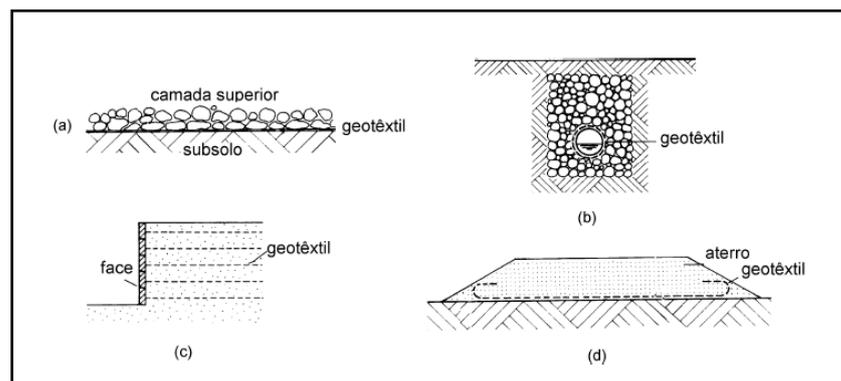
- Caracterizar as propriedades térmicas através de ensaios de Flamabilidade, Condutividade Térmica, Difusividade Térmica e Calor Específico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Geotêxtil

Geotêxtil pode ser definido como qualquer material têxtil permeável que, quando usado em associação com o solo, tem a capacidade de separação (evitar a mistura de materiais de naturezas diferentes), filtragem (retenção de partículas de solo ou de outros materiais possibilitando a passagem de um fluido através do geotêxtil), reforço (melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica), proteção (garante estabilidade ao solo promovendo controle da erosão) ou drenagem (coleta e condução de um fluido ao longo de um plano geotêxtil), conforme apresentado na Figura 1. (AGOSTINI, 2009).

Figura 1- (a) separação de materiais distintos; (b) envolvendo conduto utilizado para drenagem; (c) estrutura de contenção; (d) aterro reforçado



Fonte: Agostini, 2009.

Desde os anos 1950, são utilizados como elementos de filtro para obras hidráulicas e para controle de erosão marítima nos Estados Unidos, na Europa e no Japão. Mas tanto no exterior, quanto no Brasil, as aplicações desse material são crescentes, sobretudo nas últimas duas décadas.

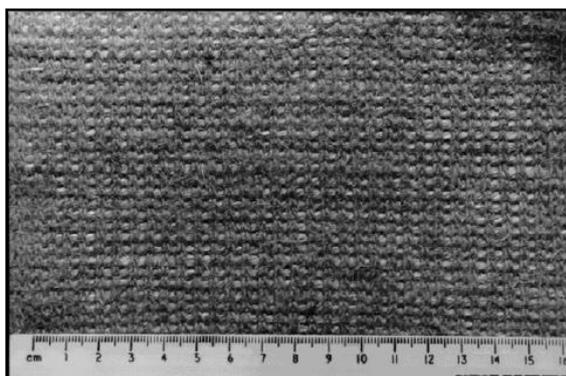
Os geotêxteis podem agrupar-se em dois grandes grupos, geotêxteis sintéticos e geotêxteis naturais. Os primeiros são compostos por uma variedade de polímeros sintéticos como polipropileno, poliéster, polietileno, cloreto de polivinila, poliamida e aramidas; os segundos podem ter origem animal, vegetal ou mineral (HORROCKS & ANAND, 2000).

Os tecidos geotêxteis são definidos em norma (NBR 12.553 (2003) - Geossintéticos - Terminologia) como têxteis bidimensionais permeáveis, compostos de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, que

formam uma estrutura que pode ser tecida (ou tramada), não tecida (ou não tramada) ou tricotada.

Os tecidos, como o próprio nome indica, adotam a técnica de tecelagem semelhante à técnica utilizada para confecção de tecido plano. Os geotêxteis tecidos são compostos de dois conjuntos perpendiculares de elementos lineares paralelos, sistematicamente entrelaçados para formar uma estrutura plana (Figura 2). Formado por trama, sentido vertical, e urdume, sentido horizontal, este tipo de geotêxtil é em grande maioria confeccionado com o polímero sintético polipropileno, o que confere ao tecido força e alta permeabilidade (NIZAN, 2014). O tecido geotêxtil é composto de monofilamentos, multifilamentos ou fios revestidos. Podem ser usados para controle de erosão.

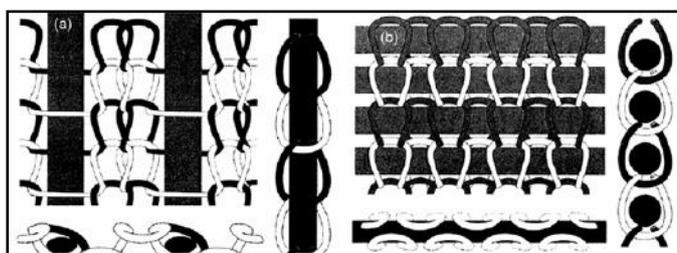
Figura 2- Geotêxtil tecido



Fonte: Anand, 2008.

Aos Tricotado ou Malha Geotêxtil são produzida de forma semelhante à malha para a confecção, processo conhecido como tricotagem. Ocorre com o entrelaçamento de laçadas (Figura 3). É ainda uma técnica pouco utilizada para formação de geotêxteis (NIZAN 2014).

Figura 3- Entrelaçamento de Malha Geotêxtil



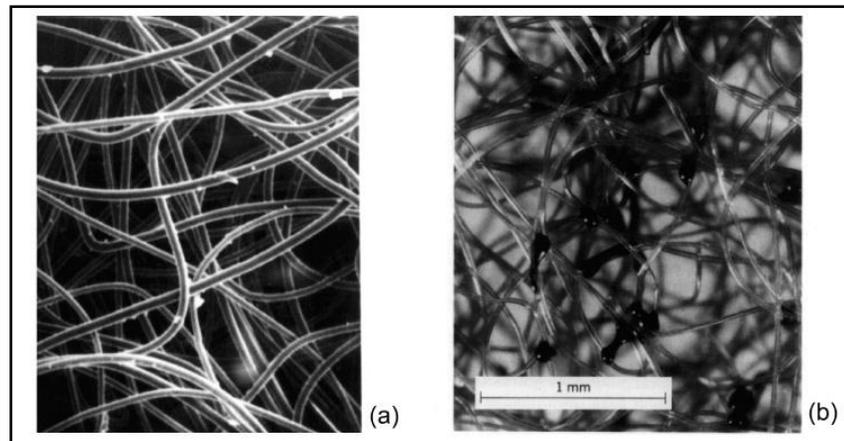
Fonte: Anand, 2008.

Os Não tecidos são Geotêxteis formados por filamentos ou fibras distribuídos aleatoriamente e unidos para formar uma estrutura plana (Figura 4). A definição sobre a espessura da manta, as dimensões e os critérios para aplicação são

especificados em projeto, que deve levar em conta as condições ambientais do local antes da definição da solução. Isso porque os geotêxteis não devem ser utilizados em situações de exposição à radiação ultravioleta por períodos prolongados, o que pode danificar suas propriedades mecânicas.

Também não devem ser aplicados em ambientes de contato com produtos químicos incompatíveis com sua matéria-prima, como no caso de carbonatos. Geotêxteis confeccionados desta forma são comumente usados em drenagem de superfícies, controle de erosão e, também, na estabilização de avenidas sobre solos com sensibilidade a umidade.

Figura 4- Estruturas não tecidas (a) agulhada; (b) termoligada.



Fonte: Costa, 1999.

A versatilidade dos geotêxteis depende de suas propriedades estruturais, mecânicas, físicas e hidráulicas.

2.2. Geotêxtil Natural

Geotêxteis naturais são todos os materiais desenvolvidos a partir de fibras naturais e usados em associação com o solo. Tem-se conhecimento que os geotêxteis de origem natural foram um dos primeiros produtos têxteis da história da humanidade.

Escavações do Antigo Egito mostram o uso de esteiras feitas de grama e linho, tendo sido utilizados na construção de estradas no tempo dos faraós para estabilizar as estradas e as suas bermas. Estes primeiros geotêxteis foram feitos de fibras naturais ou vegetação misturada com o solo para melhorar a qualidade das estradas, particularmente quando estas eram feitas em solo instável (AGRAWAL, 2011).

Geotêxteis podem ser confeccionados por fibras têxteis sozinhas ou em uma combinação híbrida com fibras sintéticas para aplicações estruturais. A melhor forma de alcançar benefícios ambientais é utilizando fibras naturais em uma matriz de resina natural como o ácido polilático (PLA) proveniente do milho, polihidroxibutirato (PHB) polímeros que possuem amido como base e borracha natural látex (Ezema *et al.*, 2014). A composição química da fibra é o fator determinante para a interação do geotêxtil com o meio ambiente. Portanto, a longevidade do geotêxtil dependerá da quantidade de celulose e lignina presentes na fibra.

Geotêxteis confeccionados a partir de fibras naturais apresentam vantagens quando comparados aos Geosintéticos. Isso se deve ao fato de fibras naturais apresentarem um alto grau de biodegradabilidade e, portanto, são utilizados onde há uma necessidade de estruturas de proteção temporárias, não interferindo no meio ambiente, agindo também na restauração ou desenvolvimento.

Geotêxteis naturais são amplamente usados em curtos períodos de tempo (6 a 10 meses) onde a biodegradabilidade é um atributo positivo. São também acessíveis e compatíveis com a gestão sustentável dos solos e ajudam a suprimir variações extremas da temperatura do solo e aumentam a infiltração dos solos, reduzindo a impermeabilização dos mesmos. Estes materiais apresentam baixa densidade, rigidez, propriedades mecânicas apropriadas e são biodegradáveis (Sarsby, 2007, Mukhopadhyay *et al.*, 2008).

Ainda, os geotêxteis de fibras naturais são competitivos com relação ao seu baixo custo, caráter “eco-friendly” e propriedades técnicas (Handbook of Geotextiles, 2012). Esses geotêxteis são particularmente apropriados para superfícies onde o solo necessita ser estabilizado e protegido da erosão.

Nas recentes décadas, as pesquisas em fibras têxteis têm aumentado consideravelmente e os resultados tem se mostrado promissores no que diz respeito às propriedades mecânicas (Ezema *et al.*, 2014).

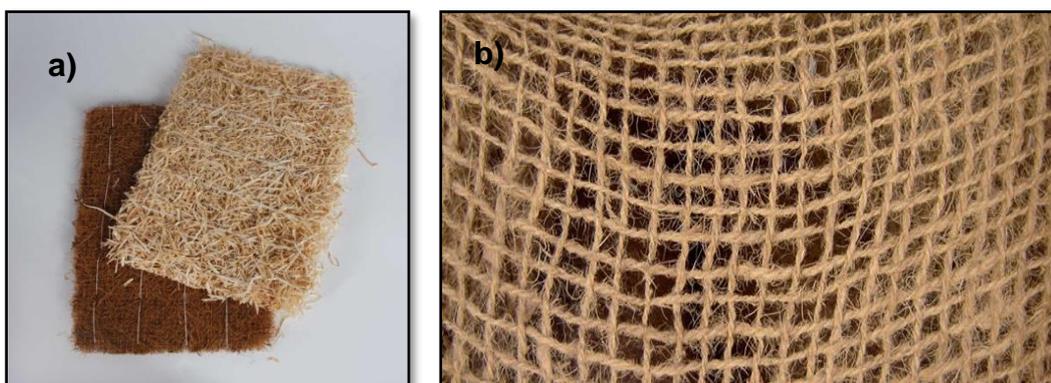
2.3. Tipos de Geotêxteis Naturais

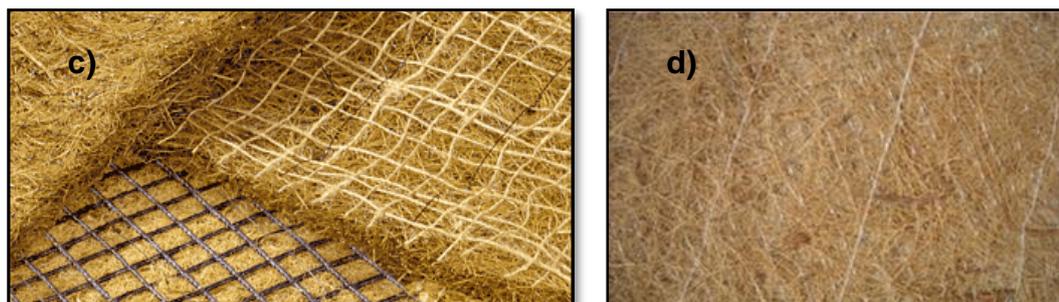
Segundo a ABINT (2001) (Associação das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos), Biotêxteis, ou Geotêxtil Natural, são confeccionados com materiais biodegradáveis como palha, juta, fibra de coco, bambu, algodão, vime, sisal e outros. Em geral, existe um contratipo sintético para cada bioproduto.

Eles podem ser subdivididos em grupos de acordo com a sua confecção ou a sua função. Os Geotêxteis podem ser:

- Biotêxtil (BT): Material têxtil permeável, feito com fibras degradáveis, na forma usual de tecido ou não tecido, utilizado em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte (Figura 5b).
- Biomanta (BA): Estrutura na forma de manta manufacturada, consistindo de uma manta irregular de fibras naturais, fios, filamentos ou outros elementos (geralmente unidos mecanicamente), cujas aberturas são maiores que seus elementos constituintes, utilizada em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte (Figura 5a).
- Biocélula (BL): Estrutura celular que consiste de uma malha regular de tiras naturais biodegradáveis, interligadas por vários métodos, utilizados em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte.
- Biocomposto (BC): Nome genérico adotado para definir uma estrutura composta de produtos naturais biodegradáveis, na forma de manta manufacturada ou tira, utilizada em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte (Figura 5c e d).
- Biocomposto Drenante (BCD): Para drenagem: uma estrutura composta de produtos naturais biodegradáveis, na forma de manta ou tira, utilizado em obras geotécnicas, ambientais, hidráulicas e de transporte. (ABINT, 2001)

Figura 5-a) Biomanta de fibra de coco; b) Geotêxtil de fibra de coco; c) Biocomposto fibra de sisal e juta; d) Biocomposto de palha de coco com palha agrícola.





Fonte: Geosintéticos, 2014.

2.4. Funções dos Geotêxteis Naturais

O processo de fabricação e a matéria-prima conferem ao Geotêxtil todas as suas características e propriedades que, por sua vez, se combinam para criar as funções que o produto está apto a exercer, conforme resume a Tabela 1.

Tabela 1- Requerimentos Funcionais para Geotêxteis.

Propriedades	Status de Requerimento	Propriedades	Status de Requerimento
Resistência à tração	AI	Fluência	AI
Alongamento	AI	Permeabilidade	NA – MI
Resistência Química	I – AI	Resistência de Fluxo	MI
Biodegradabilidade	AI	Propriedades do Solo	AI
Flexibilidade	MI	Água Soterramento	AI
Propriedades de Fricção	AI	Luz UV	I
Entrelaçamento	AI	Clima	NA
Resistência ao Rasgo	MI	QA e controle Custos	AI
Penetração a perfurações	MI		AI

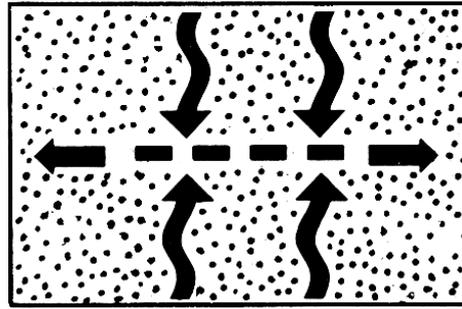
AI-Altamente Importante; I- Importante; MI- Moderadamente Importante; NA- Não Aplicável

Fonte: Anand, 2008.

As principais funções exercidas pelos geotêxteis são descritas a seguir:

- **Drenagem:** um geotêxtil pode ser confeccionado para permitir o fluxo de líquido ou gás, usualmente, entre a superfície e o tecido (Figura 6). Um exemplo típico é o uso do geotêxtil para drenar a água do solo. Esta função é inerente apenas aos geotêxteis não tecidos espessos.

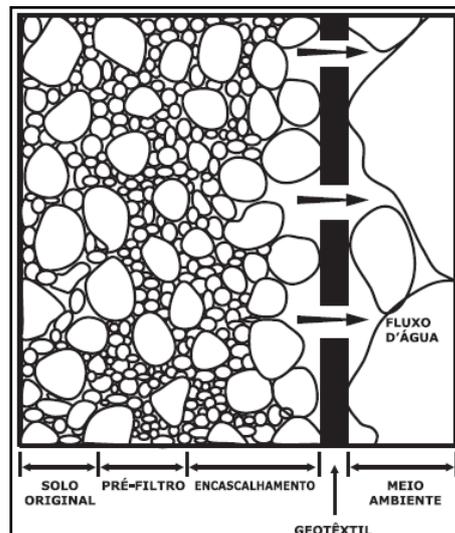
Figura 6- Drenagem Planar.



Fonte: ABINT, 2001.

- Filtragem: O Geotêxtil, através de sua estrutura física, retém a fase sólida deixando livre a passagem aos fluidos. O fenômeno de filtração para a água percolando em um solo bem graduado pode ser visualizado no esquema apresentando na Figura 7 (ABINT, 2001). A permeabilidade do tecido, também conhecida como permissividade, e as características dos poros da estrutura do material são indicadores de efetividade do filtro geotêxtil.

Figura 7- Filtragem.



Fonte: ABINT, 2001.

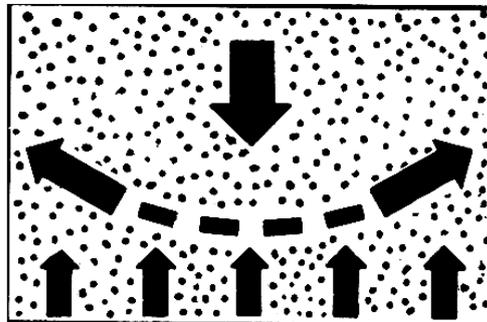
- Reforço: O geotêxtil atua como reforço quando a estabilidade de um subsolo fraco é complementada pela maior resistência à tração do tecido fibroso. A resistência à tração permite que os geotêxteis funcionem como armadura aumentando a capacidade de suporte e estabilidade do solo.

O princípio de utilização de geotêxteis como reforço é combiná-los com a estrutura do solo para que aumente a coesão das suas partículas (Gomes, 2011; Rawal *et al.*, 2010).

O geotêxtil atua, ao deformar-se, como um distribuidor de cargas sobre uma superfície maior. As propriedades de interface, nomeadamente o atrito entre o solo e o geotêxtil, permitem assegurar uma boa transmissão e repartição das tensões no meio envolvente.

A inserção de um geotêxtil na base de um aterro construído em solo mole aumenta a sua resistência e evita roturas. Com o passar do tempo, a água dos poros na fundação migra a partir da base do aterro aumentando a resistência da fundação (GOMES, 2011). Esta função encontra-se representada nas imagens presentes na Figura 8.

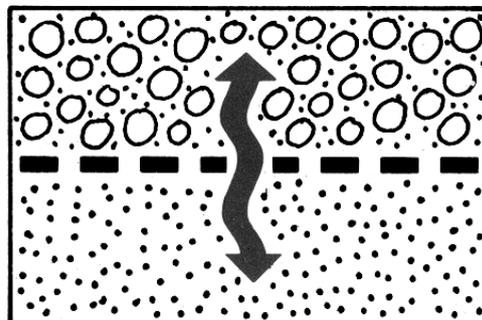
Figura 8- Reforço.



Fonte: ABINT, 2001.

- **Separação:** O Geotêxtil, interposto entre dois materiais de naturezas diferentes, impede sua mistura e interpenetração, preservando suas características originais (ABINT, 2001). Com a função de separação pretende-se que o geotêxtil separe duas camadas de diferentes materiais (Figura 9), de modo a evitar contaminações, misturas ou, até mesmo, o seu contato (GOMES, 2011).

Figura 9- Separação.



Fonte: ABINT, 2001.

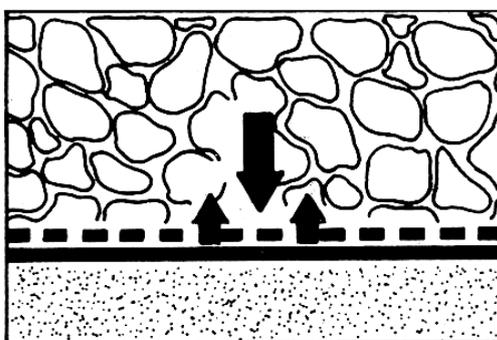
- **Proteção:** O Geotêxtil, colocado adjacente a outro elemento de uma obra geotécnica, o protege de danos mecânicos tais como abrasão, funcionamento e rasgo (ABINT, 2001). A estrutura do geotêxtil proporciona um efeito de

amortecimento (Figura 10), sendo a redistribuição de tensões provocadas pelas cargas, tanto mais eficaz quanto mais espesso e compacto for o geotêxtil (GOMES, 2001).

No âmbito da função de proteção dos geotêxteis é possível referir-se a aplicação destes no controle da erosão superficial. Os geotêxteis permitem reduzir o escoamento, reter partículas de solo e protegem o solo sem vegetação do sol, chuva e vento (HORROCKS & ANAND, 2000).

Os poros do geotêxtil permitem o desenvolvimento da vegetação que cobre a superfície do solo, e as suas raízes ancoram o solo de modo a que o geotêxtil não seja mais necessário para prevenir a erosão (GOMES, 2011).

Figura 10- Proteção.



Fonte: ABINT, 2001.

Geralmente, um dado Geotêxtil pode executar uma ou mais das funções descritas.

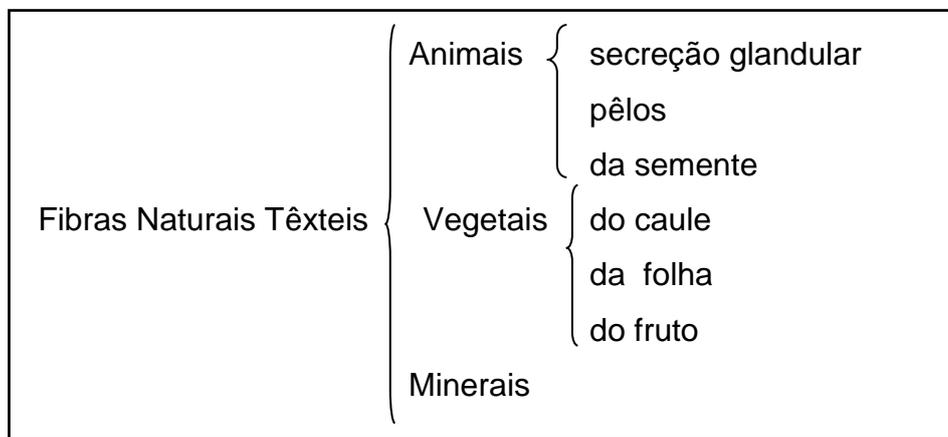
2.5. Fibras

As fibras têxteis são elementos filiformes caracterizados pela flexibilidade, finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima, sendo aptas para aplicações têxteis (ARAÚJO, 2011). Existem fibras descontínuas e contínuas, as primeiras possuem o comprimento limitado a alguns centímetros, enquanto as contínuas têm um comprimento muito grande, sendo esses comprimentos limitados devido a razões técnicas (COSTA, 2013). De acordo com a ASTM (2013) (American Society for Testing and Materials), fibra é um material que se caracteriza por apresentar um comprimento pelo menos 100 vezes superior ao diâmetro ou espessura.

Atualmente são utilizados diferentes tipos de fibras, como sua matéria-prima, sendo que algumas dessas fibras foram conhecidas e utilizadas nos primeiros anos

da civilização, bem como nos tempos modernos (Corbman, 1985). Fibras têxteis são classificadas segundo a sua origem em dois grandes grupos, fibras naturais e fibras não naturais, também conhecidas como “Man made” (fibras fabricadas pelo homem). As fibras naturais, tais como algodão, lã, seda e linho, são aquelas que são proporcionadas diretamente pela natureza, sob uma forma fibrosa já pronta. As fibras não naturais, ou artificiais, são aquelas geradas pelo Homem e que previamente não possuíam uma forma fibrosa adequada. Também nesta categoria de fibras não naturais podemos referir as fibras inorgânicas como o vidro, carbono ou basalto. (ARAÚJO, 2011; COOK, 1984).

As fibras naturais são subdivididas em três grupos:



Fonte: Araújo, 1984.

As fibras de origem animal, tendo por base a proteína, incluem lã e outras semelhantes a fibras de pêlo, e por fibras como a seda (COOK, 1984).

As fibras vegetais são as fibras compostas por celuloses e como exemplo, tem-se algodão, juta, bambu, linho, ramie, cânhamo, fibras de coco, sisal entre outras fibras (KUMAR, 2014).

As fibras celulósicas podem ser classificadas quanto a sua origem como: Fibras da semente são fibras das células epidérmicas da semente de certas plantas, têm estrutura unicelular e são quase inteiramente constituídas por celulose, ex.: capoc e algodão; Fibras de caule são fibras provenientes do líber de certas plantas e são constituídas essencialmente por celulose, com substâncias incrustantes e intercelulares formadas por substâncias pécticas, hemicelulose e lignina, ex.: cânhamo e juta; Fibras da folha são fibras provenientes da folha de certas plantas e apresentam composição semelhante às fibras de caule, ex.: aloe e banana; Fibras do fruto são as fibras provenientes de certos frutos e também, apresentam

composição semelhante às fibras de folha e caule, ex.: sisal e coco (ARAÚJO, 1984).

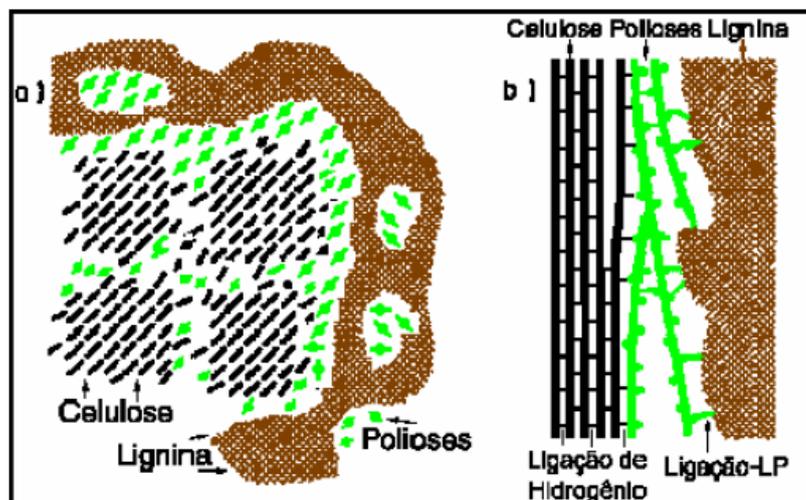
Fibras naturais minerais são aquelas de origem mineral e sua principal fibra é o amianto. O amianto é uma fibra natural obtida a partir de várias rochas, sendo uma forma fibrosa de silicato de magnésio e de cálcio, contendo alumínio, ferro, entre outros minerais. Visto que partículas de fibra de amianto se alojam nos pulmões, e foram encontradas como cancerígenas, a sua utilização tem sido limitada (CORBMAN, 1985).

As fibras não naturais podem ser subdivididas em duas diferentes classes, de acordo com a substância formadora da fibra. Temos assim, fibras de polímeros naturais, cujo material fibroso tem origem na natureza, e as fibras sintéticas, que são aquelas em que o Homem executou toda a operação de produção das fibras, a partir de produtos químicos derivados de carvão ou petróleo (ARAÚJO, 2011; COOK, 1984).

2.6. Fibras Naturais Vegetais

As fibras de origem vegetal consistem principalmente de: celulose, hemicelulose, pectina e lignina, Figura 11. A percentagem individual destes componentes varia de acordo com os diferentes tipos de fibras. Esta variação também pode ser afetada por condições de crescimento e colheita.

Figura 11- Modelo esquemático da associação dos componentes na parede celular a) visto de um corte transversal; b) vista de um corte tangencial L-P, indica ligações lignina polioses.



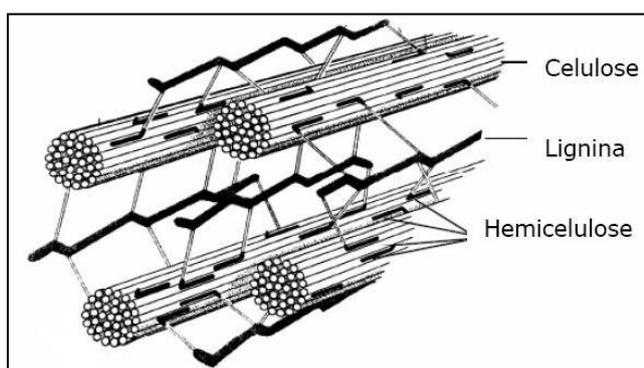
Fonte: Razera, 2006.

A celulose é um polissacarídeo linear de alta massa molecular, tem de 10 a 25 nm de diâmetro, comprimento indeterminado e, 30 a 100 moléculas de celulose que se unem paralelamente por ligações de 7 hidrogênio, (Kraus *et al.*, 2006) além de ser o principal constituinte estrutural, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras, e estar distribuída em todas as plantas, desde árvores desenvolvidas até organismos primitivos.

A hemicelulose é um polissacarídeo completamente amorfo, com um peso molecular menor em comparação com a celulose. A natureza amorfa da hemicelulose resulta em que seja parcialmente solúvel em água e soluções alcalinas. Confere às fibras flexibilidade (RAZERA, 2006).

A pectina, cuja função é manter a fibra em conjunto, é um polissacárido tal como a celulose e hemicelulose. A lignina é um polímero amorfo, mas ao contrário da hemicelulose, a lignina é composta principalmente de aromáticos e tem pouco efeito sobre absorção de água (Bledzki *et al.*, 1999). Na fibra, a celulose está associada com outras substâncias, sendo elas estruturais e envoltórias, como lignina e as hemiceluloses, respectivamente, como pode ser observado na Figura 12, ambas em quantidades consideráveis (DENCE e REEVE, 1996). Essas substâncias estão fortemente associadas e ligadas covalentemente (Girio *et al.*, 2010).

Figura 12- Representação da fibra de materiais lignocelulósicos e seus componentes: celulose, hemicelulose e lignina.



Fonte: Lynd *et al.*, 2002.

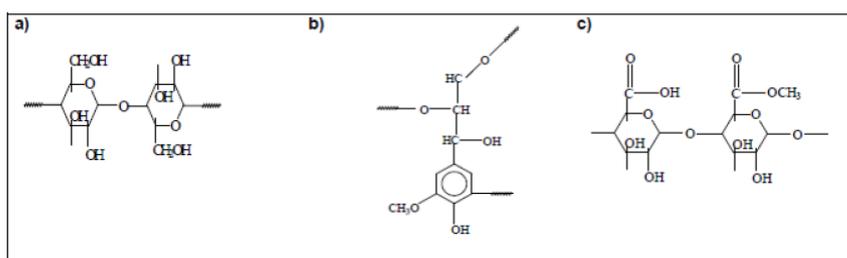
As moléculas de hemicelulose estão quase paralelas às fibrilas de celulose, enquanto a lignina apresenta-se em uma forma aleatória, conferindo maior estabilidade à parede. Internamente, as fibrilas da fração celulósica encontram-se dispostas como espirais, de forma a conferir força e flexibilidade ao material. A terceira e última fração principal, a hemicelulose, atua como um elo químico entre a

8 celulose e a lignina. Estas características resultam em materiais flexíveis, porém altamente resistentes a espécies químicas (CASTRO e PEREIRA JR, 2010).

Localizada nas paredes das fibras, a celulose possui fórmula molecular bruta $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde n representa o número de moléculas de glicose (meros) que compõem a cadeia e pode assumir um valor de até 15.000 unidades. O valor de n tem uma relação direta com o grau de polimerização da celulose e este por sua vez com a resistência física da mesma (D'ALMEIDA, 1981).

A estrutura da parede da célula vegetal é composta por um retículo microfibrilar incluído em uma matriz de moléculas unidas entre si, estabilizadas por ligações de hidrogênio intramoleculares (ligações entre unidades de glicose da mesma molécula) e intermoleculares (entre unidades de glicose de moléculas adjacentes) e de *Van der Waals* formando estruturas altamente insolúveis (ARANTES e SADDLER, 2010), como pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13- Composição química a) Celulose; b) Lignina; c) Pectina.



Fonte: Pereira, 2013.

A quantidade de celulose depende do método de processamento e baixos níveis de lignina indicam alta maleabilidade e aspereza da fibra (YOUNG, 1994). Com base nessa informação, pode-se analisar a Tabela 2 que fornece a porcentagem de celulose, lignina e hemicelulose nas fibras mais usadas.

Tabela 2 - Composição de algumas fibras naturais vegetais

Fibras	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Umidade (%)	Ceras
Algodão	85-90	5,7	-	0-1	7,85-8,5	0,6
Bambu	60,8	0,5	32	-	-	-
Linho	71	18,6-20,6	2,3	2,2	8-12	1,7
Cânhamo	70-74	17,9-20,4	3,7-5,7	0,9	6,2-12	0,8
Juta	61,1-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	12,5-13,7	0,5
Ramie	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	7,5-17	0,3
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	10-22	2
Coco	32-43	0,15-0,25	40-45	3-4	8	
Banana	63-64	19	5	-	10-12	-

Fonte: (Kumar, 2014).

As ligações intermoleculares são responsáveis pela rigidez e as ligações intra-moleculares são responsáveis pela formação de fibrilas, estruturas altamente ordenadas, que se associam formando as fibras de celulose (BEVITORI, 2014).

Segundo Chand *et al.* (1988), a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras são diretamente proporcionais ao teor de celulose e inversamente proporcionais ao ângulo das microfibrilas. Já o alongamento máximo de ruptura aumenta com o ângulo, pois é maior o trabalho de fratura necessário para o estiramento das microfibrilas.

O emprego destas fibras apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, o fato de não possuírem propriedades uniformes, conseqüentemente, apresentam uma grande variação nos valores das suas propriedades, as quais estão diretamente relacionadas com a composição dos seus constituintes: celulose, hemicelulose e lignina (LEÃO, 1997).

Mas também indicam grandes vantagens no uso de fibras naturais, tais como a baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida, recicláveis, não toxicidade e biodegradabilidade; baixo custo e baixo consumo de energia na produção, sendo assim estudadas as características mecânicas (Satyanarayana *et al.*, 2007).

2.7. Bananicultura

A banana é originária do Sudeste Asiático na região em que hoje se localizam Filipinas, Malásia e Indonésia, porém seu cultivo foi difundido através dos séculos nas demais regiões de clima propício (Figura 14). Na América, foi trazida por colonizadores na ilha caribenha de São Domingos, no ano de 1516 (SOUZA e CONCEIÇÃO, 2002).

Figura 14- Bananeira da Malásia.



Fonte: Khalil *et al.* 2006.

Os países de destaque na produção mundial de bananas, em 2010, são: Índia, China, Filipinas, Equador e o Brasil em 5º com 6,9 milhões de toneladas. Entre os 10 países com maior produção estão quatro asiáticos, um africano e cinco latino americanos, considerados estes como nações em desenvolvimento.

O Brasil é o segundo produtor mundial de bananas. O país exporta apenas 1,2% da produção nacional (em toneladas), principalmente para a Argentina e Uruguai. Segundo Medina, 1985, a banana é uma das frutas de maior destaque na fruticultura brasileira quanto à sua importância econômica.

Cultivada por grandes, médios e pequenos produtores, 60% da produção é proveniente da agricultura familiar. A cultura de banana está distribuída em todos os Estados, incluindo o Distrito federal. De acordo com Medeiros (2012), os Estados mais representativos para a produção desta fruta são: São Paulo, Bahia, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais, Pernambuco e Ceará (em área colhida e produção). No Nordeste do País é produzido 34% do volume total nacional, seguido das Regiões Norte (26%), Sudeste (24%), Sul (10%) e Centro-Oeste (6 %).

Em estudo realizado por Souza *et al.* (2010), é apresentado que após a colheita da bananeira, ela é cortada e seus resíduos de biomassa (pseudocaule e folhas) são dispostos na própria lavoura até a sua completa decomposição por agentes naturais. Enquanto que nos processos de industrialização, os principais resíduos são as cascas, frutos rejeitados e engaço (base do cacho de bananas).

Segundo o mesmo trabalho, para cada tonelada de bananas são gerados: três toneladas de pseudocaule, 480 kg de folhas, 440 kg de cascas e 160 kg de

engãos. Com estes dados, estima-se que em 2013, foram geradas no estado 1.847.405 toneladas de pseudocaule e 295.584 toneladas de folhas, que podem ser utilizados na geração de energia e na confecção de compósitos e geotêxteis.

Diversas variedades de banana estão disponíveis no mercado brasileiro. As mais populares são as: “Prata”, “Pacovan” e “Terra” que são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no Brasil (Embrapa, 2012).

As variedades de banana mais difundidas no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D’Angola, do grupo AAB, utilizadas unicamente para o mercado interno; e Nanica, Nanicão e Grande Naine, do grupo AAA, também conhecido como o genoma das bananas é caracterizado pelas letras A (espécie *Musa acuminata*) e B (espécie *Musa balbusiana*), usadas principalmente para exportação. Cada letra representa o número básico de cromossomos. As suas combinações geram os diferentes grupos genômicos. Em menor escala, são plantadas a ‘Ouro’ (AA), a ‘Figo Cinza’ e a ‘Figo Vermelho’ (ABB), a ‘Caru Verde’ e a ‘Caru Roxa’ (AAA).

As variedades Prata, Prata Anã e Pacovan são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no Brasil. As bananas ‘Pacovan’, ‘Prata’, ‘Terra’ e ‘Mysore’ apresentam porte alto (Embrapa, 2012).

A banana ‘Prata’ apresenta frutos pequenos, de sabor doce a suavemente ácido. A ‘Pacovan’ é mais rústica e produtiva. Apresenta frutos 40% maiores e um pouco mais ácidos que aqueles do tipo Prata, e com quinias que permanecem mesmo depois da maturação. A ‘Prata Anã’, também conhecida como ‘Enxerto’ ou ‘Prata de Santa Catarina’, apresenta as pencas mais juntas que as da ‘Prata’, com frutos do mesmo sabor e com pontas em formato de gargalo. A ‘Maçã’, a mais nobre para os brasileiros, apresenta frutos com casca fina e polpa suave, que lembra o sabor da maçã.

As variedades do subgrupo Cavendish (Nanica, Nanicão, Grande Naine), também conhecidas como ‘banana-d’água’ ou ‘caturra’, apresentam frutos delgados, longos, encurvados, de cor amarelo-esverdeada ao amadurecer, com polpa muito doce, os quais são destinados principalmente à exportação. A ‘Terra’ e a ‘D’Angola’ apresentam frutos grandes, com quinias proeminentes, os quais, sugere-se, podem ser consumidos cozidos ou fritos. A ‘Mysore’ apresenta frutos com casca fina, de cor amarelo-pálida e polpa ligeiramente ácida, de grande adstringência quando consumida antes do completo amadurecimento (Embrapa, 2012).

Porém, diversos cultivares e híbridos vêm sendo estudados buscando maior rendimento (Lima *et al.*, 2009). A bananeira da cultivar Pacovan é classificada como Musa AAB. Cada letra representa o número básico de cromossomos, do subgrupo Prata, e é principalmente cultivada no Nordeste do Brasil. Também é cultivada na Índia, Austrália (Queensland) e nas ilhas do Oeste do Pacífico, onde é conhecida como Pachanadan, Improved Lady's Finger e Lady's Finger, respectivamente (MORTON, 1987). É também referida como Pacha Naadan. A classificação pode ser melhor visualizada no quadro da Figura 15.

Figura 15- Classificação de banana (*Musa sapientum*) por grupo cromossômico.

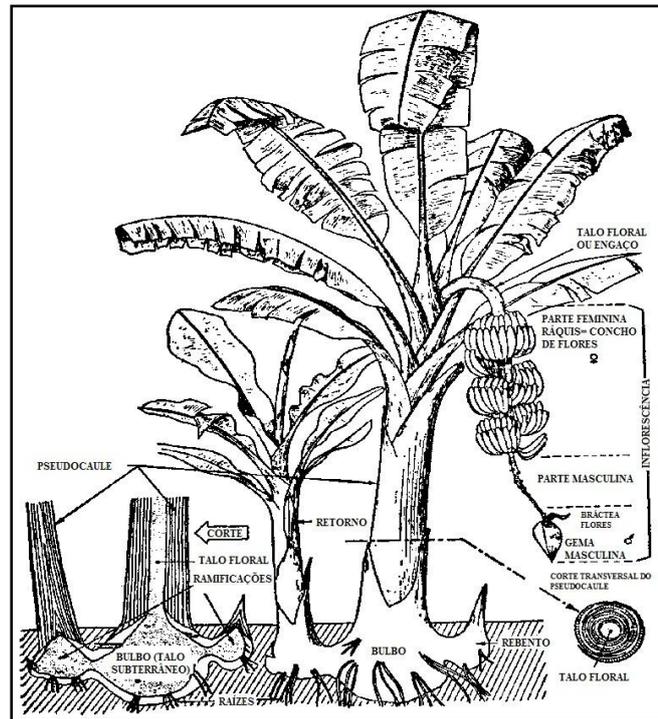
Ploidia	Genômio	Variedades
Grupo diplóide	AA	Banana ouro
Grupo triploide	AAA	Nanica, Nanicão, Gros-michel, Caru-roxa, Caru-verde, Grande Naine, Caipira.
	AAB	Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Thap Maeo, Branca, Terra D'Angola, Terrinha, Pacovaçu.
	ABB	Marmelo, Figo Vermelho, Figo Cinza.
Grupo tetraploide	AAAB	Pioneira, Fhia-01, Fhia-18, SH-3640, Pacovan Ken.

Fonte: Pessoa, 2009.

A bananeira, muitas vezes referida erroneamente como uma "árvore", tem uma haste aérea muito suculenta, devidamente indicada como o "pseudocaule", que é um agregado cilíndrico composto por bases de caules de folhas das bainhas do pecíolo (Mukhopadhyay *et al.*, 2009). Existe também uma haste subterrânea, conhecida como rizoma, e a parte que suporta as bananas, com o nome de pedúnculo, talo ou ráquis.

Uma representação esquemática do pseudocaule da bananeira está ilustrada na Figura 16. As folhas e talos do pseudocaule são eliminados após a colheita da fruta. Em termos de peso seco, a variedade Cavendish produz cerca de 8 ton/ha de pseudocaule, 7,7 t/ha de folhagem e 0,5 t/ha de ráquis (SOFFNER, 2001). Não existem dados disponíveis sobre a cultivar Pacovan. No entanto, em comparação com a variedade Cavendish, a planta Pacovan é mais alta (3,3 vs 2,7 m), o número de folhas vivas na colheita é mais elevado (7,7 vs 4,7) e os diâmetros dos pseudocaulares são semelhantes (cerca de 21 cm) (Lima *et al.*, 2009). Assim, é razoável supor que os resíduos da Pacovan pelo menos podem ser comparáveis com os relatados para a Cavendish (PEREIRA, 2013).

Figura 16- Bananeira e suas partes constituintes.



Fonte: Pereira, 2013.

2.8. Pacovan

A banana (*Musa sapientum* L.) é a quarta cultura mais importante do planeta, ficando apenas atrás do arroz, do trigo e do milho. Está inserida como uma das frutas mais importantes do mundo, além da sua composição nutricional, a produção de banana no estado da Paraíba ocupa o nono lugar (Embrapa 2012).

O cultivar Pacovan é uma variação do cultivar Prata e é, aproximadamente 50cm mais alta que a Prata. O pseudocaule Pacovan é mais grosso e chega até 50cm na sua base e até 30cm na sua roseta. A sua coloração é mais clara que a cultivar Prata (Embrapa 2012).

As folhas do cultivar Pacovan são mais compridas e mais largas com postura tendendo a horizontal, com uma certa semelhança as do cultivar Maçã (Embrapa 2012).

2.9. Fibras da bananeira

A banana é uma planta tropical muito cultivada em razão dos seus frutos. Seu gênero é classificado como *Musa*, da família *Musaceae*, a qual engloba mais de 30

espécies distintas e pelo menos 100 subespécies. O seu gênero é dividido em dois grupos principais chamados samusa e physicals.

Fibras de banana são brancas, finas, moles e lustrosas podendo ser usadas para produção de sacolas, cordas, jogos de mesa, artesanato em geral, Figura 17. Esta é uma fibra multicelular sendo a falta de dados científicos uma das razões para a sua pouca utilização.

Figura 17- Fibras do tronco da bananeira após tratamento com Alkali.



Fonte: Ezema *et al.*, 2014.

As propriedades mecânicas e físicas da fibra da banana podem ser visualizadas na Tabela 3. Sua resistência à tração e módulo de elasticidade são bem próximos da fibra de sisal, considerada uma das mais resistentes entre as fibras naturais.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas e físicas das fibras de banana.

Ref.	Comprimento (mm)	Diâmetro da fibra (μm)	Densidade (kg/m^3)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento de ruptura (%)
Zhu et al. (1994)	2,0	3,0	1500	700-800	-	-
Kulkarni et al. (1983)	10-300	50-250	-	468-1055	27-32	-
Chand et al. (1988)	-	80-250	1350	529-754	7,7-20	1-3
Beaudoin (1990)	-	-	-	1100-1300	-	-

2.10. Caracterização do material

De acordo com Sumaila *et al.* (2013), que caracterizou fibras do pseudo caule de uma bananeira madura com cortes transversais de 50 centímetros, as propriedades das fibras da banana podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades da banana

Propriedades	Fibra da banana
Celulose (%)	62-64
Hemi celulose (%)	19
Lignina (%)	5
Umidade (%)	10-11,5
Densidade (g/cm³)	1,35
Módulo de flexão (GPa)	2-5
Ângulo microfibrilar	11
Lúmen (tamanho)	5
Resistência à tração (MPa)	53,7
Módulo de maturidade (GPa)	3,48

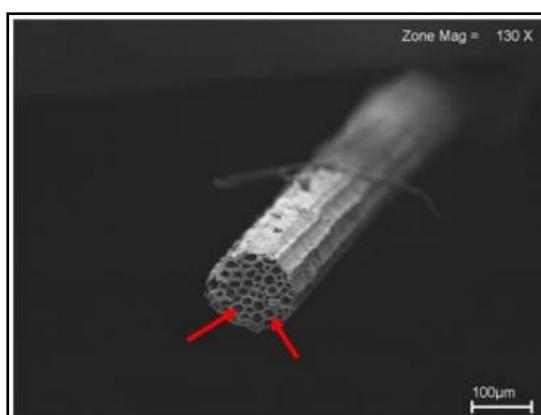
Fonte: Sumaila *et al.*, 2013

As estruturas celulósicas das fibras e suas ligações de hidrogênio, conferem força e rigidez às fibras. O autor ainda cita que a Lignina e a Hemicelulose são responsáveis por propriedades físicas e químicas, tais como biodegradabilidade, inflamabilidade, sensibilidade com relação à umidade, caráter termoplástico e degradabilidade por raios UV.

Com base nas informações, pode-se afirmar que os constituintes da fibra determinam o nível de interação com os geotêxteis e, portanto, a longevidade do geotêxtil depende diretamente da quantidade de celulose e lignina na fibra, quanto maior a quantidade, maior a resistência.

Com o objetivo de comprovar as propriedades em tração das fibras que foram encontradas admitindo-as com uma seção circular, Banna *et al.*, 2011, preparou amostras da fibra da bananeira Pacovan e as visualizou através de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), Figura 18.

Figura 18- Fibras da bananeira foram observadas através do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura).



Fonte: Banna *et al.* 2011.

Pôde-se então afirmar que a fibra da bananeira possui microestruturas semelhantes às demais fibras vegetais, onde se notou em sua composição

microestrutural, o alto percentual das microfibrilas de celulose, conduzindo a bons resultados nas propriedades mecânicas.

A caracterização mecânica das fibras de bananeira mostrou que estas, apesar de não terem sofrido qualquer tratamento, apresentaram bons níveis de resistência à tração (Banna *et al.* 2011).

Tendo em vista a composição química da bananeira, Borges *et al.* 2006, analisou a folha da bananeira Pacovan com relação aos seus nutrientes, conforme pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 - Teores padrão de nutrientes para a banana Pacovan.

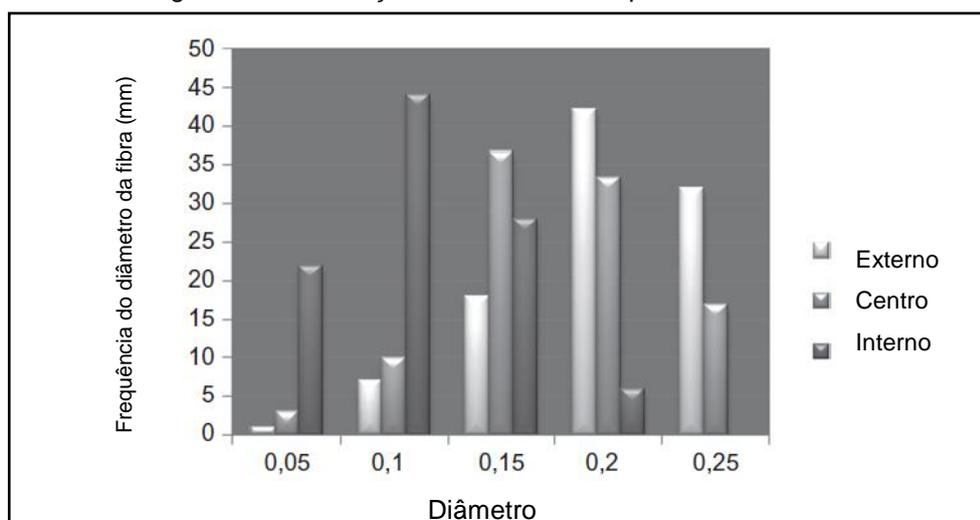
N/kg	22-24g
K/kg	25-28g
Ca/kg	6,3-7,3g
P/kg	1,7-1,9g
Mg/kg	3,1-3,5g
S/kg	1,7-1,9g
B/kg	13-16mg
Cu/kg	6-7mg
Fe/kg	71-86mg
Mn/kg	315-398mg
Zn/kg	12-14mg

Fonte: Borges *et al.* 2006.

A bananeira é uma planta que requer, para seu crescimento e sua produção, quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo. O potássio (K) e o nitrogênio (N) são os nutrientes mais absorvidos pela bananeira, seguidos por magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S) e fósforo (P). Dos micronutrientes, de maneira geral, o boro (B) e o zinco (Zn) são aqueles cuja falta causa maiores problemas à cultura (Embrapa, 2006).

Utilizando a bananeira do tipo Pacovan, Vattackatt *et al.* (2011), realizou um estudo do pseudo caule em que retirou fibras do revestimento externo (1 a 4 revestimentos), interno (10 ou mais revestimentos) e fibras da camada central (5 a 9 revestimentos). O autor dividiu as fibras retiradas em cinco grupos de espessuras 0,05, 0,1, 0,15, 0,2mm e mais grossas, Figura 19. Distribuição típica de espessuras diferentes nos revestimentos.

Figura 19- Distribuição das diferentes espessuras das fibras.



Fonte: Vattackatt *et al.*, 2011.

Os revestimentos das regiões internas possuem fibras com espessuras máximas de 0,05mm a 0,15mm, ou seja, menores que 0,2mm. Fibras com 0,25 ou espessuras maiores não foram identificadas nas regiões externas, enquanto que nas camadas externas foram encontradas fibras mais grossas (0,2mm e além). As camadas centrais apresentaram fibras de todas as espessuras, em sua maioria entre 0,15mm e 0,2mm.

Tendo em vista essas conclusões, a distribuição padrão das fibras com relação às espessuras nas camadas de revestimento é de grande utilidade para uma posterior extração das fibras. Por exemplo, revestimentos externos resultaram em fibras mais espessas, mais grossas. O mesmo não ocorreu com as fibras da camada interna (Vattackatt *et al.*, 2011).

A extração das fibras se dá em métodos diferentes que envolvem processos métodos químicos, mecânicos e bioextração. Cada método apresenta uma vantagem de acordo com a quantidade ou a qualidade da fibra a ser produzida (Ebiskie *et al.* 2013).

Vattackatt (2011), afirma que a qualidade da fibra depende da forma como é extraída do pseudo caule. Portanto, o autor defende a bioextração (MANILAL and AJIT 2009). Os resultados apresentados na Tabela 6 indicam resultados semelhantes, exceto ligeira variação para a quantidade de cinzas, lignina e hemicelulose, menores para a bioextração. A fibra que passou por processo biológico aparentou maior limpeza quando comparada à fibra extraída fisicamente.

Tabela 6 - Composição das fibras de banana extraídas do pseudo caule fisicamente e por bioextração.

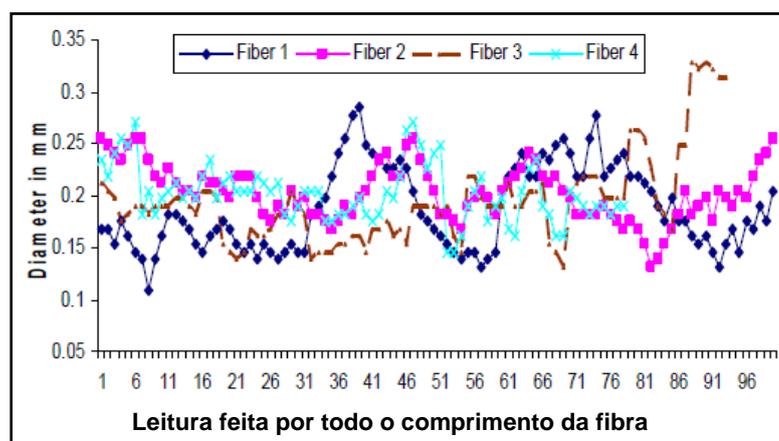
Composição (%)	Fibras bioextraídas	Fibras fisicamente extraídas
Umidade	9,1	9,7
Celulose	59,3	60,6
Hemicelulose	10,2	12,4
Lignina	17,5	18,9
Cinzas	1,0	2,9

Fonte: Vattackatt, 2011.

Ainda sobre as fibras do pseudocaule da bananeira *Musasapientum*, Mukhopadhyay *et al.*, 2008, fez um estudo sobre a variação do diâmetro das fibras e sua influência nas propriedades mecânicas.

O autor mapeou a variação do diâmetro em 100 diferentes pontos de uma amostra de quatro fibras. Após a análise, concluiu-se que 25% das fibras possuíam diâmetros entre 0,17mm e 0,19mm e 66% entre 0,14mm e 0,23mm, Figura 20.

Figura 20- Variação do diâmetro da fibra ao longo do comprimento da fibra. Leitura feita em 100 pontos distintos e cada comprimento da fibra.



Fonte: Mukhopadhyay *et al.* 2008.

Na Figura 20, pode-se visualizar a variação do diâmetro ao longo das fibras. Mesmo com a leitura em 100 pontos diferentes, a distribuição da variação dos diâmetros segue uma distribuição normal (Mukhopadhyay *et al.*, 2008).

O autor ainda utilizou as mesmas quatro fibras para um teste de Resistência à tração. Os resultados revelaram que as taxas de deformação desempenharam um papel importante nas curvas de tensão na tração das fibras e na natureza do rompimento. A tenacidade foi aumentada em $0,5 \text{ min}^{-1}$, porém sofre diminuição da do valor da velocidade (Tabela 7).

Tabela 7 - Efeitos da variação das taxas de deformação

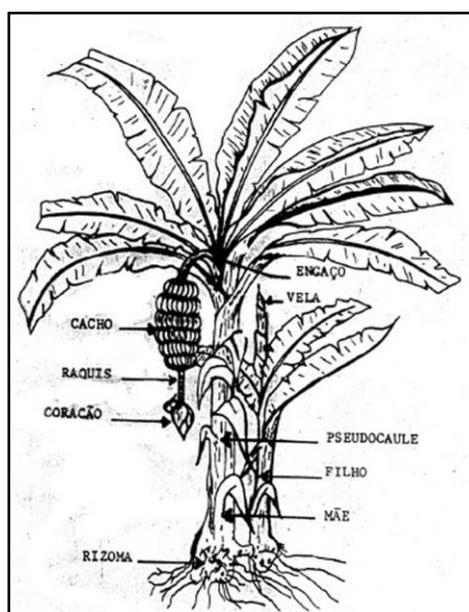
Fibra n°	Taxa de deformação (min ⁻¹)	Tenacidade (MPa)	Extensão (%)
1	0,1	167,2 (26,8)	3,0 (17,2)
2	0,5	203,4 (18,6)	2,7 (17,8)
3	1	168,6 (30,1)	2,3 (27,8)
4	10	146,2 (26,2)	1,2 (28,2)

Fonte: Mukhopadhyay *et al.*, 2008.

Os resultados podem ser explicados em termos de estrutura interna da fibra, tais como estrutura celular, ângulo microfibrilar, defeitos, etc. A uma baixa taxa de deformação, a carga aplicada é aumentada pela região amorfa. A fratura não é tão abrupta devido ao fato que algumas fibrilas estendem e compartilham a carga antes da fratura. A altas velocidades, entretanto, as falhas dominam catastróficamente e causam altas taxas de deformação (Mukhopadhyay *et al.*, 2008).

Preethi P. *et al.*, (2013) testou quatro tipos de bananeiras comuns na Índia, inclusive a fibra proveniente da bananeira do tipo Pacovan e seu fruto. As fibras foram retiradas do pseudocaule da planta e do pedúnculo, também conhecido como engaço, da planta, Figura 21.

Figura 21- Partes da bananeira.



Fonte: Bananeira, 2015.

Após a pesagem e caracterização das fibras, notou-se que as fibras apresentaram diferenças significativas no peso, no qual, as fibras do pedúnculo da bananeira do tipo Pacovan apresentaram maior peso. E, ainda, as fibras do pseudo

caule da mesma demonstraram melhor recuperação por porcentagem. Recuperação dada pela Equação 1 (Preethi P. *et al.*, 2013).

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{\text{Peso da fibra (g)}}{\text{Peso da fibra extraída do pseudocaule ou do pedunculo (g)}} \quad (1)$$

O autor ainda realizou diversos ensaios mecânicos que incluíram a determinação da densidade linear das fibras dada em tex, Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades físicas das fibras do pseudocaule e do pseudocaule de diferentes tipos de bananeiras.

Partes usadas para extração das fibras	Tipos de bananeiras	Tex	Diâmetro (mm)	Carga de Ruptura (g)	Tenacidade (g/tex)
Pseudocaule	Grand Naine	13,33	0,225	100,20	7,52
	Pacovan	24,00	0,142	186,20	7,76
	Monthan	22,00	0,170	114,97	5,23
	Nedran	24,23	0,119	327,37	13,51
Pedúnculo	Grand Naine	8,4	0,188	109,80	13,07
	Pacovan	11,23	0,146	171,43	15,27
	Monthan	10,67	0,142	163,93	15,36
	Nedran	14,50	0,129	332,33	22,92

Fonte: Preethi P. *et al.*, 2013.

Sabendo-se que a tenacidade é calculada pela força de ruptura e a densidade linear sem revestimento, o autor concluiu que fibras provenientes de bananeiras que possuem genoma B, Pacovan *Musasapientum* e Nedran *Musa acuminata*, em geral respondem melhor a ensaios de força e ainda produzem mais biomassa.

2.11. Polímeros

O termo polímeros deriva do grego, *Polys* = muitos; *Meros* = unidades de repetição, portanto significa muitas unidades de repetição, foi criada por Berzelius, em 1832, para designar compostos de pesos moleculares múltiplos. Polímeros são substâncias de alto peso molecular proveniente de reações de polimerização. Isto é, são provenientes da combinação química de um grande número de moléculas idênticas ou similares (monômeros) para formar uma molécula complexa de elevado peso molecular (macromolécula). Podem ser homopolímeros, polímeros formados por monômeros de um único tipo de substância, ou copolímeros, polímeros formados por duas ou mais substâncias (MANO, 2000).

Há diversas formas de classificação dos polímeros, que geralmente são apresentados em três grandes categorias: termoplásticos, termofixos e elastômeros. Esses materiais são usados amplamente em todas as áreas da engenharia, devido à sua extrema versatilidade. Como exemplo de aplicação de polímeros, citamos o uso em bases de tintas, adesivos, pneus, pára-choques de automóveis, fibras e recobrimentos de fibras óticas, de fios de alta tensão e esta multiplicidade de aplicações derivam essencialmente da sua facilidade de processamento, aliado ao seu relativo baixo custo.

Em termos de materiais para implantes, os polímeros apresentam uma boa alternativa, visto que, possuem propriedades mecânicas desejáveis. Por exemplo, Fukada *et al.* (1975) trabalhando com teflon implantado no fêmur de coelhos, constataram a formação de calo ósseo em apenas duas semanas. No entanto, apesar de apresentar qualidades desejáveis para agir como um biomaterial, se o polímero apresentar toxicidade, o processo inflamatório se mostrará muito acentuado provocando necrose no tecido receptor. Geralmente a toxicidade dos polímeros é considerada maior que a dos metais e das cerâmicas. A presença de cargas superficiais no polímero é outro fator que influencia a formação do tecido fibroso.

No caso de carga superficial positiva pode atrair eritrócitos, que possuem carga superficial negativa; e o contato das células com o material potencialmente citotóxico pode destruí-las (AGOSTINI, 2009).

2.12. Látex

A seringueira é uma planta da família das Euforbiáceas, que abrange várias espécies com grande interesse comercial como, por exemplo, a mamona (*Ricinus communis* L.), o tungue (*Aleurites*) e a mandioca (*Manihot*) (Dall'antonia, A. C. *et al.* 2006) Figura 22. Numerosas espécies botânicas espalhadas pelo planeta produzem látex, ocorrendo no reino das plantas em mais de 12.000 espécies pertencentes a 900 gêneros. Dessas plantas laticíferas aproximadamente 1.000 espécies contêm borracha (AGOSTINI, 2009).

Entretanto, a única espécie que gera borracha de alta qualidade e em condições econômicas é a *Hevea brasiliensis*. Originária da região setentrional da América do Sul foi climatizada em 1890 no Sri Lanka (antigo Ceilão) e na Malásia. Atualmente, a *Hevea brasiliensis* é cultivada nas regiões tropicais da Ásia (Malásia,

Indonésia, Tailândia e Sri Lanka), onde 90% da produção mundial é extraída (KOHJIYA *et. al.*, 2014).

Figura 22- a) e b) *Hevea Brasiliensis*.



Fonte: Guerreiro L., 2003.

O Brasil já foi o principal produtor e exportador de borracha no mundo, até os anos cinqüenta, hoje produz apenas cerca de 1% da produção mundial, o que é insuficiente para o consumo interno, sendo necessária a importação de aproximadamente 60% da borracha consumida no país (AGOSTINI, 2009).

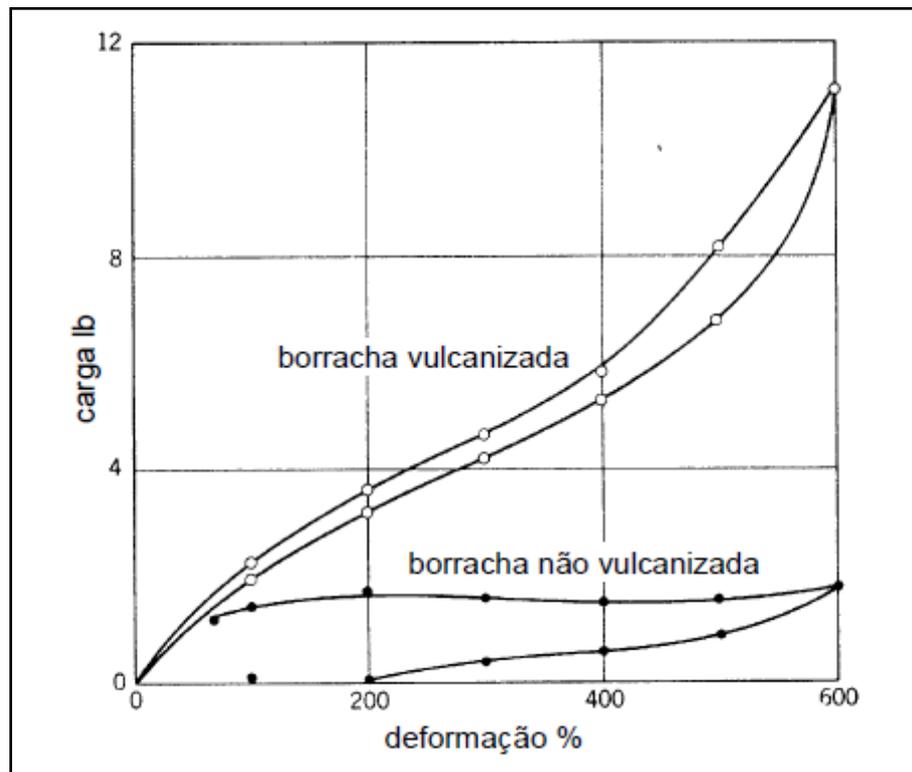
O látex é um sistema coloidal polifásico, sendo a parte dispersa constituída de micelas de borracha, proteínas, lutóides e partículas Frey-Wyssling e o meio dispersivo constituído do soro aquoso onde 37,5% é borracha e 60%, água (Pinto, 2004). As partículas Frey-Wyssling, que ocorrem em pequena quantidade (cerca de 1%), são constituídas de carotenóides e lipídios conferindo à borracha uma coloração amarelada (SANSATSADEEKU, 2011).

A borracha natural é obtida por coagulação do látex por árvores do gênero *Hevea brasiliensis*, com cerca de 10 á 15 metros de altura, tronco retilíneo, com diâmetro aproximado de 30 centímetros. As plantações de seringueiras apresentam uma densidade de aproximadamente 450 árvores por hectare e começam a produzir após 7 a 8 anos de plantio. A obtenção de espécies de alta produtividade é conseguida através de processos de enxertia de borbulhas, de árvores reconhecidas como de alta produção, em mudas obtidas a partir de sementes; estas mudas, assim enxertadas, são denominadas clones (PINTO, 2004).

Embora a borracha sintética obtida do petróleo possua quase a mesma composição química da borracha natural, suas propriedades físicas são inviáveis para alguns manufaturados, como por exemplo: para luvas cirúrgicas, preservativos, pneus de automóveis e revestimentos diversos, além de ser uma fonte não renovável. Isso se deve ao fato da borracha natural sofrer vulcanização, operação

através da qual são criadas ligações entre as macromoléculas de um elastômero. Desta forma o elastômero, que à partida se apresenta como uma massa fraca, muito plástica e sem propriedades mecânicas de interesse seja transformado num produto forte, resistente e com boas características elásticas. A vulcanização foi descoberta em 1839 por Goodyear, que aplicou esta técnica à borracha natural, utilizando como agente de vulcanização o enxofre. Esta operação pode ser realizada a quente ou a frio, Figura 23 (GUERREIRO, 2003).

Figura 23- Curvas Força-Deformação típicas de borracha vulcanizada e não vulcanizada.



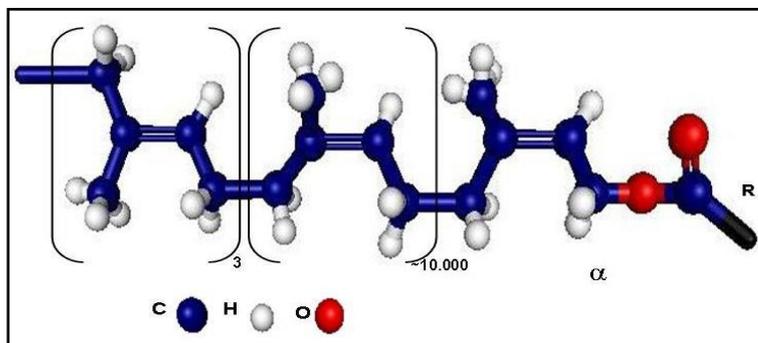
Fonte: Adaptado de Billmeyer, 1971 por Guerreiro, 2003.

A borracha natural é também matéria prima essencial para a fabricação de vários artefatos em transportes, indústrias e materiais bélicos, especialmente por ser um material de com boas propriedades isolantes e apresentar impermeabilidade tanto ao ar quanto à água (MORENO, 2006).

O polímero natural sintetizado pela espécie *Hevea* tem um peso molecular médio próximo a um milhão. É composto de aproximadamente três unidades *trans* isoprênicas, responsável pela parte cristalina, seguidas de cerca de 10.000 unidades *cis* isoprênicas, responsável pela parte amorfa, do tipo cabeça calda, combinadas por ligações 1,4 e um grupo terminal, conforme mostrado na Figura 24. Esse grupo terminal varia com a origem da borracha (AGOSTINI, 2009). Como a unidade de

repetição da parte *cis* isoprênica existe em uma proporção muito maior que a parte *trans* isoprênica a borracha natural se mostra um polímero amorfo.

Figura 24- Estrutura química da parte isoprênica da borracha natural.



Fonte: Agostini, 2009.

Os constituintes não borracha do látex são proteínas, aminoácidos, carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e outros constituintes inorgânicos. Os principais componentes ao redor da membrana do látex são os lipídios que apresentam importante papel no tempo de estabilidade mecânica do látex estabilizado em amônia.

2.13. Composição do Látex

O látex é composto por uma complexa mistura de diferentes componentes, incluindo macromoléculas. Um dos componentes majoritários do látex é o *cis* e/ou *trans* poli-isopreno. Outros constituintes presentes no látex e relatados em estudos fitoquímicos são: polissacarídeos, flavanóides, lipídeos, fosfolipídios e proteínas, ficou comprovado também a existência de alcanos, cetonastriterpênicos, triterpenóides, açúcares e ácidos graxos. Sabe-se que o polisopreno é um dos componentes de todas as espécies laticíferas, porém a elucidação dos outros constituintes necessita de estudos mais aprofundados.

O látex de *Hevea brasiliensis* é um sistema polidisperso, no qual partículas negativamente carregadas de vários tipos estão suspensas em um soro. Três tipos de partículas predominam: partículas de borracha que constituem 30 a 45% (em massa) do látex, os lutóides que constituem 10 a 20% e os chamados complexos de Frey-Wyssling (FW). O soro no qual as partículas estão dispersas é chamado de soro C (SANSATSADEEKU, 2011).

O látex recém coletado tem pH na faixa de 6,0 a 7,0 e densidade de 0,975 e 0,980 g/cm³ e viscosidade variável, principalmente se o látex for diluído em água em

virtude do intumescimento e ruptura dos lutóides. A composição média do látex natural recém coletado é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Composição média do látex recém coletado.

Constituinte	% em massa do látex
Borracha	25-45
Proteína	1-1,8
Carboidratos	1-2
Lipídios neutros	0,4-1,1
Lipídios polares	0,5-0,6
Inorgânicos	0,4-0,6
Aminas, Aminoácidos, etc.	0,4-0,6
Água	49-71

Fonte: Agostini, 2009.

2.14. Propriedades Térmicas

Segundo Callister (2005), propriedade térmica é a resposta de um material à aplicação de calor, ou seja, na medida que um sólido absorve calor, sua temperatura se eleva e a energia interna aumenta. A energia pode ser transportada para regiões mais frias da amostra caso existam gradientes de temperatura, e, por fim, a amostra pode fundir. A capacidade calorífica, a expansão térmica e a condutividade térmica são propriedades normalmente críticas para a utilização prática de um sólido.

As propriedades térmicas mais importantes são: a difusividade térmica (α), condutividade térmica (K), calor específico (C_p) e a resistência ao choque térmico.

Para aplicações como isolantes térmicos, ou sob condições nas quais boa resistência a tensões térmicas é requerida, as propriedades físicas que determinam a sua utilização são aquelas propriedades diretamente relacionadas com mudanças de temperatura. Essas propriedades são importantes para todos os materiais, mas para isolantes térmicos são essenciais. (Santos *et al.* 2004).

Segundo Santos *et al.* (2004), para aplicações de isolantes térmicos, a condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica são as propriedades mais importantes de um material potencialmente isolante térmico. Essas propriedades são relacionadas entre si através da Equação 2:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

Onde:

α é a difusividade térmica (mm^2 / s);
 k é condutividade térmica ($\text{W} / \text{m.K}$);
 c é calor específico ($\text{J} / \text{kg.K}$).

2.15. Capacidade Calorífica e Calor Específico

A capacidade calorífica, C , (J/mol.K) de um material é a quantidade de energia requerida para provocar a variação de temperatura desse material. Esta propriedade indica a habilidade do material de absorver calor dos arredores. Para se normalizar esse número, toma-se a variação de 1K (aumento ou decréscimo) e, além disso, fixa-se uma determinada quantidade de material (1 mol). Deste modo, determina-se a quantidade de energia necessária para se elevar em 1K a temperatura de 1 mol de determinado material. Passa a ser chamado de calor específico, c , quando a unidade for J/kg.K . De um ponto de vista experimental, essa energia requerida para se variar a temperatura de um material é medida na forma de calor trocado, como mostrado na Equação 3.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (3)$$

Onde:

dQ é a energia exigida para produzir uma variação de temperatura de dT ;

C é a capacidade calorífica ou calor específico.

Normalmente, a capacidade calorífica é especificada em termos de um mol do material (por exemplo, J/mol.K , ou cal/mol.K). O calor específico (representado freqüentemente por um c_p minúsculo) é empregado algumas vezes; este representa a capacidade calorífica por unidade de massa e possui várias unidades (J/kg.K , cal/g.k , $\text{Btu/lbm-}^\circ\text{F}$) (Callister, 2005).

$$c_p = \frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{\partial H}{\partial T} \quad (4)$$

Basicamente, então, o calor específico está associado à variação de energia interna do material (δH), que em última análise se manifesta através de temperatura do corpo.

2.16. Expansão Térmica ou Difusividade Térmica

A maioria dos materiais sólidos se expande quando é submetida a um aquecimento e se contrai quando é submetida a um resfriamento. A variação no comprimento em função da temperatura para um material sólido pode ser expressa da seguinte maneira (Equação 5):

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha L \Delta T \quad (5)$$

Onde:

L_0 é o comprimento inicial;

L_f é o comprimento final;

ΔT é a variação de temperatura de T_0 para T_f ;

T_0 é a temperatura inicial;

T_f é a temperatura final.

O parâmetro α , é conhecido por **coeficiente linear de expansão térmica**; ele é uma propriedade do material indicativa do grau segundo o qual um material se expande quando é aquecido, e possui unidades do inverso da temperatura [(°C)⁻¹ ou (°F)⁻¹]. Obviamente, o aquecimento ou o resfriamento afeta todas as dimensões de um corpo, causando uma conseqüente alteração no seu volume. A variação no volume do corpo em função da temperatura pode ser calculada a partir da Equação 6.

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_v \Delta T \quad (6)$$

Onde:

ΔV é a variação do volume do material;

V_0 é o volume original do material;

α_v é o coeficiente volumétrico de expansão térmica.

Em muitos materiais, o valor de α_v é anisotrópico; isto é, ele depende da direção cristalográfica ao longo da qual é medido (Callister, 2005).

2.17. Condutividade Térmica

A condução térmica é o fenômeno segundo o qual o calor é transportado das regiões de alta temperatura para as regiões de baixa temperatura em uma substância. A propriedade que caracteriza essa habilidade de um material em transferir calor é a **condutividade térmica**. Ela pode ser melhor definida em termos da Equação 7.

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

Onde:

q'' – fluxo de calor;

q'' é o *fluxo de calor*, ou escoamento de calor, por unidade de tempo por unidade de área (a área sendo tomada como aquela perpendicular à direção do escoamento);

k é a condutividade térmica;

dT/dx é o *gradiente de temperatura* através do meio de condução (Callister, 2005).

As unidades para q e k são W/m^2 (Btu/ft²-h) e $W/m-K$ (Btu/ ft-h-°F), respectivamente. A equação é válida somente para o escoamento de calor em condições de regime estacionário, isto é, para as situações em que o fluxo de calor (q) não se altera ao longo do tempo. Ainda, o sinal de menos na expressão indica que a direção do escoamento de calor é aquela da região mais quente para a região mais fria, ou seja, aquela que "desce" ao longo do gradiente de temperatura (Callister, 2005).

Segundo Callister, 2005, os valores médios para as propriedades mecânicas se encontra detalhado na Tabela 10.

Tabela 10 - Tabulação das Propriedades Térmicas para uma Variedade de Materiais.

Material	Cp (J/kg.K)	$\alpha_1 [(^{\circ}\text{C}) \times 10^{-6}]$	K(W/m.K)
Metais			
Alumínio	900	23,6	247
Cobre	386	17,0	398
Ouro	128	14,2	315
Ferro	448	11,4	80
Prata	235	19,7	428
Tungstênio	138	4,5	178
Cerâmicas			
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	7,6	39
Magnésia(MgO)	940	13,5	37,7
Sílica fundida (SiO ₂)	740	0,4	1,4
Vidro Borossilicato (Pyrex)	850	3,3	1,4
Polímeros			
Polietileno (alta densidade)	1850	106-198	0,46-0,50
Polipropileno	1925	145-180	0,12
Poliestireno	1170	90-150	0,13
Politetrafluoretileno (Teflon)	1050	126-216	0,25
Fenol-formaldeído (Baquelite)	1590-1760	122	0,15
Náilon 6.6	1670	144	0,24
Poli-isopreno	-	220	0,14

Fonte: Callister, 2005.

A condutividade térmica é considerada a propriedade térmica mais importante de um isolante, pois especifica a capacidade de um dado material tem de transferir energia térmica. (SANTOS, 2015)

São considerados como isolantes térmicos apenas materiais com condutividade térmica menor que 0,25 W/m.K (WANG 1988).

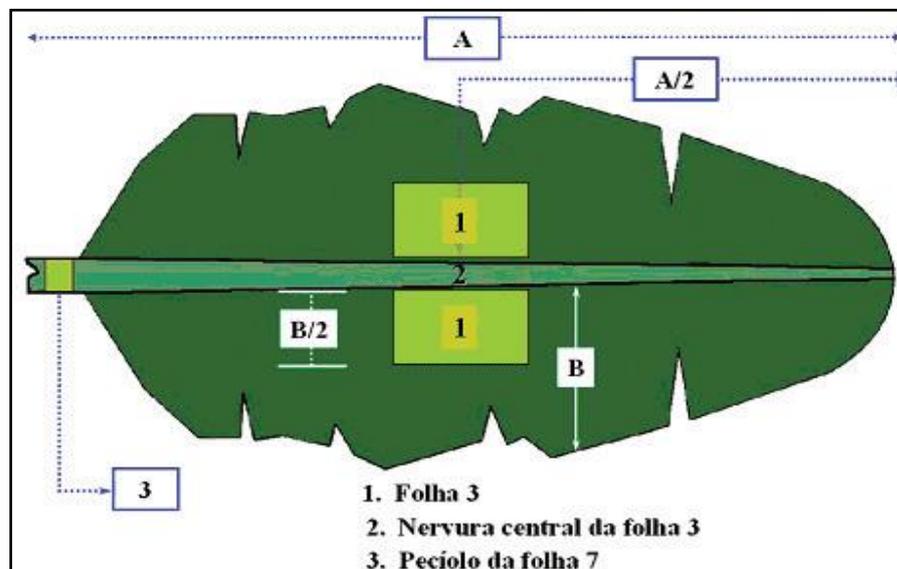
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Para a composição do geotêxtil, foram utilizadas fibras de bananeira, para compor o reforço do biotêxtil, e o látex pré-vulcanizado com o objetivo de atuar como matriz.

As fibras foram retiradas do pseudopecíolo central (caule) da folha da bananeira (Figura 25), onde as mesmas apresentaram comprimentos que variaram de 1,0 até 4,0 metros e um diâmetro médio de 1,32 milímetros.

Figura 25- Folha da bananeira dividida em 1) Folha; 2) Nervura central da folha; 3) Pecíolo da folha.



Fonte: Embrapa, 2012.

As folhas foram retiradas de uma bananeira localizada no Núcleo de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, do tipo Pacovan, proveniente da bananeira *Musa sapiteum*, conforme Figura 26.

Figura 26- Bananeira utilizada para a retirada das fibras.



O látex natural comercial utilizado é do tipo pré-vulcanizado da empresa Ki – Látex, Figura 27. As especificações técnicas do látex estabelecidas pela empresa podem ser melhor visualizadas na Tabela 11.

Figura 27- Garrafas de látex pré-vulcanizado.



Tabela 11 - Especificações Técnicas do Látex Pré Vulcanizado Centrifugado 60% .

Requisitos	Valores
Sólidos Totais	61
Borracha Seca (DRC)	60
Diferença entre Sólidos Totais e Borracha Seca	1,00
NH3	0,71
PH	10,63
Viscosidade	53 seg.
Estabilidade Mecânica	596
VFA	0,001
Cor	Normal

Fonte: Ki-Látex, 2017.

3.2. Métodos

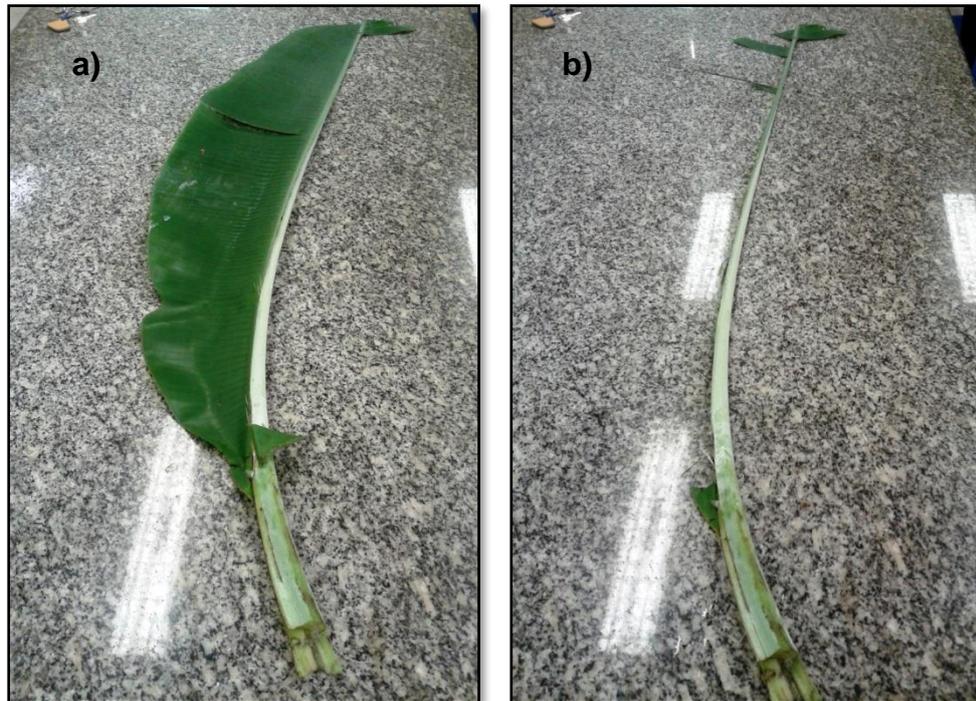
O primeiro passo para a confecção do geotêxtil foi a retirada das folhas da bananeira. A princípio, a idéia inicial era aproveitar as folhas secas que já haviam se desprendido da árvore, visando um dano menor a árvore e uma maior sustentabilidade por parte do geotêxtil. Porém, foi observado que as fibras, ao serem removidas da nervura central da folha, estavam bastante secas e quebradiças. Ao constatar esse fato, as folhas passaram a ser retiradas diretamente da árvore através de um corte no final do pseudocaule, conforme Figura 28. Mesmo realizado com o auxílio de uma faca, as folhas novas sempre foram respeitadas havendo apenas o corte das folhas maduras.

Figura 28- Corte da folha da bananeira.



As folhas do limbo esquerdo e direito foram descartadas após o corte das folhas da árvore, utilizando assim apenas a nervura central. (Figura 29).

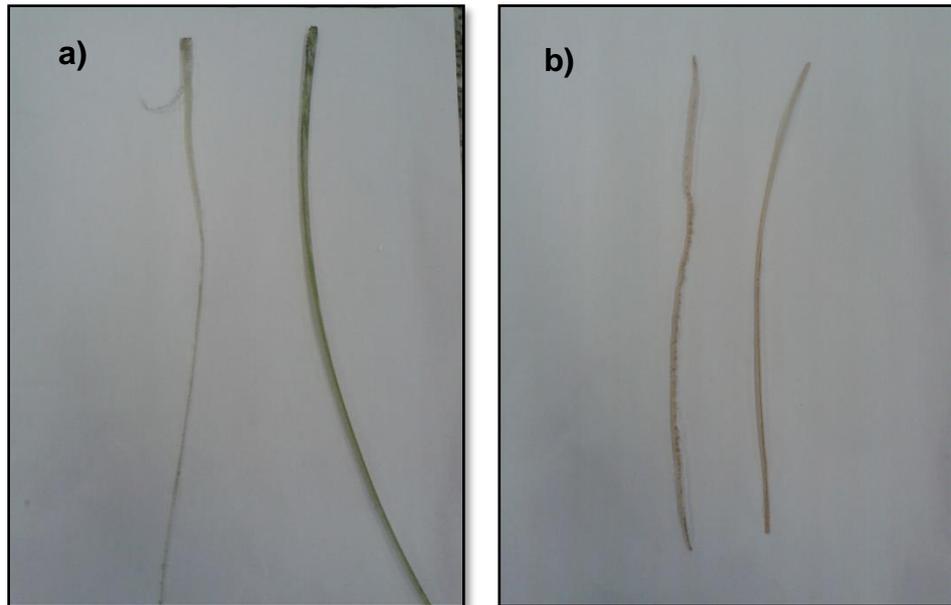
Figura 29- a) Folha retirada da bananeira com limbo esquerdo, b) caule pronto para retirada da fibras do caule central.



3.3. Preparação da Fibras

Depois de serem retiradas do caule, as fibras da folha da bananeira foram distribuídas com o intuito de secar a seiva, como observado na Figura 30, líquido proveniente da folha e do caule da bananeira. O processo de secagem foi realizado em temperatura ambiente climatizado. Ou seja, em torno de 23°C e, 60% de umidade.

Figura 30- a) Fibras após serem retiradas do caule da folha e b) fibras secas e cortadas, prontas para serem tecidas no tear.



Após um período de 24 horas, as fibras secas foram cortadas com um comprimento de 30 centímetros para posterior caracterização das fibras e tecelagem.

3.4. Caracterização dos materiais

As análises das fibras e dos geotêxteis foram realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, nos laboratórios dos cursos de Engenharia Têxtil, Engenharia Mecânica, Engenharia de Materiais e Engenharia Química. Primeiramente, foram feitas nas fibras da bananeira sem o tratamento de látex e, posteriormente, com o banho de látex. Foram feitos ensaios nos geotêxteis sem látex e com látex.

3.5. Análises das fibras

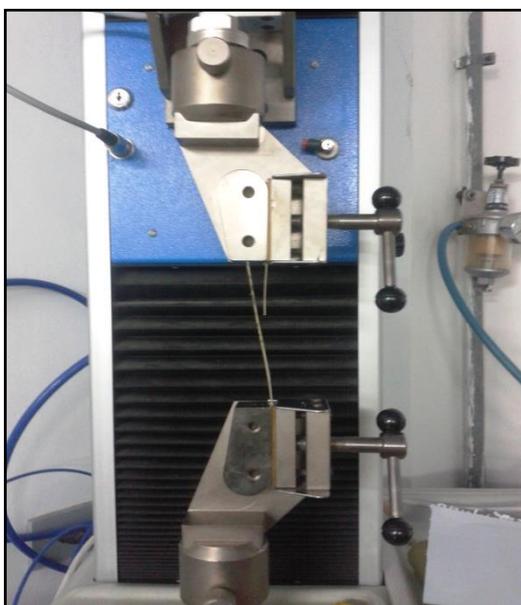
Para a caracterização da fibra, foram realizados testes de: resistência dos fios (tração), análises de Termogravimetria (TG) e análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3.6. Resistência das Fibras

As análises de resistência das fibras foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis, LabCTex DET/UFRN. As fibras sofreram tração no equipamento Tensolab 300 da marca Mesdan obedecendo a norma técnica ASTM D5034, Figura 31.

Este equipamento funciona aplicando uma força específica de estiramento em Newton por segundo. As garras seguram a fibra ou tecido a ser puxado e aplicam uma tração com o intuito de romper a amostra, testando assim, a força necessária para rompimento e alongamento da amostra.

Figura 31- Equipamento no laboratório de Engenharia Têxtil – LABCTEX/DET/UFRN.



Foi utilizada uma amostragem de 4 fibras com comprimento de dez centímetros, as quais sofreram uma tração de 10N/s. Foi ainda analisado o alongamento de cada fibra e o tempo necessário para o rompimento destas. A fibra que apresentou desvio padrão, foi descartada.

3.7. Ensaio de Termogravimetria

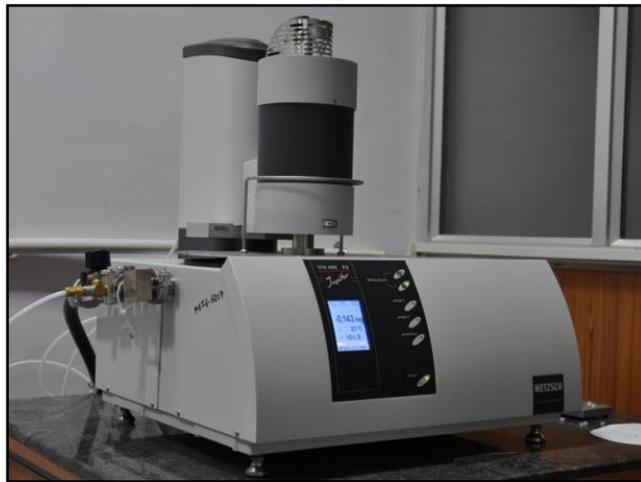
Os ensaios de Termogravimetria (TG) foram feitos no Laboratório do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás (NUPEG) da UFRN.

A análise termogravimétrica TG baseia-se no estudo da variação de massa de uma amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação,

condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação) em função do tempo ou da temperatura.

Para a obtenção dos resultados da análise de TG foi utilizado o equipamento Netzsch STA 449F3 (Figura 32). Tal equipamento avalia mudanças de massa em porcentagem (%) ou em peso (mg) e faz avaliação automática dos degraus de mudança de massa.

Figura 32- - Netzsch STA 449F3.



Simultaneamente, faz avaliações de DSC, tais como: Avaliação de efeitos exo e endotérmicos levando-se em consideração as constantes de tempo do sistema e os valores de resistência térmica, determinação da taxa de aquecimento e variação de temperatura.

Pequenas fibras com um centímetro e meio de comprimento foram submetidas a uma variação gradual de temperatura, chegando a um limite de 650°C.

3.8. Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Com o objetivo de visualizar e caracterizar a fibra na sua forma microscópica, análises foram realizadas no MEV, microscópio eletrônico de varredura. Para a realização das análises, foram utilizadas seis amostras, três fibras in natura e três com recobrimento de látex. Os experimentos ocorreram no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Engenharia dos Materiais (DEMAT).

O equipamento utilizado para a análise das fibras foi o Microscópio Hitachi TM3000, Figura 33, o qual trabalha com pequenos substratos, pois as amostras possuíam 1,2 cm de comprimento. As mesmas foram aumentadas de 50 a 100 vezes o seu tamanho natural.

Figura 33 - Microscópio Hitachi TM 3000.



Fonte: SILVA, 2012.

3.9. Tecelagem

Objetivando confeccionar um tecido feito a partir das fibras vegetais, utilizou-se um tear manual de 25 centímetros por 25 centímetros (Figura 34). As fibras foram dispostas em trama e urdume, onde a trama era composta por fibras mais rígidas e o urdume por fibras mais maleáveis, facilitando a tecelagem.

Figura 34- Tear.



O processo de tecelagem manual durou em média cinco horas. Após o processo de fabricação do tecido, as fibras tiveram suas pontas cortadas concluindo assim, a base do geotêxtil, Figura 35 e 36.

Figura 35 - a) tear com fibras de trama, b) tear com fibras nos sentidos de trama e urdume.

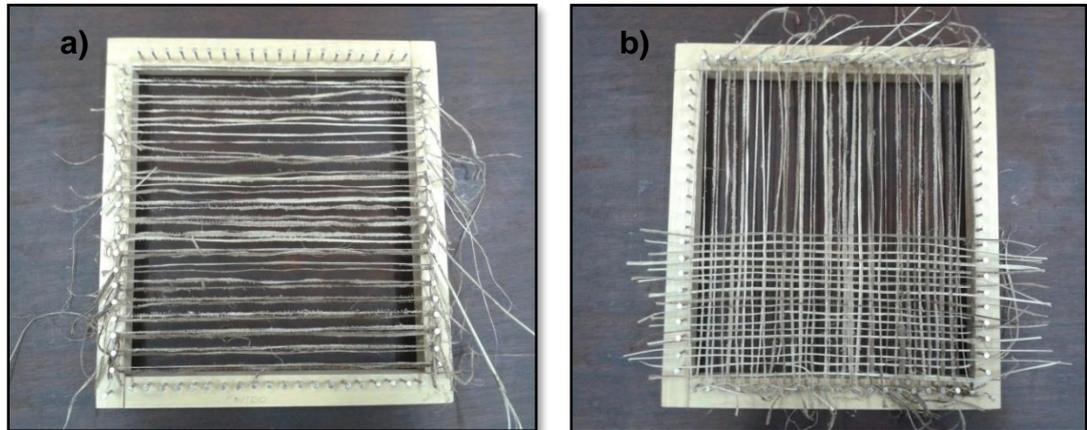
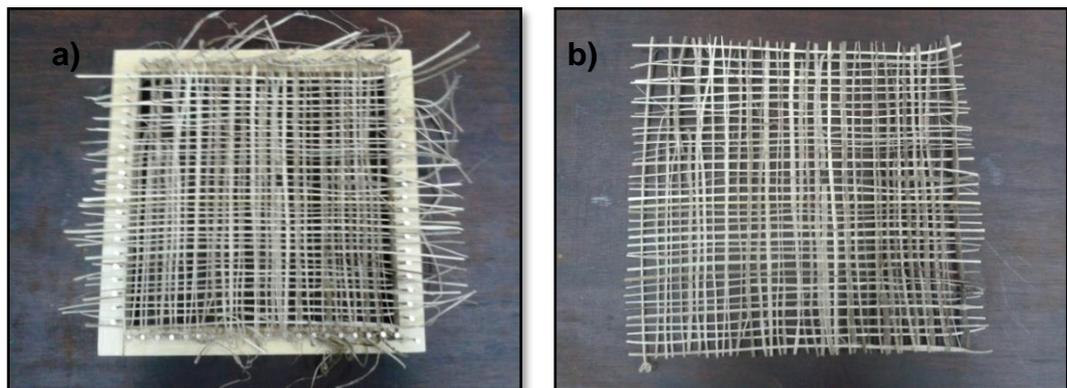


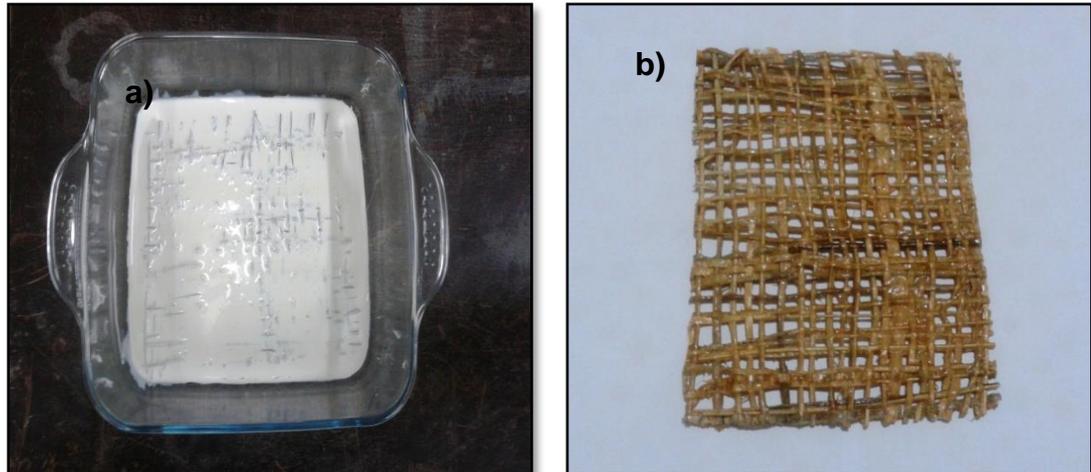
Figura 36- a) Tecido pronto ainda no tear e b) tecido pronto em estado final



3.10. Formação do Geotêxtil

O tecido geotêxtil foi formado através da união do tecido das fibras da bananeira proveniente do tear manual e látex natural pré-vulcanizado. A combinação do reforço e matriz foi realizada em um recipiente de vidro, Figura 37, com seis centímetros de altura, dezoito centímetros de largura e dezoito de comprimento, onde o tecido sem tratamento (in natura) ficou imerso no látex, o qual foi espalhado com o uso de um pincel. O processo de cura do geotêxtil até o estado final durou em média quatro horas. Ao final do processo, obteve-se um biotêxtil de 25cm² e com aproximadamente 0,3 cm de espessura.

Figura 37- a) Geotêxtil;b) Tecido imerso em látex e geotêxtil pronto.



Como o principal objetivo do trabalho era um geotêxtil sustentável e de fácil reprodução, o substrato foi revestido de forma simples e manual. Por esse mesmo motivo, as fibras in natura não passaram por nenhum processo de limpeza ou receberam qualquer componente químico. Isso prova que mesmo sem receber nenhum tratamento, a fibra demonstrou boa interação com o látex como pôde ser comprovado posteriormente nos ensaios.

3.11. Análises dos tecidos in natura e dos tecidos geotêxteis

Para a caracterização do geotêxtil foram realizados testes comparativos com os tecidos com e sem látex para uma melhor visão das qualidades e defeitos do geotêxtil. Os testes ocorreram também na Universidade Federal do Rio Grande do Norte nos laboratórios de Engenharia Têxtil, Mecânica e Materiais. As análises foram: tração e resistência das fibras, flamabilidade, absorção de umidade, envelhecimento por ciclo e por umidade, gramatura, densidade por conta-fios, abrasão, degradação ambiental, exposição solar e condutividade térmica.

3.12. Resistência à tração

Tal como as fibras, o teste de resistência à tração do tecido sem tratamento e do geotêxtil também foram realizados no Laboratório de Caracterização dos Materiais Têxteis de Engenharia Têxtil. O equipamento utilizado foi o Fiber Tensolab da marca Mesdan e a norma técnica foi ASTM D2256-2013, a mesma utilizado na análise dos fio.

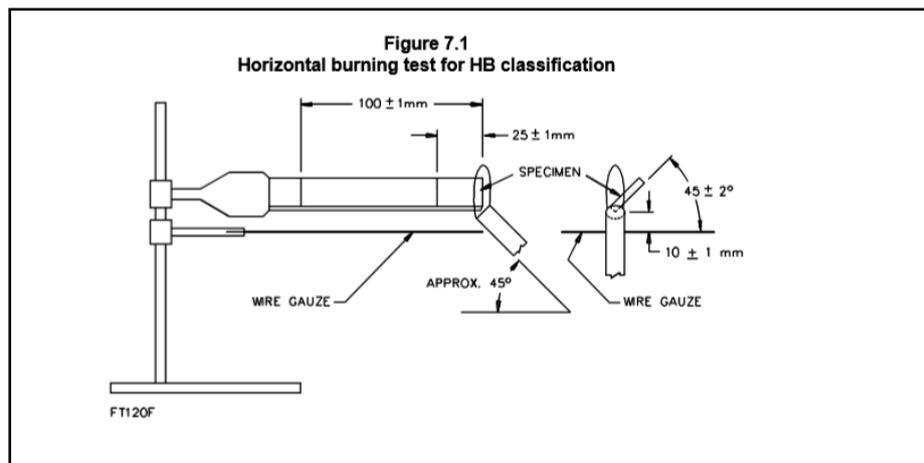
O mesmo teste foi feito nos tecidos e no geotêxtil (4 amostras de cada), onde, as amostras possuíam quinze centímetros de comprimento e 5 de largura e sofreram uma força de 15N/s.

3.13. Flamabilidade

O ensaio de flamabilidade foi realizado da mesma forma tanto para o tecido com látex como para o tecido sem látex. Ambos analisados no Laboratório do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás (NUPEG) da UFRN.

As análises seguiram a norma UL 94 (2013) utilizando o item sete da mesma, Teste com queima horizontal, conforme pode ser visualizado na Figura 38. Foram selecionadas três amostras de geotêxteis e três tecidos de fibras da bananeira.

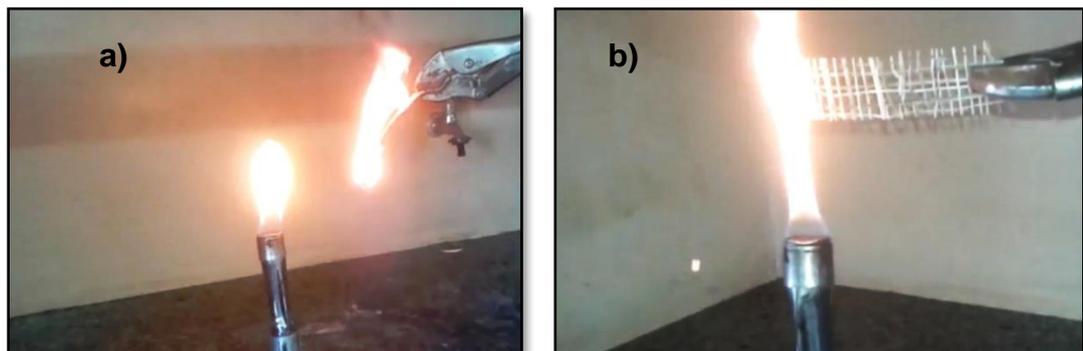
Figura 38- Esquemática do teste de flamabilidade.



Fonte: UL 94, 2013.

Os geotêxteis e tecidos possuíam quinze centímetros de comprimento e três de largura, conforme era pedido pela norma. A amostra deveria ficar em contato com a chama por um período de aproximadamente trinta segundos (Figura 39).

Figura 39- Flamabilidade de a) tecido e b) compósito geotêxtil



Duas marcas foram feitas ao longo da amostra, uma com 25 mm de comprimento e a outra com 100 mm, a queima tinha que se dar entre os 75 mm marcados, neste período de 30 segundos. Se o corpo de prova continuar a queimar após a remoção da chama, o tempo que a chama levou, a partir da marca de 25 mm, para atingir a marca de 100 mm, deve ser marcado em segundos, assim como o comprimento que foi danificado, em mm.

Após realizado o ensaio, a norma ainda indicou que era necessário calcular a taxa de queima linear (V) com a seguinte equação:

$$V = 60 \frac{L}{t} \quad (9)$$

Onde:

V - taxa de queima linear (mm/m);

L - comprimento da amostra danificado pela queima (mm);

t - tempo em segundos (s).

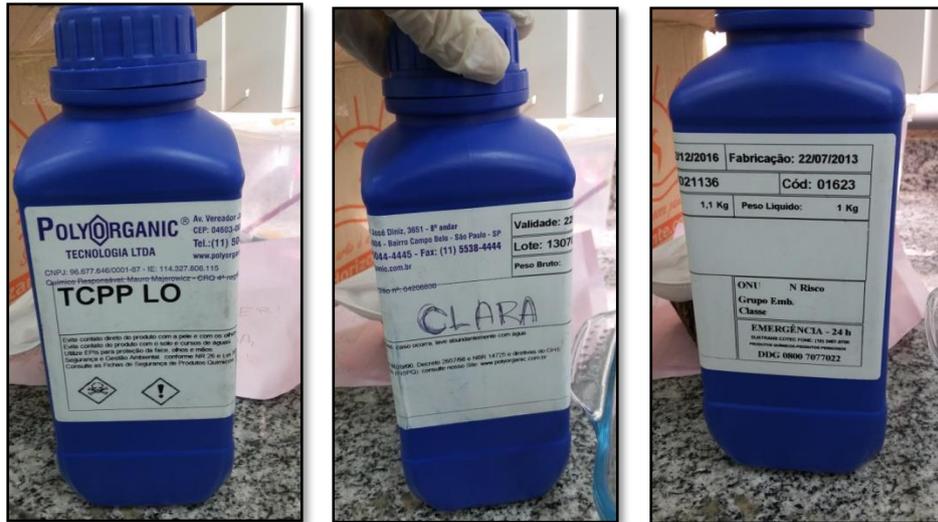
Onde V é classificada da seguinte forma:

- Classificação V0 – quando a soma dos tempos de duração da chama não for superior a 50 segundos;
- Classificação V1 - quando a soma dos tempos de combustão não for superior a 250 segundos;
- Classificação V2 - quando a soma dos tempos de combustão não for superior a 250 segundos. (SILVA, 2006).

Devido à alta taxa de queima do substrato e o pouco tempo para a combustão total, os ensaios de flamibilidade foram repetidos no NUPEG. Porém, na seguinte realização dos testes, os corpos de prova receberam um banho de retardante de chamas.

O retardante de chamas foi cedido pela empresa PolyOrganic e é composto por TCPP LO, Figura 40. O TCPP-LO (Tri – 2-Cloroisopropil – Fosfato) é um aditivo anti chamas com baixo odor, estável a hidrólise, altamente indicado para manufatura de espumas base PU e outros polímeros. É ainda um retardante de chamas com baixo odor. Ele apresenta melhor estabilidade de hidrólise entre os retardantes à chama halogenados atualmente disponíveis. O TCPP-LO apresenta boa compatibilidade com solventes e resinas (Polyorganic, 2016).

Figura 40- Retardante de chamas TCPPO LO.



Os corpos de prova foram cortados de acordo com a norma UL-94 (Figura 41) e receberam, posteriormente, receberam o banho de retardante, o qual foi realizado com o auxílio de um pincel, conforme pode ser visualizado na Figura 42.

Figura 41- Corpo de prova sem látex conforme a norma.

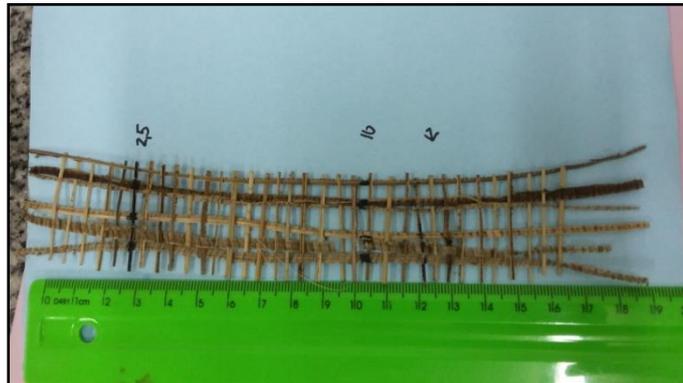
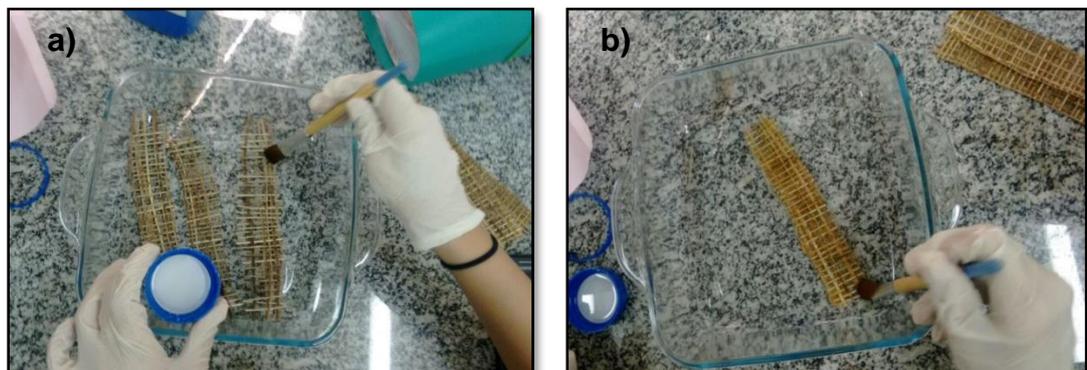


Figura 42 - Aplicação do retardante de chamas no substrato a) sem látex, b) com látex.



Após setenta e duas horas, com o substrato seco, foi realizado um novo teste de flamabilidade para os corpos de prova com látex e sem látex. Também de acordo com a norma UL-94, o retardante se mostrou extremamente útil, pois os corpos de

prova ganharam resistência ao fogo e, conseqüentemente, demoraram mais tempo para serem consumidos.

3.14. Absorção de água (Higroscopia)

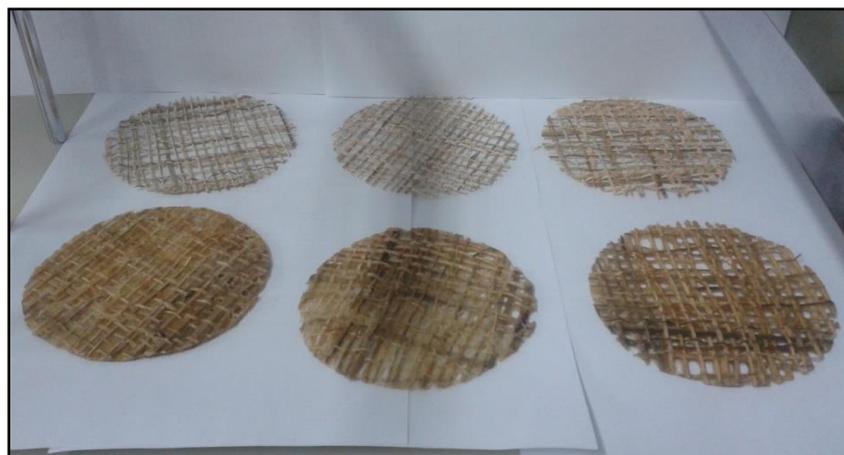
A análise de absorção de água das amostras sem látex e com látex foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Fluídos utilizando uma estufa da Nova Ética 400/2ND com circulação e renovação de ar com capacidade de aproximadamente quarenta litros e com faixa de temperatura regulável de ambiente +15°C até 300°C, e ainda, com circulação forçada de ar, garantindo perfeita homogeneização da temperatura, Figura 43. A mesma estufa foi também utilizada nos experimentos de envelhecimento por ciclo, por umidade e absorção de água.

Figura 43- Estufa utilizada nas análises.



As análises foram realizadas conforme a norma ASTM D570-95, a qual indica imersões realizadas por longos períodos de tempo. Os corpos de prova foram moldados, com o auxílio de uma regra, em formato circular com 50,8mm de diâmetro e 3,2mm de espessura, Figura 44.

Figura 44 - Corpos de prova cortados conforme a norma.



A proposta da análise é identificar o ponto de saturação da amostra calculado conforme a equação.

$$\text{Aumento em peso\%} = \frac{\text{peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (10)$$

Após o período de imersão e realização das análises, os corpos de prova sofreram um teste de resistência à tração no Laboratório de Caracterização dos Materiais Têxteis LABCTEX DET/UFRN. A mesma norma ASTM D2256-2013 foi utilizada, conforme foi feito no teste de resistência à tração. De forma análoga, o equipamento Tensolab 3000 também foi utilizado.

Essas análises de resistência para os corpos de prova que sofreram teste de absorção de água foram realizadas com o objetivo de testar as amostras em uma possível situação real. O mesmo procedimento foi também feito após o Envelhecimento por umidade e Envelhecimento por ciclo.

3.15. Envelhecimento por umidade

A norma utilizada foi a ASTM D5427-09 (2014), item 8.7, a mesma postulou que o experimento de envelhecimento por umidade condicionasse as amostras a uma determinada temperatura e umidade ($80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade a $95\% \pm 2\%$) pelo período de 336 horas.

De acordo com a norma, as amostras devem ser condicionadas a uma temperatura de 80°C por 336 horas, ou seja, 14 dias, com uma umidade relativa de 95%. Com base nos dados, os corpos de prova foram depositados em um recipiente onde os mesmos ficaram em contato direto com água destilada ao longo dos 14

dias. Conforme a água destilada evaporava, o recipiente era novamente preenchido. Essa reposição era feita diariamente.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Flúidos utilizando a estufa Nova Ética 400/2ND. Como a estufa retira umidade do ambiente, foi necessário que as amostras ficassem em contato com água destilada durante todo o processo.

A norma não especificou um determinado tamanho para as amostras, então, foi seguida a norma da absorção de água, ou seja, corpos de prova em formato de disco com diâmetro de 50 milímetros e espessura média de aproximadamente três milímetros, conforme previamente visualizado na Figura 44.

Após a realização dos testes, as amostras sofreram testes de resistência à tração conforme a norma ASTM D2256-2013, de forma análoga ao ensaio de Absorção de água.

3.16. Envelhecimento por ciclo

Para o experimento de envelhecimento por ciclo, a mesma norma ASTM D5427-09 foi utilizada, porém, o item usado foi 8.4. O mesmo divide o envelhecimento por ciclo em quatro etapas diferentes sofrendo mudanças bruscas de temperatura e umidade, como especificado abaixo:

- 1) 29h, $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade ambiente;
- 2) 19h, $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 95% de umidade;
- 3) 29h, $107^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade ambiente;
- 4) 19h, $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 95% de umidade.

Devido a temperatura e a umidade requeridas pela norma, os itens 2 e 4 foram feitos em temperatura ambiente, porém o item 1 foi armazenado no freezer de um refrigerador em razão da baixa temperatura requerida.

O refrigerador com capacidade de 462 litros não atingiu os -40°C pedidos na norma. A temperatura mínima alcançada foi -5°C , isso ajudou na realização do experimento, pois a uma temperatura mais baixa, haveria um dano aos corpos de prova o que impossibilitaria o passo seguinte (19h, $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 95% de umidade).

Levando a consideração as etapas do teste e a fragilidade dos corpos de prova, a temperatura inicial foi aumentada de -40°C para aproximadamente -5°C .

Ao final do primeiro ciclo, as amostras foram removidas do freezer e foi observado uma leve camada de gelo sobre os corpos de prova. Isso só reforça os testes anteriores provando que a folha da bananeira é extremamente higroscópica e absorve grande umidade do ambiente.

O item 3 foi realizado na mesma estufa onde foram executados os teste de envelhecimento por umidade. Todos os experimentos do envelhecimento por ciclo foram feitos no Laboratório de Mecânica dos Flúidos.

Após a realização dos testes, as amostras sofreram testes de resistência à tração conforme a norma ASTM D2256-2013, de forma análoga ao ensaio de Absorção de água.

3.17. Absorção de umidade

Com o propósito de determinar a absorção de umidade, foi realizada uma pesagem utilizando o Determinador de Umidade de marca Marte, ID-200, com sensibilidade (massa) 0,01 g e precisão (umidade) 0,1% que pode ser visto na Figura 45 abaixo.

Figura 45- Determinador de umidade Marte ID-200.



O procedimento necessário para a realização do experimento no determinador de umidade ID-200, foi feito de acordo com o que determina o fabricante, que estabelece que a amostra do material analisado deva ter uma massa inicial mínima de 1 grama e máxima de 200 gramas.

Neste trabalho as amostras do material foram cortadas conforme o prato da balança e pesadas. Os pesos respectivos foram 1 grama sem látex e 3,9 gramas com látex. Após a pesagem, as amostras foram colocadas na unidade de

aquecimento da balança, onde ficaram expostas a uma temperatura de 110,5° C até atingir massa constante no instante em que foi retirada toda a umidade, equivalente a um tempo de aproximadamente quinze minutos. Transcorridos este tempo obtêm-se os valores relativos à massa inicial da amostra, massa final da amostra, % de umidade retirada, temperatura de trabalho e tempo de duração do experimento. Foram realizados experimentos com 3 amostras de tecido sem látex e 3 geotêxteis com látex.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN.

3.18. Teste de Fricção (Atrito)

O teste de fricção foi feito no Laboratório de Engenharia Têxtil LABCTEX/DET/UFRN com um equipamento de fricção, o qual tinha por objetivo identificar quanto atrito as amostras seriam capazes de suportar.

Foi utilizado um Crock Meter apto a desenvolver 2000 ciclos em uma amostra, onde um ciclo é equivalente a uma passagem de ida e volta do braço do abrasímetro sobre o tecido (Figura 46).

Figura 46- Crock Meter.



Fonte: Mesdan, 2016.

O teste foi realizado com duas amostras de tecido, uma com látex e uma sem látex. O braço móvel do Crock Meter friccionou o tecido causando um desgaste mecânico no geotêxtil e no tecido sem látex. Devido à fragilidade da amostra do tecido sem látex, o qual se desmonta com a passagem do braço, só foi possível realizar o teste na amostra geotêxtil, com látex.

3.19. Densidade Linear (Título)

A análise da densidade foi realizada também no Laboratório de Engenharia Têxtil LABCTEX/ DET UFRN, com um equipamento bastante simples, um conta fios (Figura 47), conforme especificação da ASTM D3801/ ISO 2060 (2015).

Figura 47- Conta fios de 2 centímetros por 2 centímetros.



Fonte: Mercado Livre, 2015.

Este ensaio tem como objetivo determinar a quantidade de fios (trama e urdume), por unidade de comprimento. Portanto, indica quantos fios foram alinhados por centímetro no tecido para a sua formação. Apresenta-se em fios/cm no urdume e batidas/cm para a trama. No conta fios foi posicionado o tecido sem látex e o geotêxtil com látex.

3.20. Gramatura ou Densidade Superficial

A gramatura caracteriza se o tecido é leve, médio ou pesado, Tabela 12. Esta facilita a conferência da metragem em balanços de estoque, além de permitir o cálculo de rendimento do tecido, isto é, quantos metros de comprimento ou metros quadrados em área há em um quilo de tecido.

Figura 48 - Corpo de prova pesado conforme a norma ABNT 10591.



Para realizar a análise foram necessários 3 corpos de prova de cada tecido com e sem látex (Figura 48). Cada amostra com 1cm² foi pesada e calculada de acordo com a Eq. 11, conforme especificações da norma ABNT 10591 (2008).

$$\frac{g}{m^2} = \text{média} \times 100 \quad (11)$$

onde a média é a média proporcional de todas as amostras realizadas no experimento. A Tabela 12 fornece a classificação quanto ao peso das amostras.

Tabela 12 - Classificação dos tecidos de acordo com a gramatura dada em g/m².

Gramatura	Classificação
g/m ² < 130	Leve
130 ≤ g/m ² ≤ 220	Média
g/m ² ≥ 220	Pesada

Os ensaios foram executados no Laboratório de Engenharia Têxtil LABCTEX/DET da UFRN, utilizando uma balança digital (Figura 48).

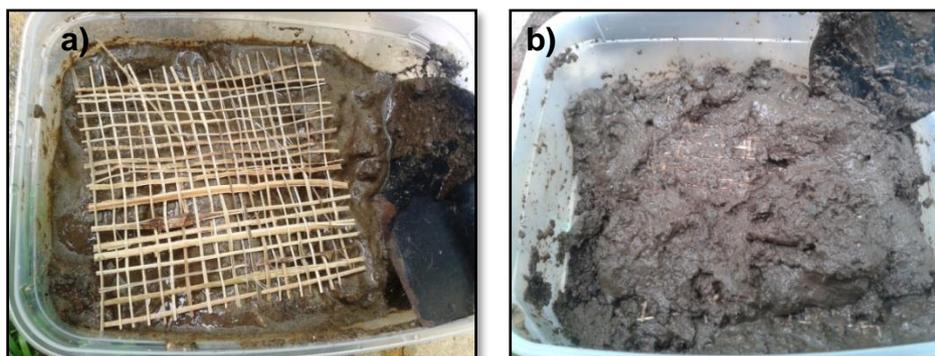
3.21. Biodegradação Ambiental

O ensaio de biodegradação ambiental tem como objetivo simular a degradação sofrida pelo compósito geotêxtil e o tecido in natura quando submetido a ação de microorganismos.

A análise foi realizada de acordo com as prescrições da norma EPA 9090A (1992). O experimento consistia em enterrar amostras dos geotêxteis e dos tecidos

sem revestimento de látex em solo simulado, por um período de 2280 horas (120 dias). O solo simulado utilizado nos testes de biodegradação foi preparado com 23% de lodo argiloso, 23% matéria orgânica (adubo), 23% de areia e 31% de água destilada (em massa) e, posteriormente, colocados em recipientes para análise das amostras. Figura 49.

Figura 49- Teste de degradação ambiental. a) tecido sem revestimento de látex, b) geotêxtil.



Após o período de biodegradação, as amostras foram retiradas do solo, lavadas com água destilada e secas no meio ambiente por um período de trinta minutos. Com o intuito de avaliar os efeitos decorrentes da exposição dos compósitos a degradação ambiental, faz-se necessário a pesagem das amostras.

3.22. Degradação Ambiental

Os ensaios realizados ocorreram em um recinto aberto na cidade de Parnamirim no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, por um período de 120 dias. As amostras foram depositadas no chão e expostas às intempéries como raios solares, chuva, vento e ainda, ações de animais como pássaros, pequenos insetos como formigas e besouros, abelhas entre outros.

Os corpos de prova utilizados no teste de degradação foram os geotêxteis. Isso se deu devido a fragilidade dos tecidos sem látex, os mesmos se desmancharam após os primeiros dias de teste.

As amostras receberam o banho de látex (Figura 50), foram cortadas e posteriormente, depositadas no chão do recinto.

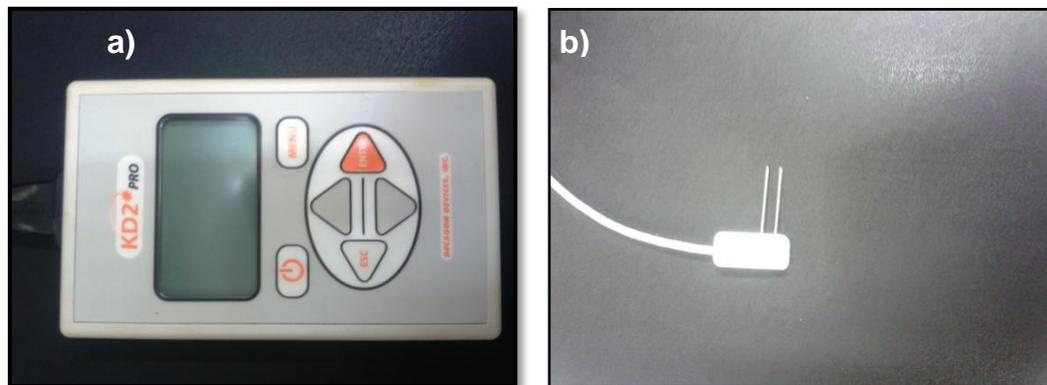
Figura 50- Corpos de prova sendo preparados para o teste de Degradação Ambiental.



3.23. Condutividade Térmica

As análises de condutividade térmica foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da UFRN, com a utilização de um condutímetro KD2 Pro (Figura 51).

Figura 51- a) Condutímetro KD2 PRO e b) agulha.



.Os testes tiveram o objetivo de medir a condutividade das fibras sem látex e das fibras revestidas com látex. Mediu-se ainda, o calor específico e a difusividade térmica.

Para uma obtenção de melhores resultados e uma análise próxima da real, as fibras foram compactadas em formato cilíndrico de dimensões 50 mm x 190 mm (Figuras 52 e 53).

Figura 52- Corpos de prova compactados sem látex. a) Vista lateral e b) vista superior.

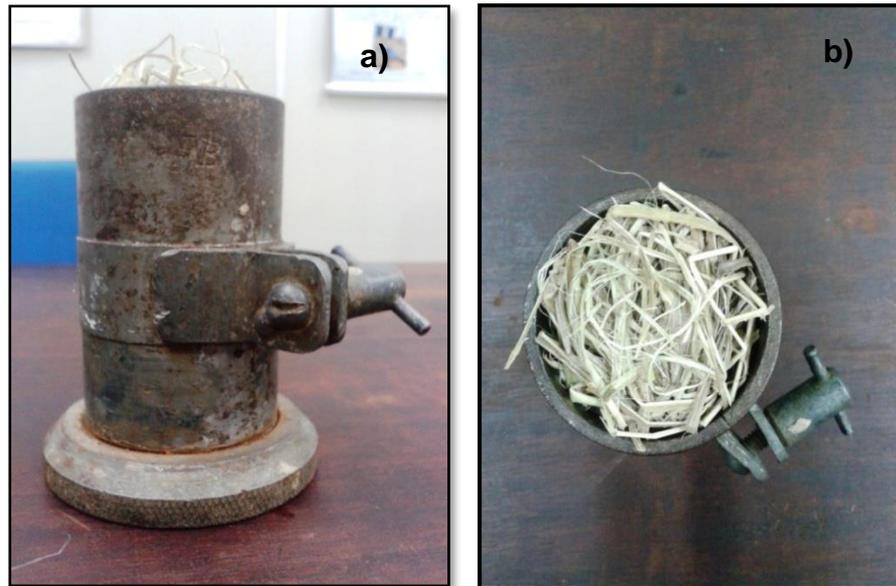
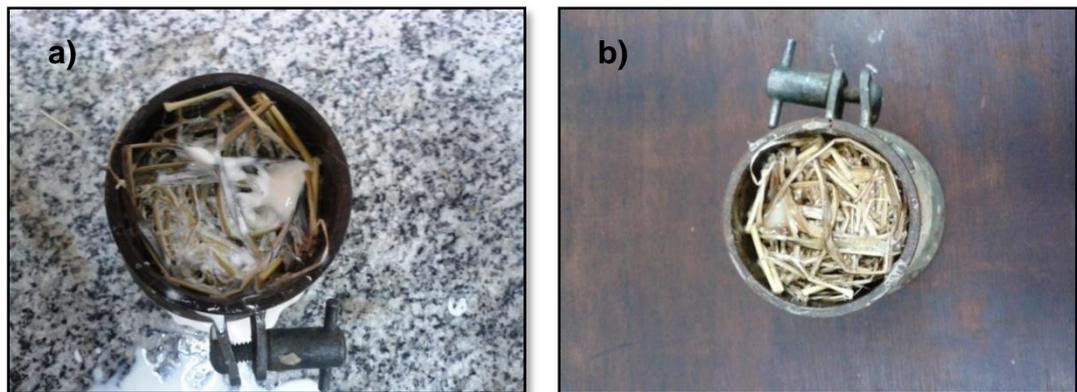
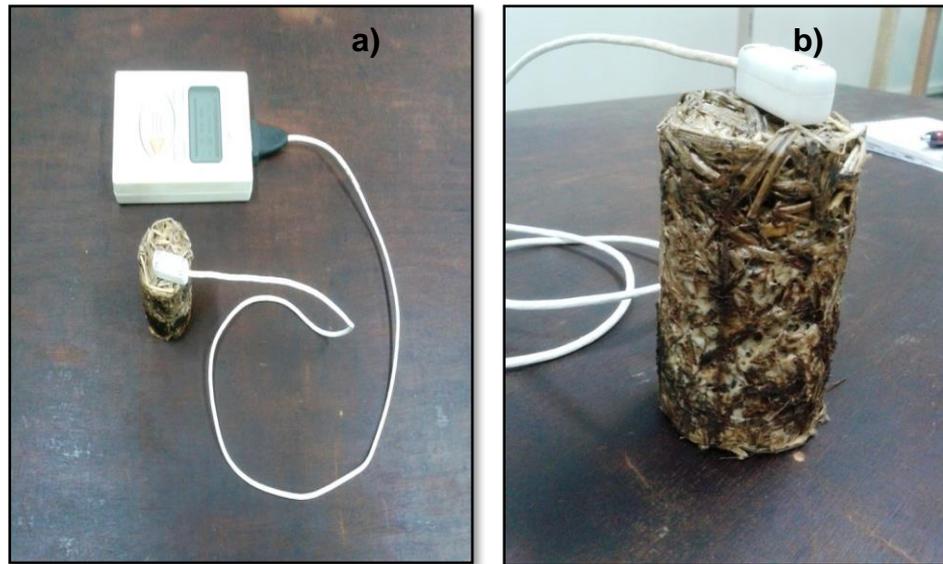


Figura 53- Corpos de prova com látex. a) Ao receber o látex, b) Após 24 horas.



Após serem compactados e retirados das respectivas fôrmas, os materiais foram analisados com a ajuda do condutímetro, o qual aqueceu as amostras por um período de dois minutos e meio, período de aquecimento do equipamento, e, a partir daí, iniciou-se as medidas, feitas em todas as faces do cilindro, que pode ser visualizada na Figura 54.

Figura 54- Análise de condutividade térmica nos corpos de prova a) com látex e b) sem látex.



Para a análise dos resultados, considerou-se o fato de que a condutividade térmica deve ser menor ou igual a $0,25 \text{ W/mK}$ para o material ser um isolante térmico (WANG, 1988).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os principais resultados obtidos a partir das análises realizadas e a discussão correspondente.

Cada estudo seguiu a norma técnica a qual se referia ao ensaio, portanto, a umidade, a temperatura e outros parâmetros variaram de acordo com as especificações da norma.

4.1. Resistência

4.1.1. Resistência das fibras

O experimento foi realizado aplicando uma força de 10N/s às fibras do caule da folha da bananeira. Ao todo, 3 fibras possuíam o banho de látex e 3 fibras in natura sofreram a tração por parte do equipamento. O resultado do teste pode ser visualizado nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 fibras de bananeira sem látex submetidas a testes de resistência à tração.

Amostra	Força Máx N	Alongamento Máx %	Tempo s
Amostra 1	236,1	6,80	1,0
Amostra 2	124,4	4,00	0,6
Amostra 3	83,8	3,20	0,5
Média	148,1	4,67	0,7
Desvio Padrão	79,07	1,89	0,26

Ao visualizar a Tabela 13, pôde-se concluir que os resultados tanto para força quanto para o alongamento variaram bruscamente. Esse fato pode ser melhor explicado pelo fato de as fibras estarem in natura, ou seja, sem a inserção de produtos ou processos de limpeza. Por esse mesmo motivo, houve ainda uma acentuada variação do desvio padrão devido a heterogeneidade das fibras usadas na análise.

Estando as fibras in natura, há a presença de um maior grupo de fibrilas (fibras curtas), as fibras da bananeira se tornam menos resistentes sendo facilmente rompidas ao sofrerem tração, como ocorreu com a amostra de número 3.

O mesmo não ocorre com as fibras mais longas, pois elas apresentam menos fibrilas e, conseqüentemente, demonstraram um comportamento mais homogêneo, rompendo mais lentamente e demandando uma força de tração maior, amostra 1.

Tabela 14 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 fibras de bananeira com látex submetidas a testes de resistência.

Amostra	Força Máx N	Alongamento Máx %	Tempo s
Amostra 1	229,1	8,40	1,3
Amostra 2	133,1	6,80	1,0
Amostra 3	110,4	7,20	1,1
Média	157,5	7,47	1,1
Desvio Padrão	63,0	0,83	0,15

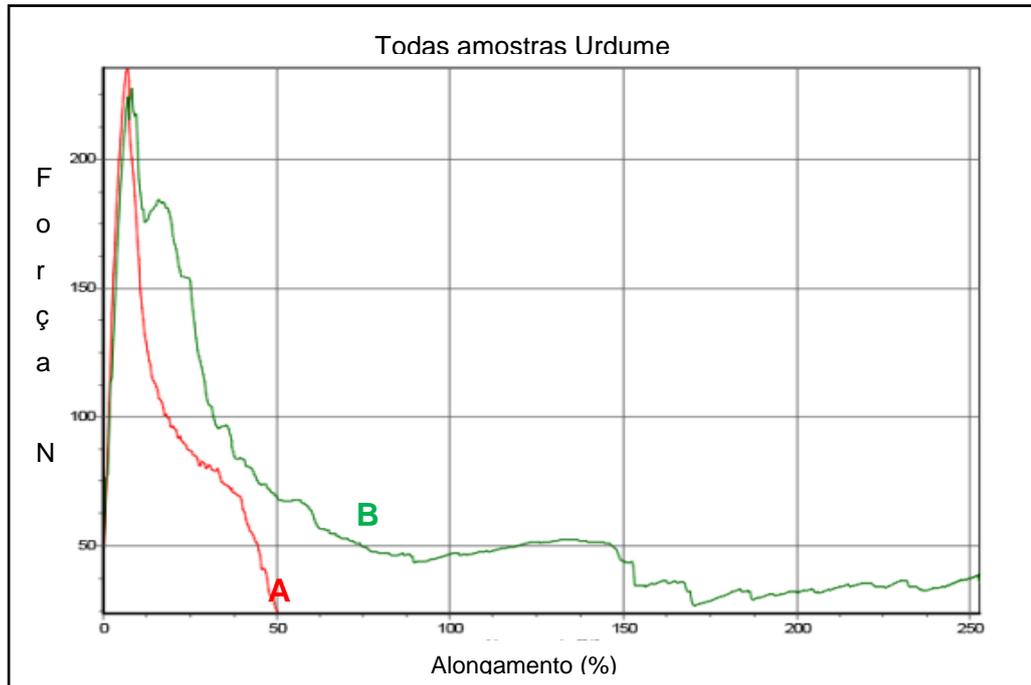
Como pode ser percebido ao visualizar as tabelas, as fibras que não receberam banho de látex, apresentaram uma resistência à tração ligeiramente menor comparado com as fibras que apresentaram o banho de látex. Isso se deve ao fato do látex conferir às fibras da bananeira uma melhoria superficial em suas características.

Com a cobertura do látex, as fibrilas presentes nas fibras da bananeira foram revestidas por borracha conferindo à fibra uma maior homogeneidade nos resultados e uma maior resistência na fibra. Como consequência, o desvio padrão apresentou uma menor variação e valores inferiores.

Entretanto, a fibra com látex apresentou um caráter elástico mesmo após o rompimento da fibra. Isso se deve ao fato de o látex ser um elastômero, e que, mesmo com a quebra do filamento interior, a borracha continuou esticando. Esse fato se faz evidente no gráfico (Fig. 55, Fig. 56, Fig. 57).

Ao visualizar os gráficos, pode-se notar que a linha B, em verde, continua apresentando um alongamento constante mesmo após o rompimento da fibra.

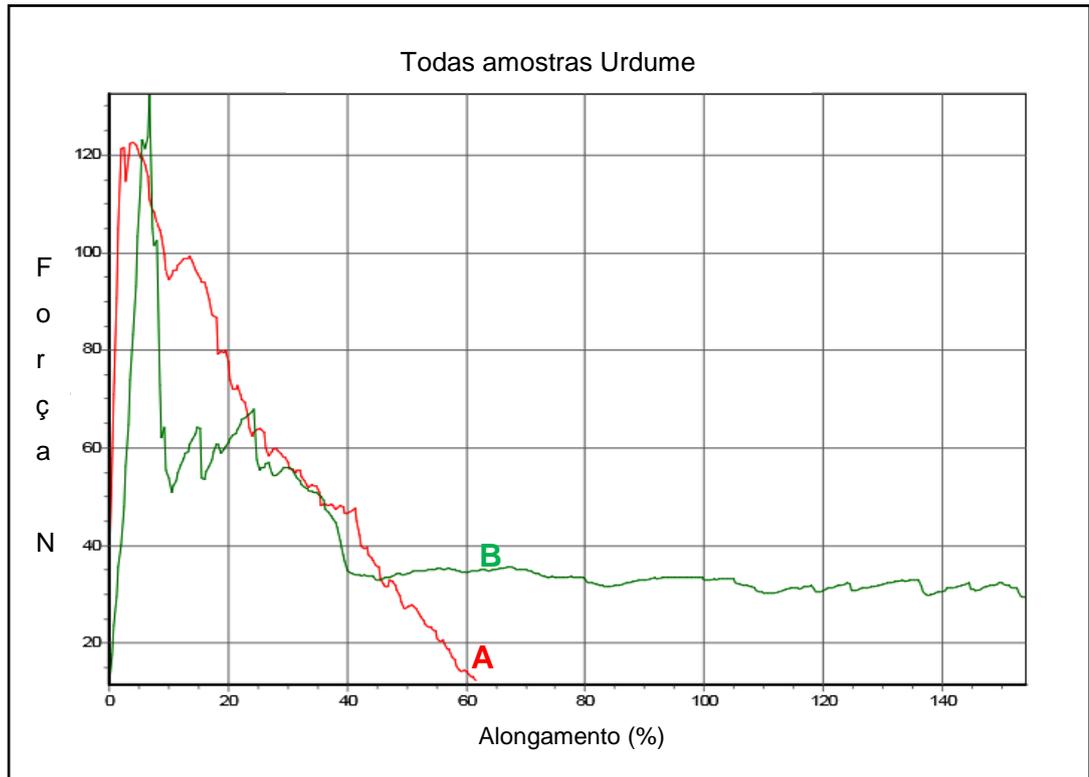
Figura 55- Gráfico da amostra 1 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.



Pelo Gráfico da Figura 55 fica evidente o comportamento elástico da amostra com látex (B). O primeiro pico da figura mostra o rompimento da fibra da bananeira, os seguintes picos, os rompimentos das fibrilas da fibra e o que segue linearmente é o estiramento do látex que revestiu a fibra. O mesmo não ocorre com a fibra sem látex (A) demonstrando apenas dois picos representam o rompimento da fibra e, posteriormente das fibrilas.

De forma semelhante ao gráfico da Figura 56, o Gráfico da Figura 56 evidencia o comportamento elástico da fibra com látex. O alongamento da fibra revestida foi superior a 120%.

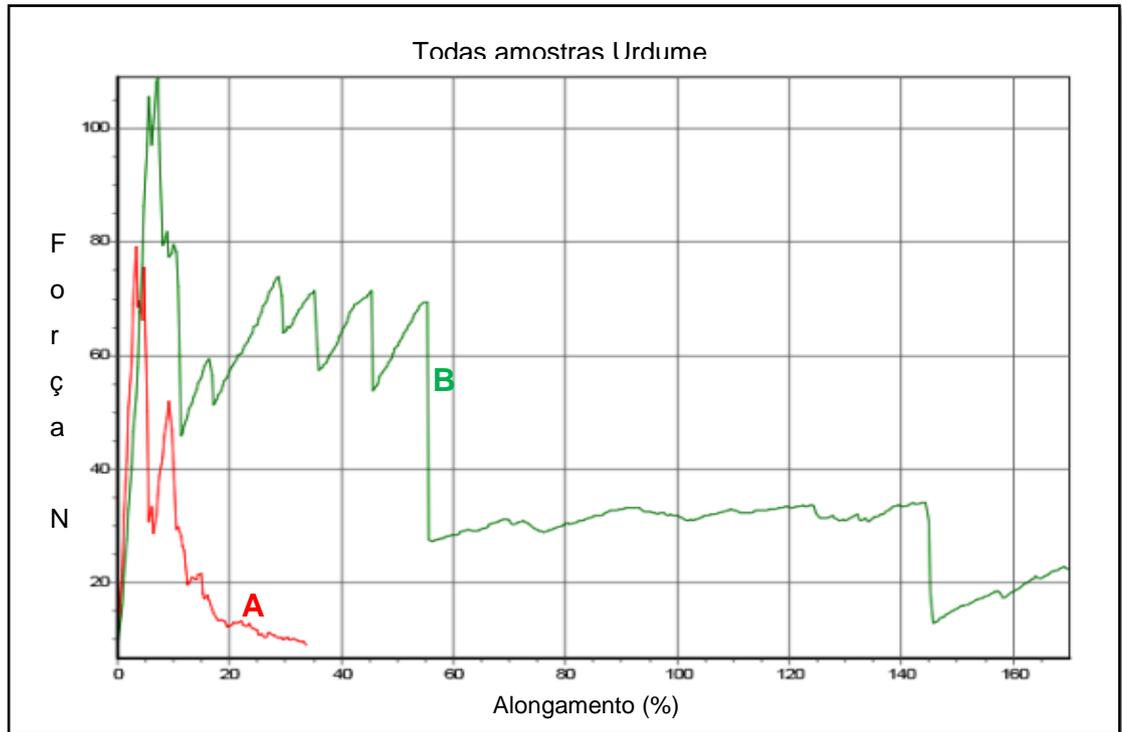
Figura 56- Gráfico da amostra 2 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.



Também demonstrando homogeneidade nos resultados, a fibra sem látex A apresentou um alongamento inferior, 80%, e uma característica mais frágil do que a fibra revestida com látex.

Com um comportamento mais frágil, as fibras da amostra 3 romperam mais facilmente que as análises anteriores. Isso fica claro ao visualizar o Gráfico da Figura 57. Com um alongamento inferior a 40% e uma força de ruptura de aproximadamente 85N, a fibra sem látex apresentou um resultado fraco comparado as demais fibras analisadas. Tal fato pode ser explicado por um número maior de fibrilas ou uma maior fragilidade da fibra, mesmo analisando fibras de urdume.

Figura 57- Gráfico da Amostra 3 onde a linha vermelha (A) é o corpo de prova sem látex e a verde (B), com látex.



Da mesma forma, a fibra com látex apresentou uma maior fragilidade que as demais.

Baseado nos resultados das análises, pôde-se concluir que o látex confere a fibra um alongamento maior, partindo de um alongamento médio de 4,67% sem látex para um alongamento médio de 7,47% com látex. Mesmo após a quebra da fibra, ainda há estiramento. Bem como, na maioria nos testes, o tempo necessário para a ruptura da fibra foi maior para os corpos de prova com látex, isso mostra também um ganho de resistência por parte das fibras reforçadas.

4.1.2. Resistência do geotêxtil

De forma similar às fibras, o mesmo processo de teste da resistência foi realizado com os geotêxteis e os tecidos sem o banho de látex. O processo ocorreu conforme a norma ASTM D5034, e, como foi feito com as fibras, analisou-se as características do geotêxtil quando há adesão de látex.

Os resultados das análises foram semelhantes aos testes realizados nas fibras. Isso fica evidente nas Tabelas 15 e 16 e Figuras 58, 59 e 60.

Tabela 15 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 tecidos sem látex submetidos a testes de resistência.

Amostra	Força Máx N	Alongamento Máx %	Tempo s
Amostra 1	98,5	3,20	0,5
Amostra 2	92,2	2,40	0,4
Amostra 3	97,8	3,60	0,5
Média	96,2	3,10	0,5
Desvio Padrão	3,45	0,61	0,05

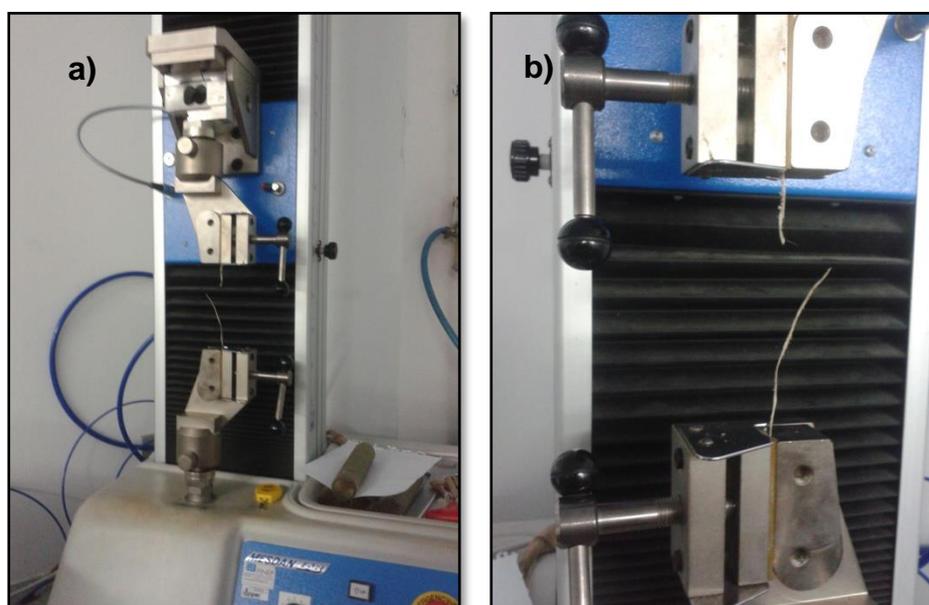
Como pôde ser observado na Tabela 16, os geotêxteis resistiram a tração por mais tempo que os tecidos sem látex (Fig. 58).

Tabela 16 - Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis com látex submetidos a testes de resistência.

Amostra	Força Máx N	Alongamento Máx %	Tempo s
Amostra 1	121,7	6,80	1,0
Amostra 2	167,1	3,60	1,4
Amostra 3	81,8	8,00	1,2
Média	125,3	6,13	1,2
Desvio Padrão	42,69	2,27	0,2

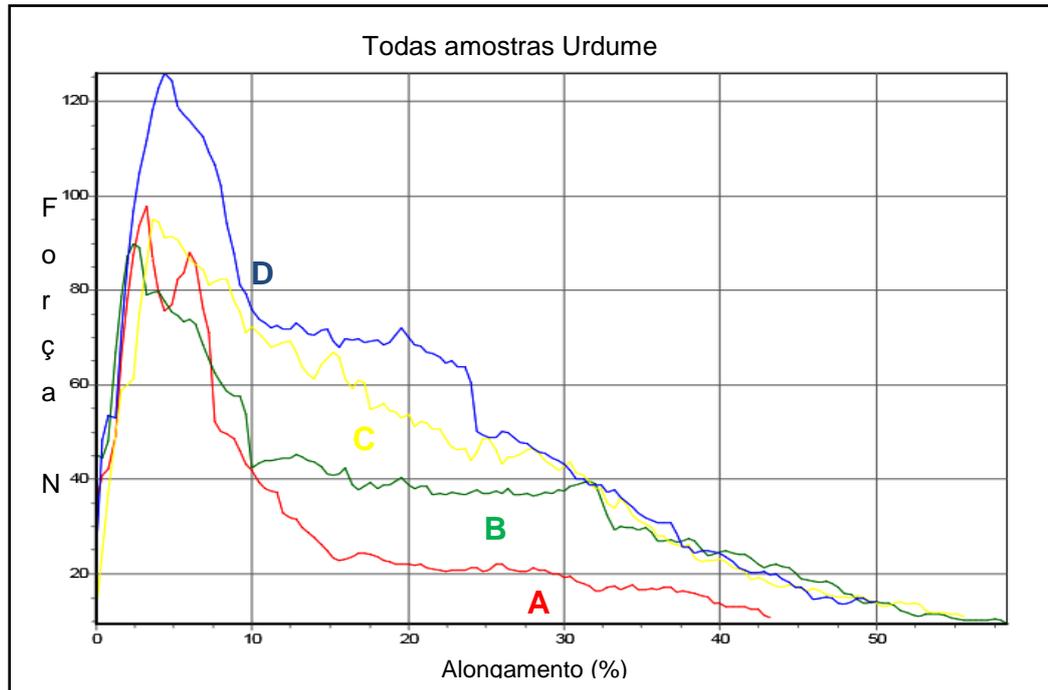
Além de possuírem o reforço proporcionado pelo látex, os corpos de prova confeccionados por trama e urdume apresentam características resistentes devido ao seu entrelaçamento.

Figura 58- Teste de Resistência à tração. a) Teste de tração, b) amostra rompida após a análise de tração.



Os gráficos referentes aos tecidos são diferentes dos gráficos para as fibras, pois já foi provado que o látex, mesmo após o rompimento da fibra, continua esticando devido as suas propriedades elásticas. O gráfico para o tecido e o geotêxtil demonstra as características dos tecidos entre si de maior resistência inerentes aos tecidos, conforme pode ser visto.

Figura 59- O gráfico mostra o comportamento das 4 amostras de tecido sem látex, onde A (vermelho) é a amostra 1, B (verde) amostra 2, C (amarelo) amostra 3 e D é a amostra descartada.

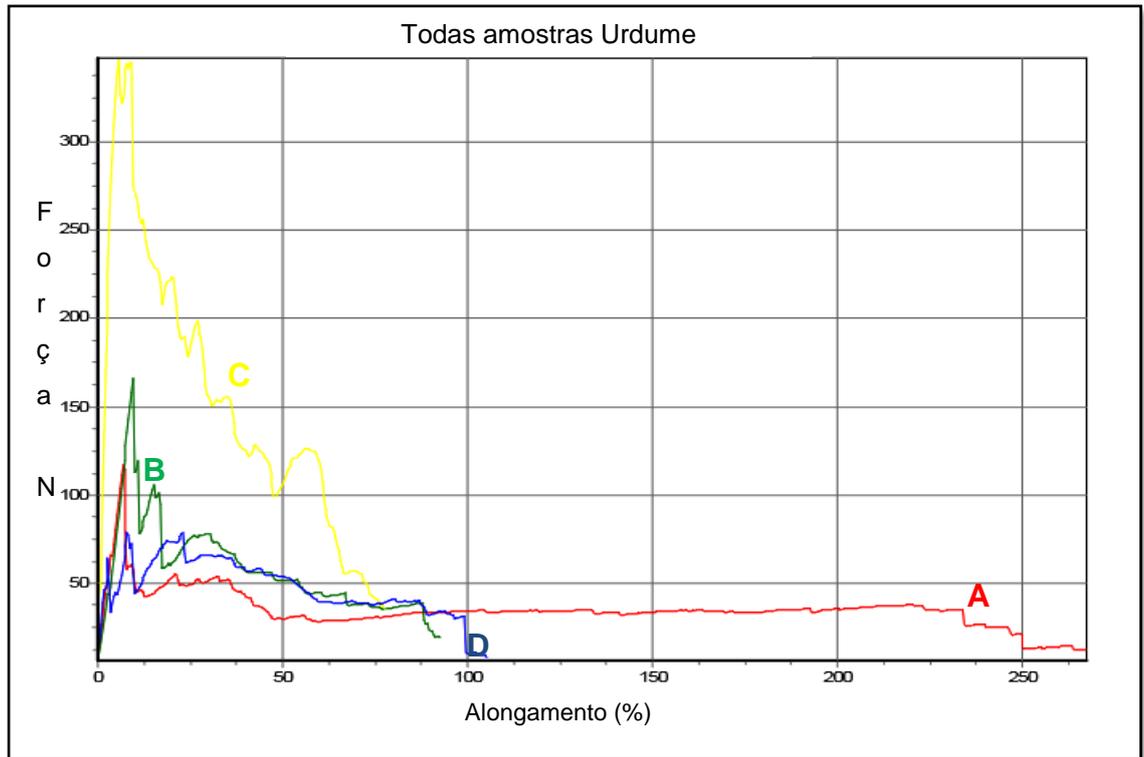


Como pode ser visualizado no gráfico da Figura 59, as amostras sem látex A, B e C apresentam comportamento semelhante entre si. Entretanto, a amostra de letra D apresentou um comportamento muito superior às demais, portanto, foi eliminada do resultado final.

Todas as linhas apresentam um pico, o qual representa o rompimento das fibras de trama e as demais curvaturas representam o urdume se desgastando até haver uma ruptura completa das fibras e ocorrer o rasgo do tecido.

Comportamento semelhante ocorre com o geotêxtil com látex, porém, pode-se notar uma maior reação das fibras associadas ao seu rompimento e a sua deformação, fato associado a inserção do látex nestas fibras. Esse fato pode ser melhor verificado no gráfico da Figura 60.

Figura 60- Observa-se no gráfico o comportamento das 4 amostras de tecido com látex.



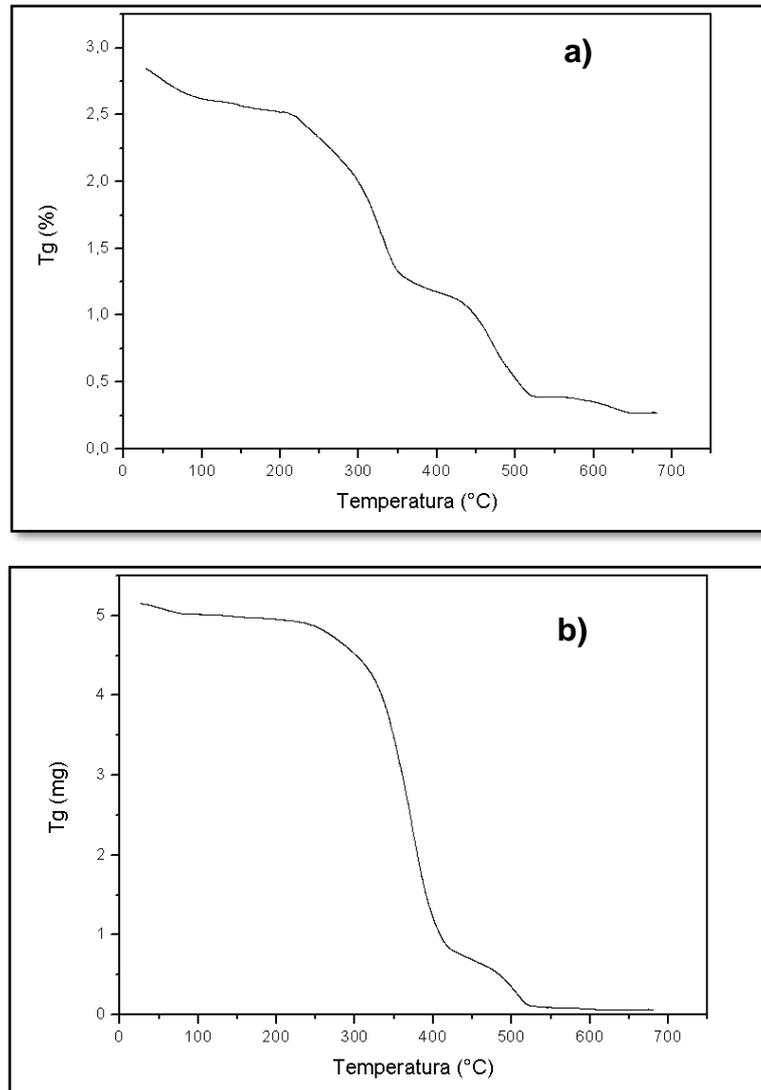
De forma análoga ao gráfico da Figura 59, as amostras com látex A, B e D do gráfico da Figura 60 apresentam comportamento elástico semelhante entre si. Entretanto, a amostra de letra C apresentou um comportamento muito superior às demais, portanto, foi eliminada do resultado final.

Pode-se assim concluir que o látex conferiu tanto às fibras do caule da bananeira quanto ao tecido confeccionados com esses filamentos, uma maior resistência a tração, um aumento considerável no alongamento e um tempo maior de quebra das amostras.

4.2. Análise de Termogravimetria TG e Análise de Calorimetria Diferencial de Varredura

As análises termogravimétricas foram realizadas com duas amostras de fibra, sem látex e com látex, sendo aquecidas a 650°C, temperatura essa estipulada para degradação de fibras naturais de origem vegetal. Os resultados dessa variação de massa podem ser melhor comprovados pelas curvas presentes nos gráficos da Figura 61.

Figura 61- Gráficos de TG para o Geotêxtil a) sem látex, b) com látex.



A primeira observação quanto à Figura 61a, é a grande variação na curva da amostra sem látex. Essas curvas comprovam que houve perda de massa em pontos específicos como em 250°C, 350°C, 500°C e 600°C e, posteriormente, estabilização térmica. Após essa última queda, há uma estabilização térmica na curva. Isso se deve possivelmente a uma combustão total da amostra, atingindo o estado de cinzas.

Com relação à Figura 61b, pode-se notar uma maior estabilidade térmica da amostra no início da análise. Tal estabilidade é interrompida entre 250° e 300°C. Após esse intervalo há uma perda considerável de massa. Isso se deve primordialmente ao fato da amostra estar coberta pelo látex, um polímero elastômero.

Em seguida, ocorre uma nova estabilidade térmica que é sucedida por uma nova perda de massa e uma estabilização, também caracterizada por cinzas.

Esse fato é explicado pelo fato de o látex cobrir as fibrilas da fibra do pseudo caule da folha da bananeira. Enquanto a fibra não tem o revestimento elástico, há grande perda de massa devido ao maior número de fibras curtas na superfície da fibra. Devido ao fato da cobertura oferecida pelo látex que preenche os espaços vazios ocupados apenas por ar na fibra, há menos perda de massa na fibra com látex, como evidencia o gráfico na Figura 61.

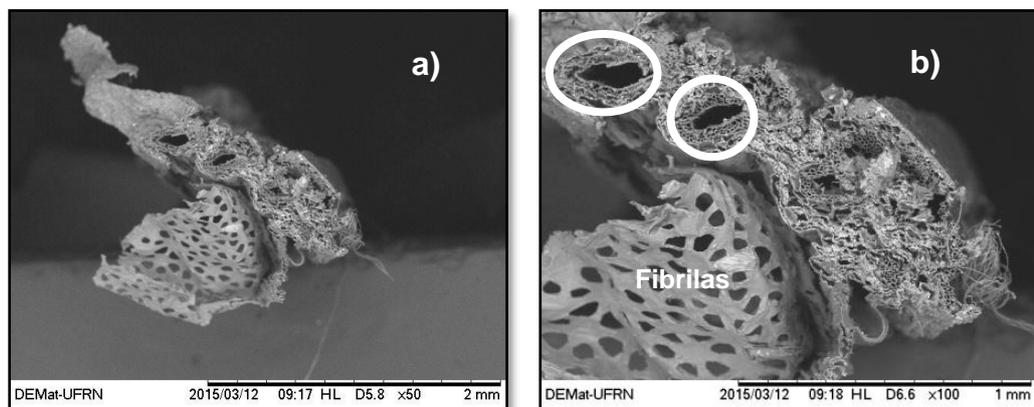
O comportamento dos dois gráficos se mostra bastante diferentes entre si, mesmo sendo compostos pela mesma fibra. Pôde-se concluir que o látex conferiu à fibra, in natura, uma maior estabilidade e resistência a variação de massa ocasionada pelo aumento da temperatura.

4.3. Análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A análise de MEV teve por objetivo identificar as características físicas da fibra antes e depois do banho de látex e, posteriormente, justificar o comportamento do geotêxtil com relação a suas propriedades.

Sabendo-se que a fibra de bananeira é um fibra natural, pela análise microscópica, foi possível evidenciar as fibrilas presentes na superfície da fibra, Figura 62. Foi também possível observar a presença dos orifícios internos às fibras, poros.

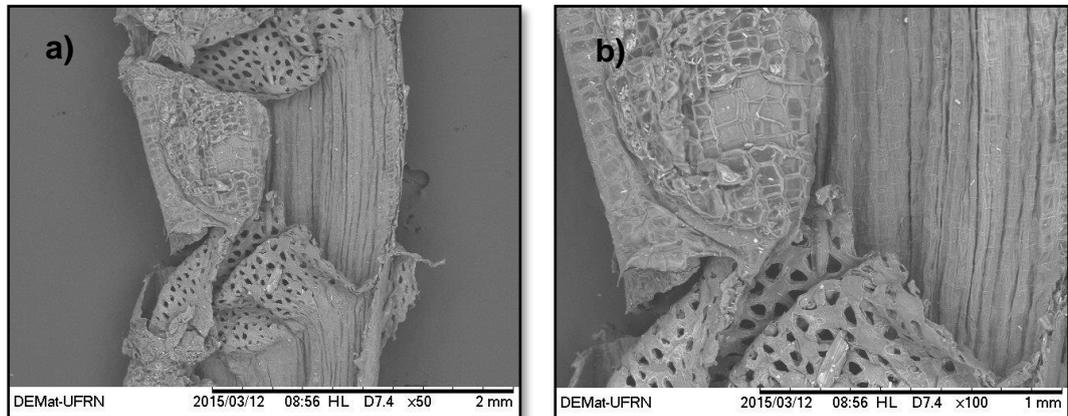
Figura 62- a) MEV de uma das pontas da fibra da bananeira recém retirada da folha, b) A mesma imagem com um aumento de 100 vezes.



Pode-se notar, após visualizar a Figura 62, que a fibra da bananeira apresenta uma alta porosidade devido ao seu caráter natural e vegetal. A alta presença de celulose aliada às paredes de hemicelulose confere à fibra essa

aparência repleta de fibrilas. Isso justifica a grande capacidade de absorção de materiais líquidos, ou seja, sua alta higroscopicidade. Esse fato pode ser melhor visualizado na Figura 63, na qual, há um aumento ao longo do comprimento da fibra.

Figura 63- a) MEV Fibra sem látex com um aumento de 50 vezes, b) 100 vezes de aumento.

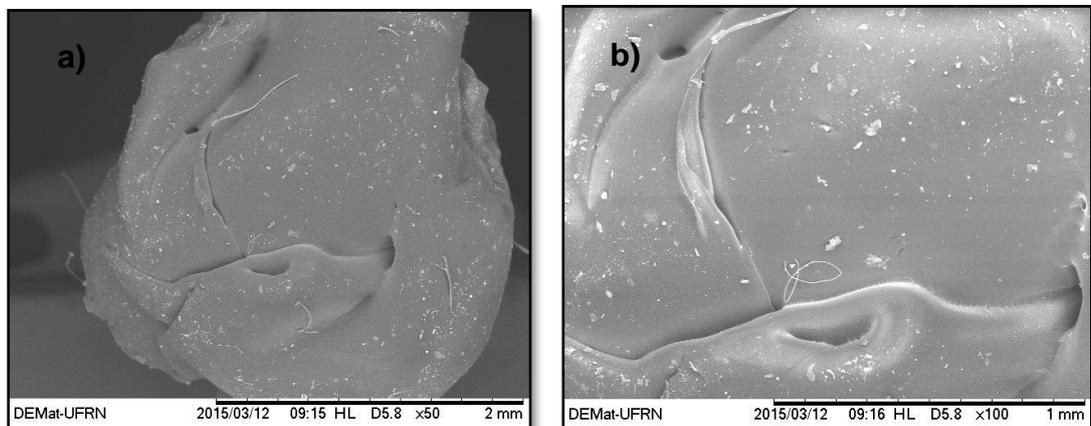


Conforme foi dito anteriormente, a fibra visualizada na Figura 63 é um material extremamente poroso. As ranhuras verticais são características comumente encontradas em fibras naturais, sem nenhum tipo de tratamento. Essas ranhuras demonstram que a fibra tem base celulósica e, conseqüentemente, baixa resistência ao fogo.

Assim como acontece com as fibras naturais, essa porosidade confere à fibra um aspecto mais rugoso quanto ao toque, isso torna a fibra crua, ou seja, sem adição de produtos químicos, imprópria a utilização na indústria têxtil.

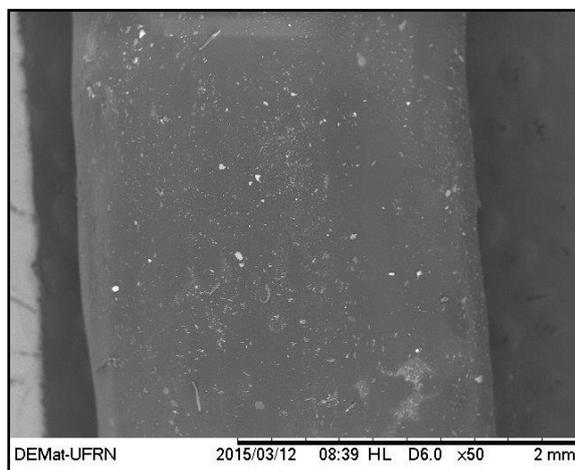
O mesmo não ocorre com as fibras que recebem o banho de látex. Por serem porosas, as fibras ficam completamente recobertas pelo látex, Figura 64.

Figura 64- MEV Fibra recoberta com látex com aumento a) 50x, b) 100x.



A mesma fibra após receber o banho de látex apresenta uma característica física completamente diferente da sua versão in natura. Como já era esperado, o látex preenche a porosidade e modifica o toque de rugoso para liso. Figura 65.

Figura 65- MEV Fibra coberta por látex com aumento de 50 vezes.



O látex preenche as ranhuras e confere as fibras uma melhoria nas suas características superficiais. Por ser um elastômero, ainda garante ao substrato uma maior flexibilidade, diminuindo a quebra da fibra.

4.4. Flamabilidade

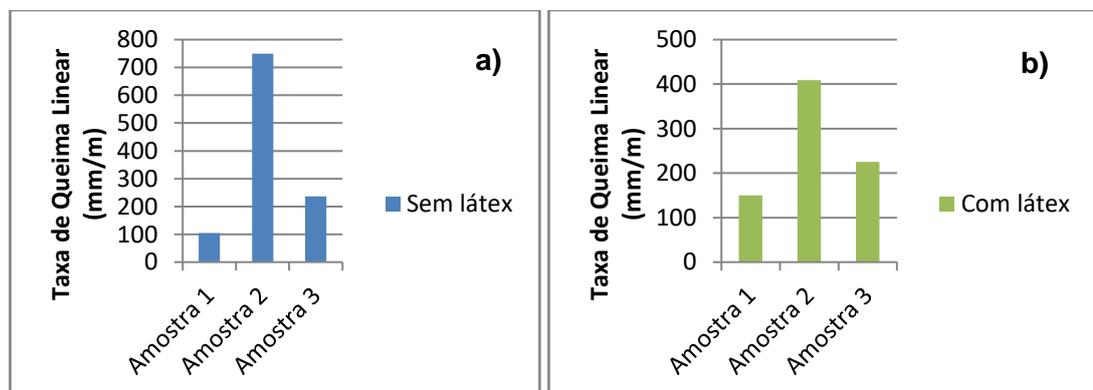
O teste de flamabilidade foi realizado nos tecidos sem látex e no geotêxtil. Conforme mencionado, 6 amostras, 3 amostras de tecido sem látex e 3 amostras de geotêxtil, passaram pela chama. As 6 amostras apresentaram um comportamento inflamável, pois todas queimaram da marca de 2,5 centímetros no tocante a 10 centímetros (Fig. 66) dentro dos 30 segundos especificados pela norma técnica UL 94 (2013).

Figura 66- Corpos de prova marcados para o teste de Inflamabilidade. À esquerda, geotêxtil e à direita, tecido sem látex.



De acordo com a equação fornecida pela norma e os valores obtidos com os testes realizados em laboratório, os resultados dos testes podem ser visualizados nos gráficos da Figura 67.

Figura 67- a) Variação da taxa de queima linear entre as 3 amostras sem látex. b) Variação da taxa de queima linear entre as 3 amostras com látex.



Ao analisar os gráficos, fica evidente a diferença entre a taxa de variação linear das amostras do tecido e do geotêxtil. Há uma forte oscilação de valores entre as amostras de tecido, conforme pode ser visualizado nas Tabelas 17 e 18. Isso se deve ao fato de as fibras tecidas estarem in natura, ou seja, não receberam nenhum agente em sua composição.

Tabela 17 - Taxa de queima linear para as três amostras sem látex.

Amostra sem látex	Comprimento da amostra queimada (mm)	Tempo de queima (s)	Taxa de Queima Linear (mm/m)
Amostra 1	75	43	104,64
Amostra 2	75	6	750
Amostra 3	75	19	236,84
Desvio Padrão	-	18,8	340,9

As amostras sem látex apresentaram um comportamento variável e bastante inflamável. Isso se explica pela composição da fibra, formada basicamente de celulose e na sua face superficial, fibrilas o que facilita a combustão das fibras de bananeira.

Por tal motivo, o desvio padrão da taxa de queima linear apresentou um valor alto, demonstrando o caráter inflamável das fibras e também a heterogeneidade entre os tecidos não tratados.

Tabela 18 - Taxa de queima linear para as três amostras com látex.

Amostra com látex	Comprimento da amostra queimada (mm)	Tempo de queima (s)	Taxa de Queima Linear (mm/m)
Amostra 1	75	30	150
Amostra 2	75	11	409,09
Amostra 3	75	20	225
Desvio Padrão	-	9,5	133,2

Por serem fibras naturais altamente celulósicas, demonstram esse tipo de comportamento. Entretanto, o geotêxtil, mesmo composto das mesmas fibras, recebeu um banho de látex vulcanizado sobre os filamentos. Com as fibras mais resistentes, o compósito apresentou uma menor oscilação entre as taxas de queima linear e um desvio padrão com valor inferior.

O látex vulcanizado é um produto inflamável, portanto, os valores de queima linear apresentaram valor mais consistente, porém, não inferior ao valor dado pela queima do tecido in natura. A rápida combustão de ambas as fibras, in natura e revestida, demonstra que o compósito é frágil ao fogo (Fig. 68 e 69).

Figura 68- Ensaio com amostras de tecido sem látex, onde a) chama nos primeiros 5 segundos, b) primeiro contato com a chama e c) amostra em após 10 segundos.

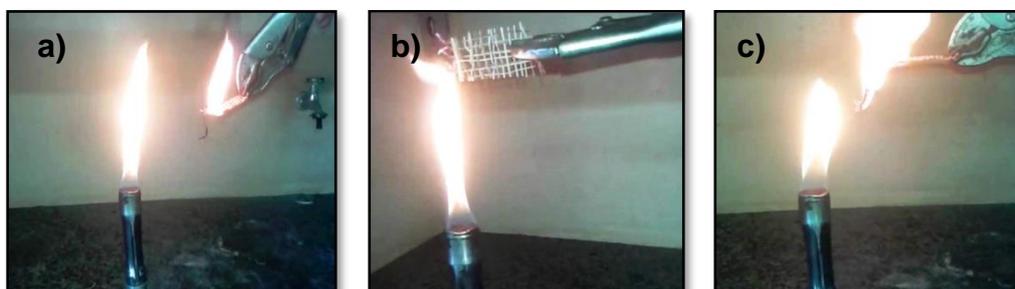
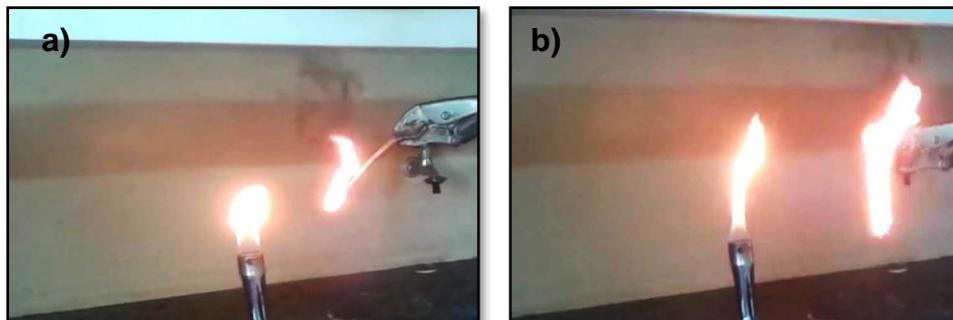


Figura 69– Ensaio mostra amostras de geotêxteis em processo de combustão.a)Amostra após entrar em contato com a chama, b)amostra em 5 segundos de contato com a chama.



Nas Figuras 68 e 69 podem ser visualizados o comportamento das amostras durante os testes. O que pode ser identificado nos teste é que a fibra do caule da bananeira é inflamável e o látex possui um comportamento semelhante. Foi ainda evidenciado pelo experimento que o látex, ao entrar em combustão, espalha a chama com mais facilidade que o tecido sem látex. O tecido apresentou uma queima localizada e só espalhou a chama conforme as fibras se desintegraram, porém, o látex espalhou facilmente a chama. Mais uma prova que o compósito é fragilizado pelo fogo.

Em seguida, foi realizada outra análise de flamabilidade, porém, nessa análise, as amostras receberam um banho de retardante de chamas TCPP LO.

Após setenta e duas do banho de látex, as amostras se encontravam secas e cortadas conforme requisição da norma. Ainda conforme a norma UL 94, as amostras foram posicionadas no gancho e a análise foi realizada (Figura 70).

Figura 70- Análise de Flamabilidade com retardante de chamas.



Os novos testes foram realizados e, diferente dos testes anteriormente feitos, os corpos de prova resistiram mais ao fogo (Fig. 71 e 72). O retardante de chamas também se mostrou eficiente mesmo para a amostra com látex.

Figura 71- Amostras sem látex após o teste de flamabilidade a)Amostra 1, b)amostra 2 e c) amostra 3.

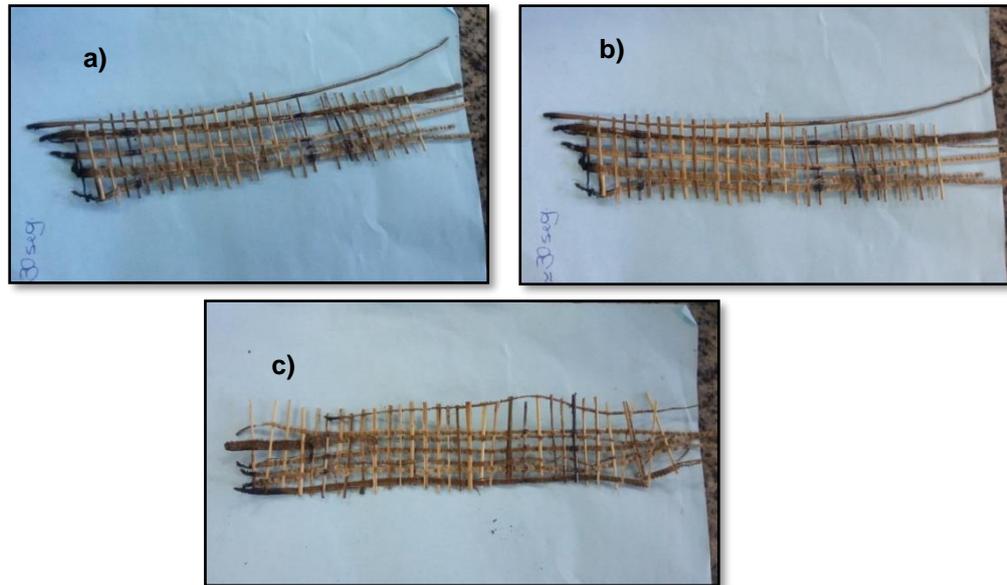
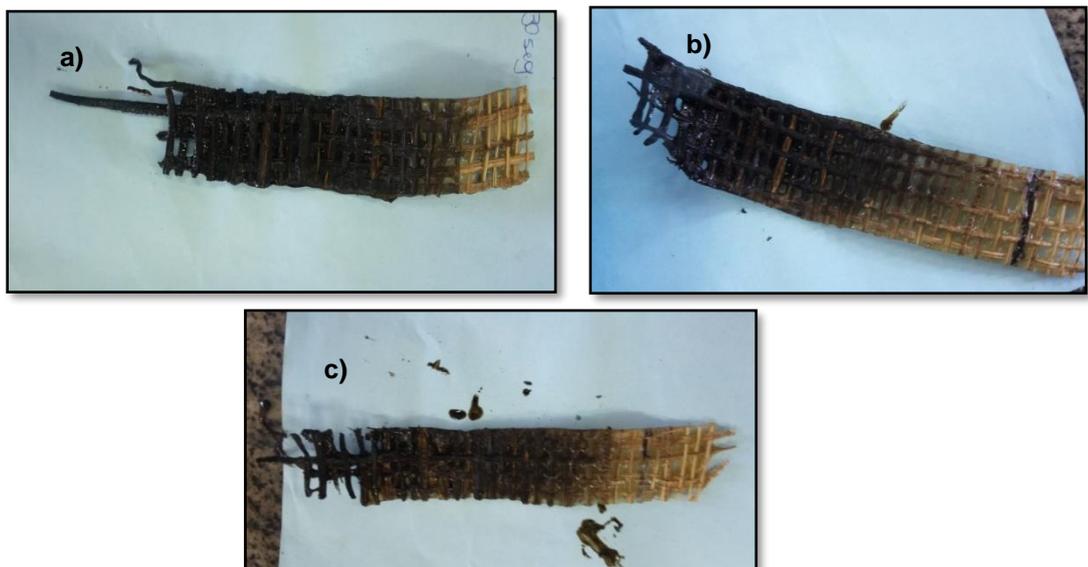


Figura 72- Amostras com látex após o teste de flamabilidade. a)Amostra 1, b)amostra 2 e c) amostra 3.



Com base nos resultados das análises, foi possível calcular novos valores para a variação da taxa de queima linear para os corpos de prova que receberam o banho de retardante, Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Taxa de queima linear para as três amostras sem látex e com retardante.

Amostra sem látex e com retardante	Comprimento da amostra queimada com retardante (mm)	Tempo de queima (s)	Taxa de Queima Linear com retardante (mm/m)
Amostra 1	15	30	30
Amostra 2	17,5	30	35
Amostra 3	10	30	20
Desvio Padrão	3,8	-	5,0

Pôde ser visualizado, através da Tabela 19, que o retardante de chama conferiu a amostra sem látex uma maior resistência ao fogo. Pode se ainda afirmar que a taxa de queima e o desvio padrão das amostras foram inferiores ao teste anterior e os resultados mais homogêneos.

O retardante conferiu às fibras uma melhor capacidade de resistir ao fogo sem alterar significativamente suas características superficiais ou estruturais.

Tabela 20 - Taxa de queima linear para as três amostras com látex e retardante.

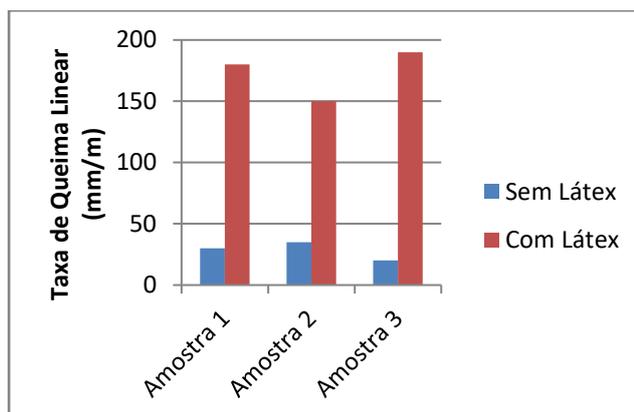
Amostra com látex e com retardante	Comprimento da amostra queimada com retardante (mm)	Tempo de queima (s)	Taxa de Queima Linear com retardante (mm/m)
Amostra 1	90	30	180
Amostra 2	60	30	150
Amostra 3	95	30	190
Desvio Padrão	18,9	-	20.8

Mesmo apresentando valores altos para a taxa de queima, acima de 100mm/m, pode-se afirmar que o retardante de chama também conferiu ao substrato com látex maior resistência ao fogo. Tendo em mente que o látex é um elastômero e, conseqüentemente, um material inflamável, já era esperado tal resultado.

Porém, ainda que com um valor acima de 100mm/m, o substrato com banho de látex e retardante de chama se manteve inferior a 200mm/m, o que comprova o seu caráter de resistência a chama, ou seja, classificação V1.

Os resultados podem ser evidenciados na Figura 73.

Figura 73- Variação da taxa de queima linear para as amostras sem látex e com látex.



Comparando a Figura 73 com a Figura 67 da análise de flamabilidade anterior, pode-se chegar a conclusão de que o retardante de chamas conseguiu melhorar consideravelmente a resistência dos corpos de prova e, mesmo com valores maiores, as amostras com látex apresentaram menor taxa de queima que os testes anteriores.

Outro fator importante, as amostras cumpriram a especificação da norma e resistiram aos trinta segundos pedidos. O mesmo fator não ocorreu nas análises sem retardante, pois os corpos de prova sem látex foram consumidos pela chama em menos de trinta segundos.

4.5. Gramatura

A Gramatura é um dado têxtil de grande importância para classificar o tecido quanto a leveza e também ao rendimento do rolo do tecido. As análises foram realizadas usando uma balança para conferir o peso de cada amostra (Figura 74) e, posteriormente, a gramatura foi calculada utilizando a equação 10, conforme pode ser visualizado nas Tabelas 21 e 22.

Figura 74- Pesagem de a) Tecido; b) Geotêxtil.

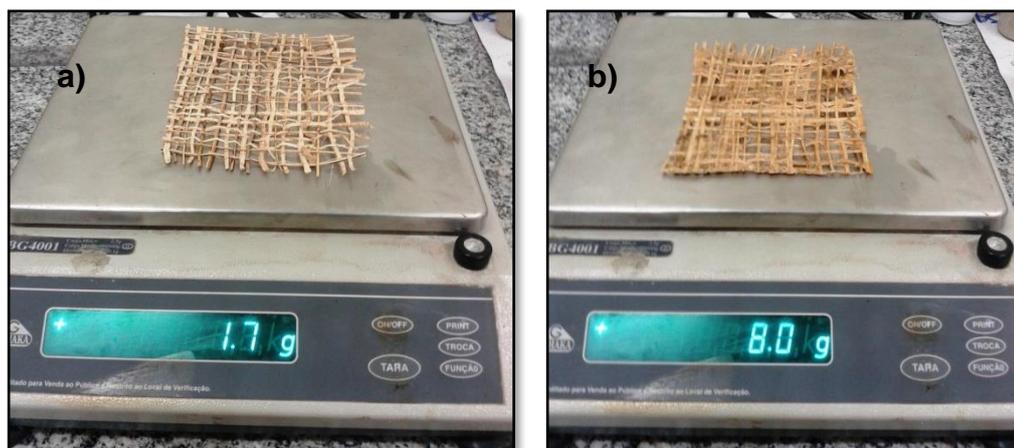


Tabela 21 - Valores referentes à Gramatura do tecido.

Sem látex	Peso g	Gramatura g/m ²
Amostra 1	1,409	140,9
Amostra 2	1,385	138,5
Amostra 3	2,005	200,5
	Gramatura média	159,97
	Desvio Padrão	34,82

Tabela 22 - Valores referentes à Gramatura do geotêxtil.

Com látex	Peso g	Gramatura g/m ²
Amostra 1	11,143	1114,3
Amostra 2	8,101	810,1
Amostra 3	8,865	886,5
	Gramatura média	936,97
	Desvio Padrão	158,25

Com base nos resultados obtidos, foi possível classificar os tecidos sem látex como materiais têxteis de média leveza. Isso significa que o tecido é mais maleável e, conseqüentemente, será de médio rendimento, ou seja, menor que 220g/m².

Por outro lado, o geotêxtil obteve um resultado não muito satisfatório, pois sua gramatura é considerada pesada ou seja, maior do que 220g/m².

De certa forma, o resultado não torna o geotêxtil um material de baixa qualidade ou de baixo rendimento, isso porque o material é formado a partir de um tecido de média gramatura e, conseqüentemente, de médio rendimento. Após a sua confecção é que o banho de látex é feito, o que confere ao geotêxtil o seu aumento de peso.

Como pode ser visualizado nas Tabelas 21 e 22, o peso da Amostra 1 passa de 1,409 gramas para 11,143 gramas. Essa adição de quase 10 gramas é dada pelo

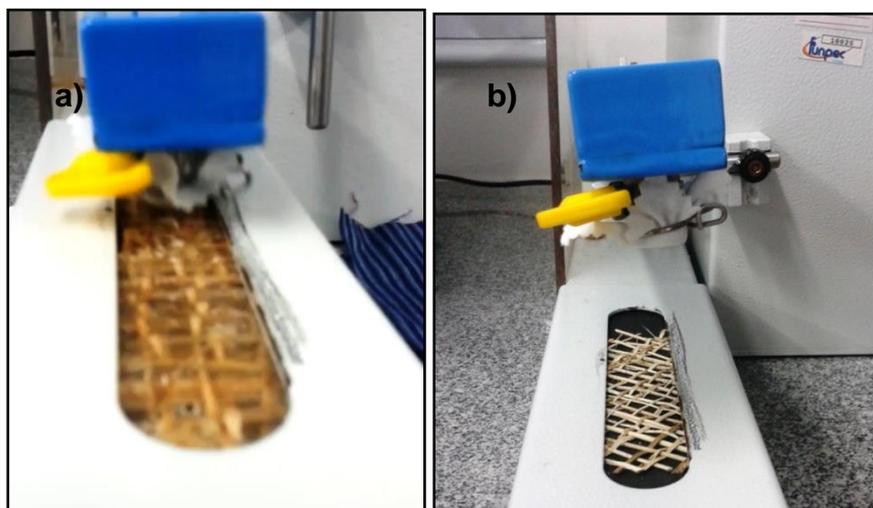
banho de látex na fibra in natura. As amostras 2 e 3 adquirem cerca de 4 gramas cada, o que também é um aumento considerável.

A gramatura aumenta com o banho de látex, porém o rendimento se mantém, ou seja, o que aumenta é o peso pela adição de látex. Essa vantagem é apenas assimilada devido ao tecido se manter o mesmo, pois as amostras continuaram com 10cm², o que variou foi apenas o peso.

4.6. Abrasão (Fricção)

O teste de fricção é feito quando o atrito se dá através de um tecido de algodão preso ao braço móvel, conforme pode ser visto na Figura 75.

Figura 75- a) Braço do Abrasímetro Crockmeter friccionando o compósito geotêxtil e b) tecido sem látex posicionado no equipamento.

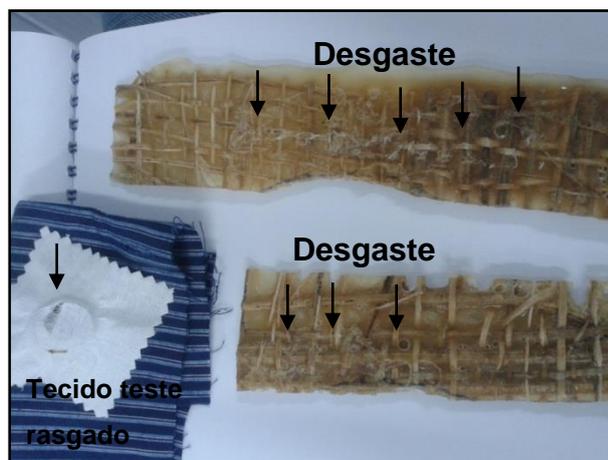


O corpo de prova sem látex foi posicionado e ao iniciar o teste, o tecido se desmanchou devido a sua fragilidade. Foram testadas ainda duas amostras, porém, não houve sucesso.

Após ser comprovada a fragilidade do corpo de prova sem látex, o compósito geotêxtil foi inserido no braço estático do equipamento e programado para 2000 ciclos, ou seja, 2000 deslocamentos do braço móvel. Diferentemente do teste com o tecido sem látex, o comportamento do compósito foi melhor do que o esperado sendo melhor do que alguns tecidos resistentes.

O corpo de prova sofreu fricção por 325 ciclos, parando apenas devido o rasgamento do tecido teste que friccionava o corpo de prova, conforme pode ser visualizado na Figura 76.

Figura 76- Corpos de prova após sofrerem o teste de Abrasão ao lado do tecido teste de algodão.



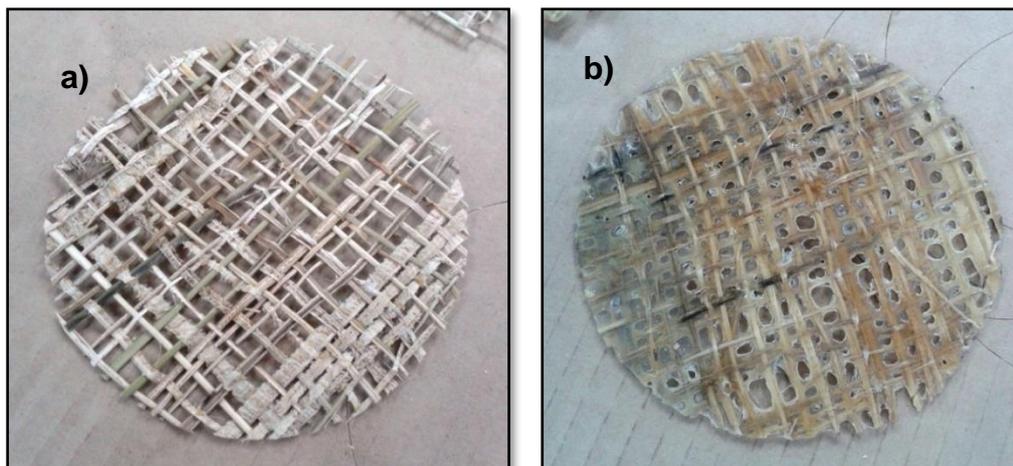
Como pôde ser visto pela Figura 76, o geotêxtil apresentou desgaste nos pontos marcados pelas setas, porém, resistiu a fricção, diferente do tecido sem o banho de látex.

4.7. Densidade

Conforme a ASTM D3801/ ISO 2060, a densidade de um tecido composto por trama e urdume deve ser medida com um conta fios graduado em centímetros quadrados.

Ambas as amostras de possuem a mesma densidade de 4 fios/cm, Figura 77. Para o tecido sem o banho de látex, isso confere ao material confeccionado um maior espaçamento entre as fibras, se o tecido fosse realmente utilizado na área têxtil, isso iria ser considerado com uma característica de frescor às peças. Porém, como não é, é considerado como uma característica negativa de fragilidade na tecelagem.

Figura 77- Corpo de prova a) sem látex e b) com látex.



Com a adição do látex, confere-se ao geotêxtil, uma chance menor de esgarçamento e um fechamento dos poros.

4.8. Absorção de umidade

O procedimento foi realizado no determinador de umidade ID-200, de acordo com o que determina o fabricante, analisando amostras com uma massa inicial mínima de 1 grama.

Os corpos de prova possuíam em temperatura ambiente, aproximadamente 26°C e 60% de umidade, massas iniciais de 1,35g para a amostra sem látex e 4,30g para a amostra com látex.

Ao serem inseridos no determinador de umidade, os corpos de prova foram expostos a temperaturas de até 110°C e, após os teste, apresentaram resultados distintos, conforme pode ser visto nas Figuras 78 e 79 a, b e c.

Figura 78- a) mostra a pesagem inicial do tecido sem látex, b) equipamento realizado o aquecimento do tecido e realizado a análise da absorção de umidade, c) resultado da análise.

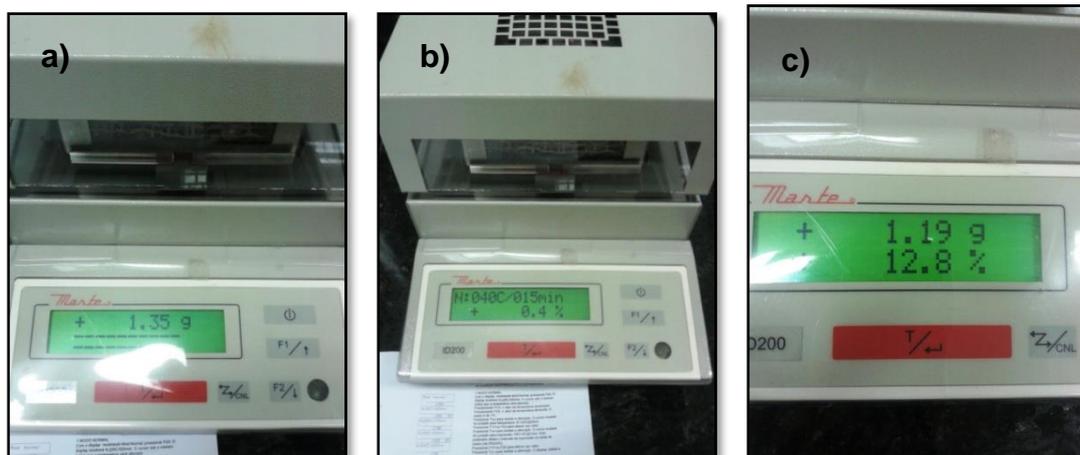


Figura 79- a) mostra a pesagem inicial do geotêxtil, b) equipamento realizado o aquecimento do tecido e realizado a análise da absorção de umidade, c) resultado da análise

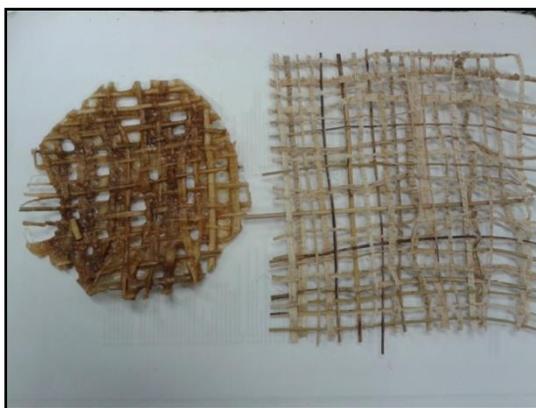


Ao visualizar as figuras, é possível identificar que após passar pelo processo de aumento de temperatura e, conseqüentemente, retirada de umidade do amostra, os corpos de prova sem látex demonstraram uma absorção de umidade equivalente a 12,8%. Enquanto o corpo de prova com látex, mesmo apresentando uma massa inicial maior, demonstrou uma absorção de umidade inferior, apenas 3,5%.

Isso ocorre devido ao tratamento de látex. Ao receber o revestimento plástico, as fibras perdem sua capacidade de absorver a umidade do ar, tornando-se menos hidrofílicas. O látex preenche os poros vazios característicos da fibra celulósica, conforme pode ser visualizado na Figura 62 MEV, impedido que a fibra absorva umidade. Com os poros preenchidos, as fibrilas também são cobertas pelo látex. Isso aumenta a capacidade de adesão da fibra com o próprio látex ou outro material ao qual o compósito possa ser anexado.

É importante salientar que após perder umidade a uma temperatura elevada, o compósito geotêxtil sofreu degradação. A cor da amostra escureceu para âmbar escuro, o aspecto ficou bastante quebradiço e uma aparência grudenta, Figura 80.

Figura 80- Amostra com látex e amostra sem látex após o teste de absorção de umidade.



4.9. Absorção de água (Higroscopia)

As amostras foram pesadas, logo após um condicionamento de 24 horas na estufa a 50°C, e imersas em um recipiente de vidro com água destilada por 24 horas. Após o período especificado pela norma, as amostras foram pesadas novamente, Tabelas 23 e 24.

Tabela 23 - Pesagem antes e depois das 24 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.

Sem látex	Peso inicial g	Peso 24 horas g	%
Amostra 1	0,15	0,21	40
Amostra 2	0,23	0,28	21,74
Amostra 3	0,22	0,24	9,09
Desvio Padrão	0,04	0,03	15,54

Tabela 24 - Pesagem antes e depois das 24 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.

Com látex	Peso inicial g	Peso 24 horas g	%
Amostra 1	1,41	1,84	30,49
Amostra 2	1,18	1,46	23,73
Amostra 3	0,91	1,45	59,34
Desvio Padrão	0,25	0,22	18,91

Ao final das 24 horas foi possível notar a primeira variação no peso. As amostras tiveram considerável variação, porém, ambas se mantiveram com absorções homogêneas. Por ser uma fibra natural, possuidora de celulose e

altamente higroscópica, as fibras de bananeira apresentaram um comportamento inchado e um aspecto mole, com a impressão de desmanchar.

Ao final das primeiras 24 horas, foi repetido o processo. Após as novas 24 horas, os corpos de prova foram secos e, posteriormente, imersos por mais 2 horas. Ao final do novo processo, as amostras foram retiradas da água destilada e pesadas novamente. O resultado da pesagem pode ser melhor avaliado nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.

Sem látex	Peso inicial g	Peso g 24 horas + 2 horas	%
Amostra 1	0,21	1,02	385,71
Amostra 2	0,23	1,22	430,43
Amostra 3	0,24	1,11	362,5

Tabela 26 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.

Com látex	Peso inicial g	Pesog 24 horas + 2 horas	%
Amostra 1	1,84	2,50	35,87
Amostra 2	1,46	2,02	38,35
Amostra 3	1,45	2,02	39,31

Conforme pode ser visto nas Tabelas 25 e 26, houve um aumento considerável em ambas as amostras. Isso se deve ao fato de que mesmo possuindo um revestimento plástico, a fibra continua com suas propriedades higroscópicas, ou seja, absorvendo muita água. Entretanto, esse resultado é 300% nas fibras in natura, isso pode ser explicado pelas fibras não terem sofrido nem tratamento e toda a sua porosidade ser preenchida pela água. O mesmo não ocorre com a fibra revestida em látex, pois a porosidade da fibra de celulose, altamente higroscópica, está preenchida pelo elastômero.

O mesmo processo de imersão de 24 horas, secagem e nova imersão por 2 horas é repetido. Os resultados podem ser melhor vistos nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova sem látex.

Sem látex	Peso inicial g	Pesog 24 horas + 2 horas	%
Amostra 1	1,02	0,90	-11,76
Amostra 2	1,22	1,02	-16,39
Amostra 3	1,11	0,97	-12,61

Tabela 28 - Pesagem antes e depois das 24 horas e mais 2 horas de imersão em água destilada para corpos de prova com látex.

Com látex	Peso inicial g	Pesog 24 horas + 2 horas	%
Amostra 1	2,50	2,84	1,36
Amostra 2	2,02	2,27	12,37
Amostra 3	2,02	2,22	9,09

Ao final do processo, pode ser percebido que as fibras sem látex começam a entrar um estado de saturação, mantendo ou perdendo parte do seu peso. O mesmo não ocorre com a fibras com látex, pois o mesmo continua absorvendo água.

O goetêxtil é formado por uma fibra higroscópica e um elastômero natural higroscópico, portanto, ao ficar em contato com água por vários dias, o substrato adquiriu peso diretamente proporcional ao seu peso inicial. O mesmo ocorreu com o substrato sem látex, porém, por ter um peso inferior, absorveu menos água e depois saturou.

Ao completar o processo inicial indicado pela norma, o próximo item a ser realizado foi a imersão de longa duração. Isso significa dizer que os corpos de prova foram imersos em água destilada durante duas semanas e eram constantemente pesados para avaliar a sua massa. As pesagens foram feitas sempre no mesmo horário, variando apenas os dias, Tabelas 29 e 30.

Tabela 29 - Comportamento das amostras sem látex ao longo do período de imersão referente a duas semanas.

Sem látex	06/07	09/07	13/07	15/07	20/07
Amostra 1	0,90g	1,00g	1,14g	1,20g	1,30g
Amostra 2	1,02g	1,05g	1,18g	1,19g	1,26g
Amostra 3	0,97g	0,92g	1,08g	1,03g	1,25g
Desvio Pad	0,06	0,065	0,05	0,09	0,026

Tabela 30-Comportamento das amostras com látex ao longo do período de imersão referente a duas semanas.

Com látex	06/07	09/07	13/07	15/07	20/07
Amostra 1	2,84g	2,92g	3,07g	3,10g	3,15g
Amostra 2	2,27g	2,36g	2,46g	2,52g	2,68g
Amostra 3	2,22g	2,29g	2,41g	2,46g	2,58g
Desvio Pad	0,340	0,345	0,367	0,353	0,304

Como pode ser visto nas Tabelas, as amostras absorveram água. Isso pode ser explicado pelo comportamento higroscópico da fibra.

Figura 81- Comportamento das amostras sem látex referente à absorção de água.

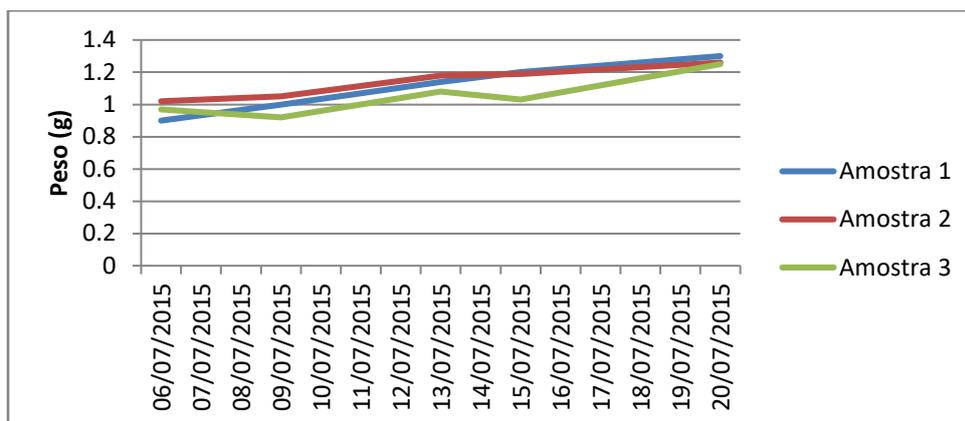
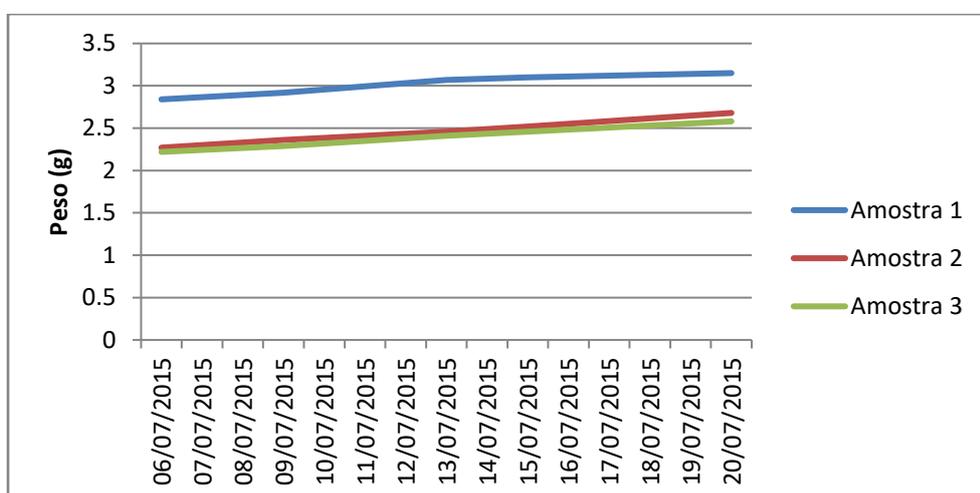


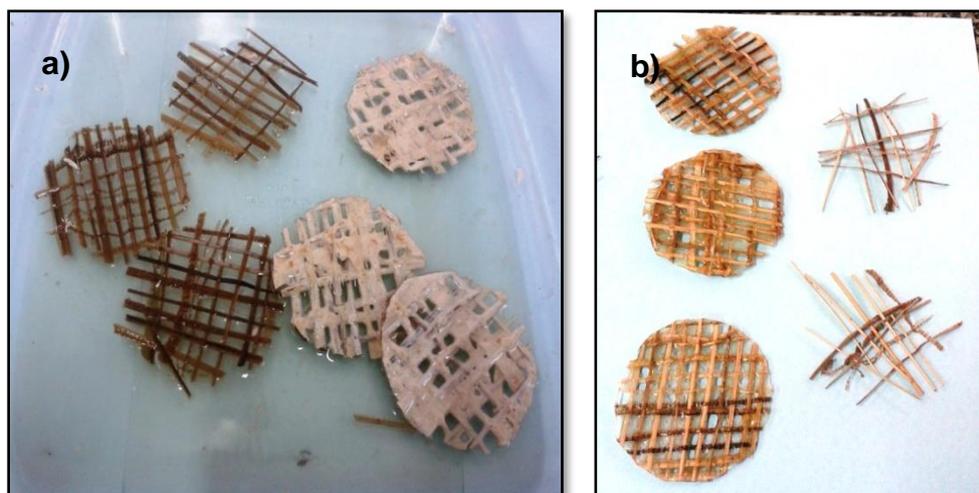
Figura 82- Comportamento das amostras com látex referente à absorção de água.



Com o auxílio dos gráficos das Figuras 81 e 82, fica claro observar o comportamento das fibras para cada dia das duas semanas de imersão. As amostras 1, com látex e sem látex, apresentam comportamentos semelhantes, ou seja, provenientes do mesmo tecido as duas amostras absorveram mais água do que as demais.

Independente da amostra, ficou claro que tanto os corpos de prova sem látex quanto os com látex absorvem água, aumentando sua massa e mudando suas características físicas, pois após 14 dias imersos em água destilada, os compósitos geotêxteis se tornaram brancos, da cor do látex líquido, perderam as características maleáveis e sua cor âmbar. Os tecidos apresentaram uma forma frágil, macia e inchada, Figura 83.

Figura 83- Corpos de prova a) no início e b) final do teste de absorção de água.



Após a pesagem das duas semanas, a norma requeria ainda imersões em água fervendo em duas horas e depois outra imersão durante 30 minutos. Devido à fragilidade dos corpos de prova, não foram realizados esses dois itens da norma, pois a uma temperatura de 120°C, os corpos de prova se desintegrariam. Suprimindo os dois itens da norma, o último item sugeria uma imersão em água destilada a 50°C por 48 horas. O resultado pode ser verificado nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31- Comportamento dos corpos de prova sem látex após imersão de 24 horas em água destilada a 50°C.

Sem látex	Peso inicial g	Peso 48 horas g
Amostra 1	1,30	1,53
Amostra 2	1,26	1,58
Amostra 3	1,25	1,49
Desvio Padrão	0,026	0,045

Tabela 32- Comportamento dos corpos de prova sem látex e com látex após imersão de 24 horas em água destilada a 50°C.

Com látex	Peso inicial g	Peso 48 horas g
Amostra 1	3,15	3,26
Amostra 2	2,68	2,64
Amostra 3	2,58	2,61
Desvio Padrão	0,304	0,367

De acordo com a norma, a Equação 10 para o aumento de peso por absorção de água é dada a seguir.

$$\text{Aumento em peso\%} = \frac{\text{peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (10)$$

Portanto, fazendo uma relação entre a primeira pesagem, após 24 horas na estufa a 50°C, e a última pesagem, após todos os processos e última imersão por 48 horas, temos a Tabela 33.

Tabela 33- Resultados da equação para o aumento de peso dos corpos de prova sem látex e com látex.

Tecido sem látex	Peso seco	Peso úmido	Aumento de Peso %
Amostra 1	0,21g	1,53g	628,57%
Amostra 2	0,23g	1,58g	586,96%
Amostra 3	0,24g	1,49g	520,83%
Desvio Padrão	0,015	0,05	54,3
Tecido com látex	Peso seco	Peso úmido	Aumento de Peso %
Amostra 1	1,48g	3,26g	120,27%
Amostra 2	1,46g	2,64g	80,82%
Amostra 3	1,45g	2,61g	80%
Desvio Padrão	0,015	0,37	23,01

Houve um grande aumento de peso nos dois corpos de prova, porém houve um maior aumento nas amostras de tecido sem látex, como pode ser evidenciado na tabela, assim como o desvio padrão. Isso se dá pelo fato de os tecidos não possuírem nenhuma modificação em sua composição física ou química.

O mesmo não ocorre com o geotêxtil que absorveu em média 93% do seu peso inicial em água. Mesmo havendo modificação na característica da fibra, o geotêxtil continua higroscópico.

Com a análise concluída, demonstrando que o substrato têxtil possui um comportamento higroscópico, sendo porém o tecido sem látex mais higroscópico que o tecido com látex, foi realizada uma última análise dos corpos de prova após a absorção de água. As amostras foram submetidas a um teste de tração

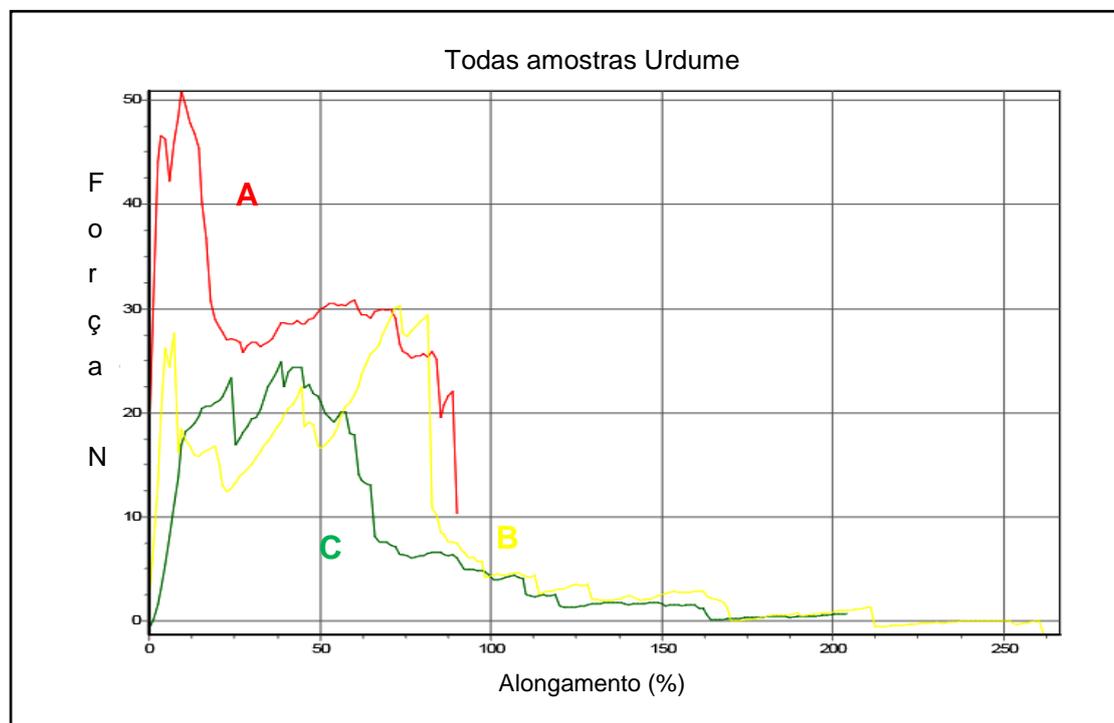
No Laboratório de Engenharia Têxtil LABCTEX DET/UFRN, foi realizada uma nova análise de tração com o objetivo de testar o geotêxtil em possível situação real. Os resultados da análise de resistência do geotêxtil podem ser visualizados na Tabela 34 e no gráfico da Figura 84.

Importante salientar que as análises só foram realizadas nos compósitos geotêxteis, devido à fragilidade dos corpos de prova sem látex.

Tabela 34- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Absorção de água, submetidos a testes de resistência.

Amostra	Força Max N	Alongamento Max %	Tempo s
1 com látex	51,6	9,60	1,4
2 com látex	25,1	38,40	5,8
3 com látex	30,4	73,20	11,0
Média	35,7	40,4	6,1
Desvio Padrão	14,02	31,85	4,8

Figura 84- Linhas representam o comportamento dos compósitos geotêxteis após sofrerem tração, onde a linha vermelha (A) é a amostra 1, a amarela (B) é a amostra 2 e a verde (C), é a amostra 3.



Ao analisar a Tabela 34 e o gráfico da Figura 84, pode-se concluir que a amostra 1 que apresentou maior absorção de água, mesmo tendo suportado uma maior força, apresentou o pior alongamento e um menor tempo de ruptura. Entretanto, as amostras 2 e 3 que absorveram menos água, apresentaram um comportamento mais uniforme do que a amostra 1, possuindo um tempo de ruptura maior e um alongamento elevado, mesmo sofrendo uma menor força.

Pode-se então afirmar que as amostras com o banho de látex absorveram menos água do que as mesmas amostras sem o látex. Ainda, pode-se dizer que quanto menor a porcentagem de absorção de água, melhor o desempenho no teste de resistência dos materiais relacionado ao alongamento e tempo de ruptura. Com relação à força de ruptura, as amostras não apresentaram grande resistência a ruptura, exceto pela amostra 1.

4.10. Envelhecimento por ciclo

Para a preparação do teste, os corpos de prova foram condicionados a uma temperatura de 60°C na estufa por 24 horas. Após retirados, foram pesados, conforme mostra a Tabela 35.

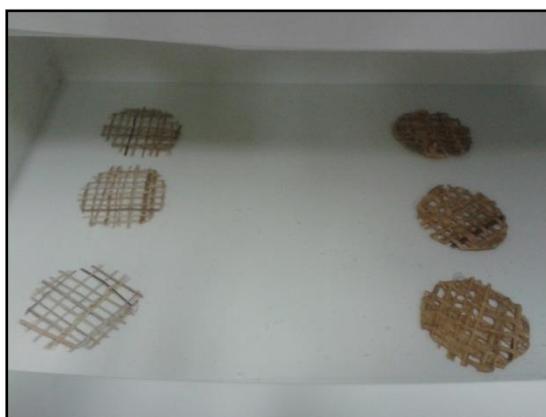
Tabela 35- Preparação para o teste de envelhecimento. Peso das amostras de tecido sem látex e compósito após 24 horas a 60°C.

Amostras	Sem Látex g	Com Látex g
Amostra 1	0,16	1,08
Amostra 2	0,29	1,09
Amostra 3	0,20	1,10

Isso só reforça os testes anteriores provando que a folha da bananeira é extremamente higroscópica e absorve grande umidade do ambiente.

As amostras ficaram expostas a essa temperatura no freezer do laboratório citado, Figura 85.

Figura 85- Corpos de prova após 29 horas condicionados a temperatura de -5°C.



As amostras foram novamente pesadas e, com isso, pôde ser observado que além da camada de gelo presente nas amostras, pouco mudou no peso, o que pode ser melhor visualizado nas Tabelas 36 e 37.

Tabela 36- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o primeiro ciclo condicionado a -5°C por 29 horas.

Sem látex	Peso inicial g	Peso 29 horas g
Amostra 1	0,16	0,18
Amostra 2	0,29	0,28
Amostra 3	0,20	0,21
Desvio Padrão	0,066	0,05

Tabela 37- Comportamento dos corpos de prova com látex após o primeiro ciclo condicionado a -5°C por 29 horas.

Com látex	Peso inicial g	Peso 29 horas g
Amostra 1	1,08	1,11
Amostra 2	1,09	1,10
Amostra 3	1,10	1,11
Desvio Padrão	0,01	0,005

Pode ser visualizado nas Tabelas que não houve nenhuma variação expressiva na massa das amostras.

A segunda parte do envelhecimento por ciclo pediu um condicionamento a 22°C por 19 horas com umidade relativa de 95%. Para atingir tal umidade, as amostras foram depositadas sobre uma leve camada de água, Figura 86.

Figura 86- Segunda etapa do teste de envelhecimento por ciclo.



O procedimento nessa etapa foi também repetido na quarta etapa. Conforme era esperado, os corpos de prova ganharam um aumento na sua massa após o contato com alta umidade, melhor visualizado nas Tabelas 38 e 39. O mesmo não aconteceu na primeira fase do ciclo devido à baixa temperatura e também, ao freezer que retirou a umidade das amostras.

Tabela 38- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o segundo ciclo condicionado a 22°C por 19 horas e 95% de umidade relativa.

Sem látex	Primeira fase 29h -5°C	Segunda fase 19h 22°C 95%
Amostra 1	0,18g	0,59g
Amostra 2	0,28g	0,97g
Amostra 3	0,21g	0,76g
Desvio Padrão	0,051	0,19

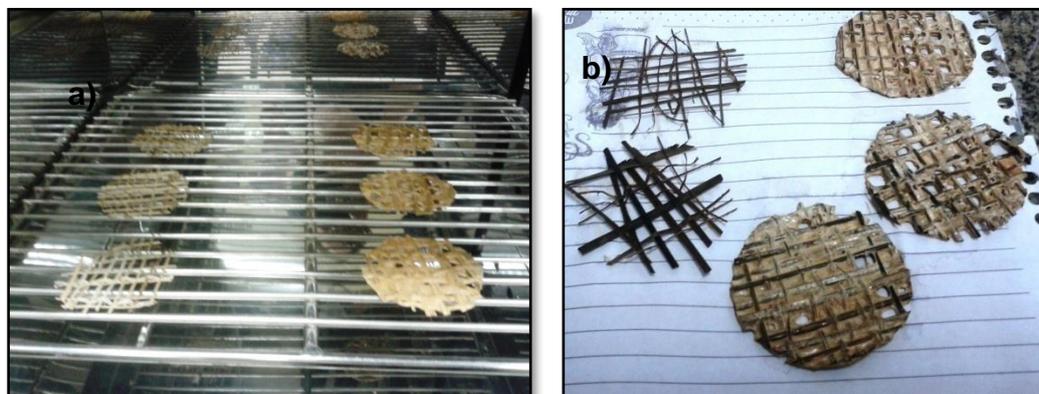
Tabela 39- Comportamento dos corpos de prova com látex após o segundo ciclo condicionado a 22°C por 19 horas e 95% de umidade relativa.

Com látex	Primeira fase 29h -5°C	Segunda fase 19h 22°C 95%
Amostra 1	1,11g	1,51g
Amostra 2	1,10g	1,60g
Amostra 3	1,11g	1,50g
Desvio Padrão	0,05	0,05

A terceira fase do ciclo envolve um aumento da temperatura para 107°C por 29 horas. Tal fase teve sua temperatura mantida, mesmo sabendo da fragilidade do

corpo de prova em questão. As amostras foram depositadas na estufa, Figura 87, e retiradas após o período previsto.

Figura 87- Corpos de prova a) na estufa e b) após sair da estufa a 107°C.



Após as 29 horas na estufa, os corpos de prova saíram bastante fragilizados. As amostras sem látex praticamente se desintegraram e os compósitos apresentaram uma descamação do látex nas fibras. Isso se deve a alta temperatura a que foram submetidos. Houve ainda uma considerável diminuição da massa, Tabelas 40 e 41. Mais uma vez, pode ser explicado pela alta temperatura e pela perda da umidade.

Tabela 40- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o terceiro ciclo condicionado a 107°C por 29 horas.

Sem látex	Segunda fase 19h 22°C 95%	Terceira fase 29h 107°C
Amostra 1	0,59g	0,13g
Amostra 2	0,97g	0,20g
Amostra 3	0,76g	0,16g
Desvio Padrão	0,19	0,03

Tabela 41- Comportamento dos corpos de prova com látex após o terceiro ciclo condicionado a 107°C por 29 horas.

Com látex	Segunda fase 19h 22°C 95%	Terceira fase 29h 107°C
Amostra 1	1,51g	1,05g
Amostra 2	1,60g	1,04g
Amostra 3	1,50g	1,08g
Desvio Padrão	0,05	0,02

Para a última parte do ciclo, a quarta fase repete a segunda, ou seja, 19 horas a 22°C e umidade relativa 95%. Essa fase re-hidrata os corpos de prova que não mudam muito na forma geral, exceto pelo pequeno aumento de peso ao entrar em

contato com a água destilada, conforme pode ser melhor visualizado nas Tabelas 42 e 43.

Tabela 42- Comportamento dos corpos de prova sem látex após o quarto e último ciclo condicionado a 22°C por 19 horas com umidade relativa de 95%.

Sem látex	Terceira fase 29h 107°C	Quarta fase 19h 22°C 95%
Amostra 1	0,13g	0,39g
Amostra 2	0,20g	0,75g
Amostra 3	0,16g	0,64g
Desvio Padrão	0,03	0,18

Tabela 43- Comportamento dos corpos de prova com látex após o quarto e último ciclo condicionado a 22°C por 19 horas com umidade relativa de 95%.

Com látex	Terceira fase 29h 107°C	Quarta fase 19h 22°C 95%
Amostra 1	1,05g	1,51g
Amostra 2	1,04g	1,83g
Amostra 3	1,08g	1,68g
Desvio Padrão	0,02	0,16

Durante o ciclo, as fases se mostraram distintas, assim como o comportamento dos corpos de prova. Pode-se concluir, através dessa análise, que altas temperaturas, ou seja acima de 100°C, podem danificar gravemente as amostras, possuem elas banho de látex ou não. Pôde-se ainda observar que as amostras também perdem facilmente umidade para o ambiente, seja em um ambiente com temperaturas altas ou baixas.

Da mesma forma que foi feito com o teste de Absorção de água, os corpos de prova padrão usados no teste de Envelhecimento por ciclo passaram pela análise da resistência no Laboratório de Engenharia Têxtil LABCTEX DET/ UFRN. Os resultados podem ser vistos na Tabela 44 e no gráfico da Figura 88. Da mesma forma que o experimento anterior, só sofreram a análise de resistência com látex.

Tabela 44- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Envelhecimento por ciclo, submetidos a testes de resistência.

Amostra	Força Max N	Alongamento Max%	Tempo s
1 com látex	73,9	9,60	1,4
2 com látex	78,3	9,60	1,4
3 com látex	77,1	7,20	1,1
Média	76,4	8,8	1,3
Desvio Padrão	2,27	1,38	0,17

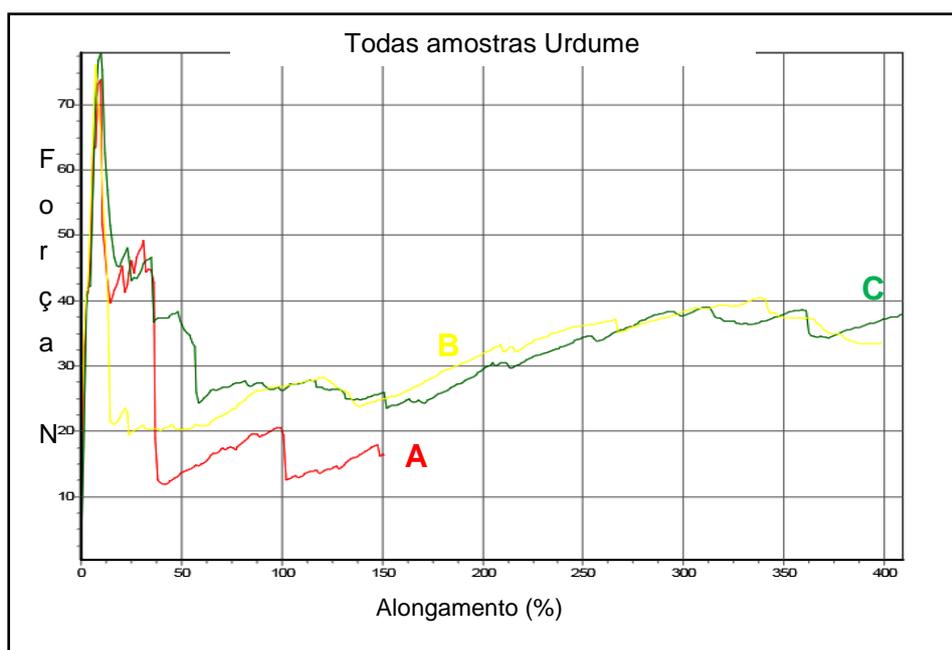
Diferentemente do teste de Absorção de água, os geotêxteis apresentaram comportamentos semelhantes entre si, gráfico da Figura 88. Porém, demonstraram

um resultado inferior ao alongamento quando comparado ao teste anterior. Isso se deve as altas temperaturas e a grande perda de massa ligada à umidade. Entretanto, com relação à força de ruptura, os corpos de prova se mostraram mais resistentes do que os testes realizados em corpos de prova que absorveram água. Isso se deve ao fato de o calor ter fixado o látex sobre a superfície da fibra, tornando-a mais resistente à tração.

Pode-se concluir que a resistência do geotêxtil foi aperfeiçoada pela alta temperatura e a variação do ciclo. Tal fato pode ser explicado pela termo fixação do látex pela fibra dada pela alta temperatura.

Pode-se ainda afirmar que a alta temperatura danificou as propriedades elásticas do látex, diminuindo consideravelmente o seu alongamento de ruptura quando comparado ao teste de absorção de água,

Figura 88-Linhas representam o comportamento dos compósitos geotêxteis após sofrerem tração, onde a linha vermelha (A) é a amostra 1, a amarela (B) é a amostra 2 e a verde (C), é a amostra 3.



De acordo com o gráfico da Figura 88, pode ser notado que há uma força de ruptura equilibrada para todas as três amostras.

4.11. Envelhecimento por umidade

As amostras foram pesadas antes do teste, sem condicionamento prévio, pois na norma não especificação para tal. Os valores podem ser visualizados na Tabela

45. Após pesados, os corpos de prova foram inseridos na estufa e foram apenas retirados no 14 dias depois, Figura 89.

Tabela 45- Peso das amostras de tecido sem látex e geotêxtil antes do teste de envelhecimento por umidade.

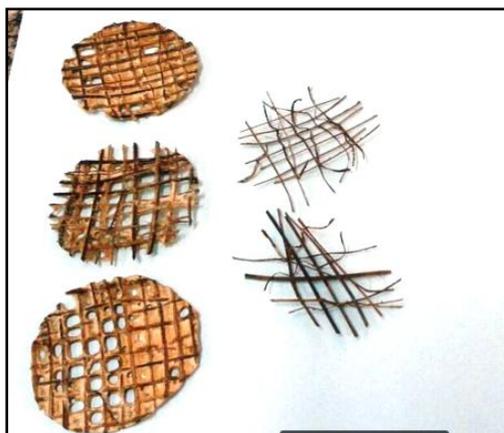
Amostras	Sem Látex g	Com Látex g
Amostra 1	0,27	1,92
Amostra 2	0,19	1,50
Amostra 3	0,30	1,19
Desvio Padrão	0,06	0,36

Figura 89- Corpos de prova na estufa em contato direto com água destilada.



Ao fim das 336 horas, ou 14 dias, os corpos de prova foram retirados da estufa. Ao removê-los, foi possível perceber que a amostra 1 sem látex se degradou ao longo do teste e as demais, sem látex, ficaram seriamente, degradadas. O mesmo não aconteceu com os compósitos, porém, apresentaram um aspecto semelhante ao teste de Envelhecimento por ciclo. Suas fibras perderam o látex e o restante, ficou com uma aparência pegajosa e com uma coloração amarronzada, Figura 90.

Figura 90- Corpos de prova ao sair da estufa após 336 horas a 80°C e umidade 95%.



Com relação ao ganho de massa, houve um aumento considerável no peso das amostras. Isso se deu pelo fato de as fibras terem ficado em contato direto com a água destilada durante os 14 dias do teste, conforme pode ser visualizado nas Tabelas 46 e 47.

Tabela 46- Comportamento dos corpos de prova sem látex após 336 horas a temperatura de 80°C com umidade relativa de 95%.

Sem látex	Peso antes do teste	Peso após 336hs, 80°C 95%
Amostra 1	0,27g	-
Amostra 2	0,19g	0,95g
Amostra 3	0,30g	1,38g
Desvio Padrão	0,06	0,7

Tabela 47- Comportamento dos corpos de prova com látex após 336 horas a temperatura de 80°C com umidade relativa de 95%.

Com látex	Peso antes do teste	Peso após 336hs, 80°C 95%
Amostra 1	1,92g	3,89g
Amostra 2	1,50g	3,39g
Amostra 3	1,19g	3,28g
Desvio Padrão	0,36	0,32

Conforme foi feito com os dois testes anteriores, foi realizada ainda uma análise de tração para o teste de envelhecimento por umidade, com o objetivo de analisar a resistência das fibras depois de passar por um teste em que usou calor e umidade, ao mesmo tempo.

Usando as mesmas especificações que as anteriores, 5N/s, o teste foi realizado também no Laboratório de Engenharia Têxtil da UFRN e os resultados pode ser visualizados na Tabela 48 e gráfico da Figura 91. Lembrando que as

amostras utilizadas para realizar o teste, foram apenas as amostras com látex devido a fragilidade das amostras sem látex.

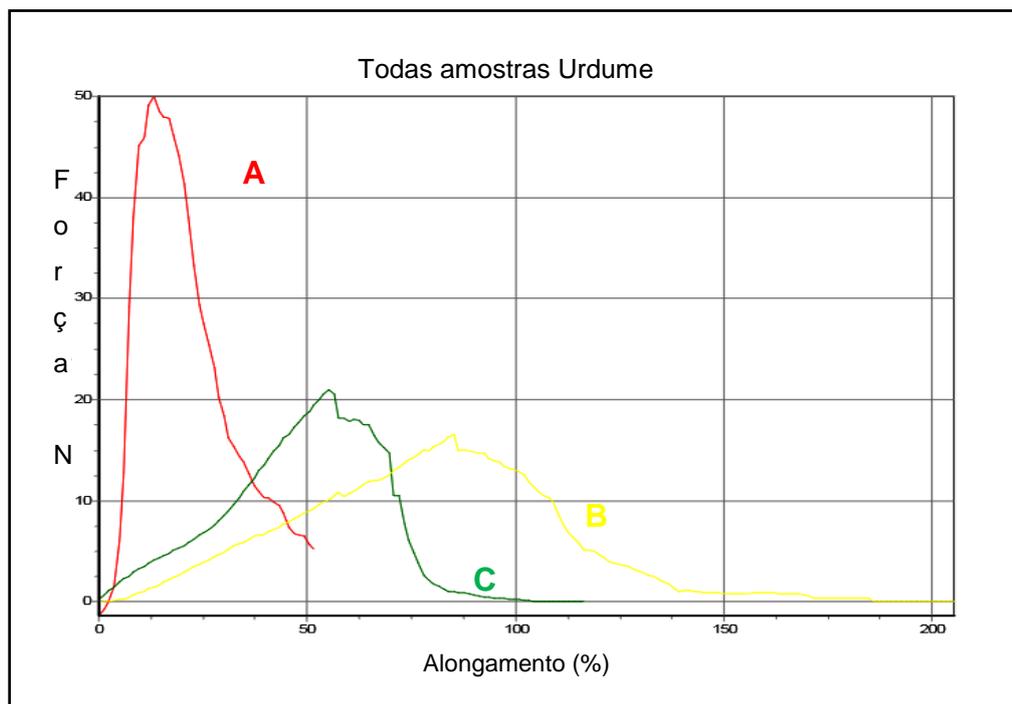
Tabela 48- Valores de Força, Alongamento e Tempo para 3 geotêxteis provenientes do teste de Envelhecimento por umidade, submetidos a testes de resistência.

Amostra	Força Max N	Alongamento Max %	Tempo s
1 com látex	50,0	13,20	2,0
2 com látex	21,2	55,20	8,3
3 com látex	16,6	85,20	12,8
Média	29,1	51,2	7,7
Desvio Padrão	18,12	36,17	5,42

Conforme pode ser visualizado pela Tabela 48, os melhores resultados de tração foram sem dúvidas provenientes das amostras que passaram pelo teste de envelhecimento por ciclo. Com um tempo de ruptura de aproximadamente 13 segundos, a amostra 3 apresentou um alongamento de 85%. A amostra 1, por outro lado teve um tempo de ruptura de apenas 2 segundos e um alongamento de aproximadamente 13%, porém, suportou uma carga de 50N.

Esse resultado positivo pode ser explicado pela alta umidade. A alta umidade confere ao substrato um alongamento maior antes da ruptura. Conforme prévia constatação, isso se deve ao caráter higroscópico da fibra. Porém quando exposto a uma temperatura alta, a máxima suportada pelo látex é 80°C, os geotêxteis ainda demonstraram uma resistência inferior. Mesmo com a resistência de 50N da amostra 1, as demais não tiveram um bom desempenho, aspecto evidenciado anteriormente quando o substrato é exposto a alta umidade.

Figura 91- O gráfico mostra através de linhas o comportamento das 3 amostras provenientes de teste de envelhecimento por umidade no teste de tração.

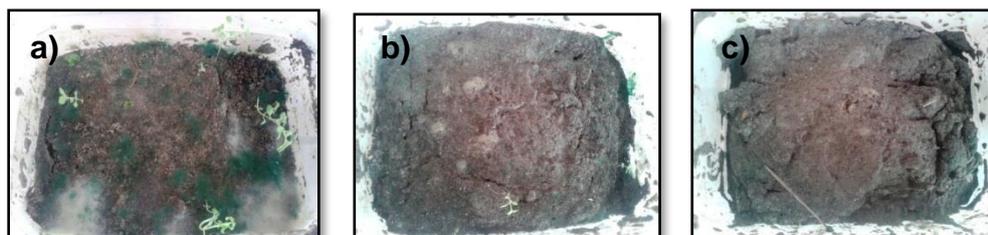


O gráfico proveniente do teste apresenta o comportamento das amostras, evidenciando um comportamento homogêneo dos corpos de prova 2 e 3, principalmente pelo fato de que nesse teste as fibras e o látex se rompem simultaneamente, provando mais uma vez que a temperatura e a umidade conferiram características positivas aos geotêxteis.

4.12. Biodegradação Ambiental

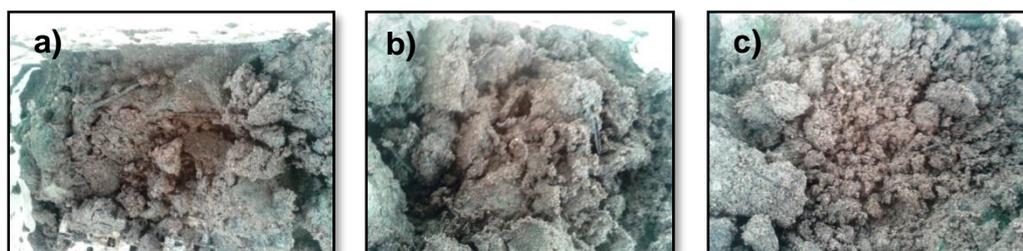
Com o objetivo de apresentar resultados diferentes, em uma das três amostras, a amostra 1, acrescentou-se mais água destilada que as demais, Figura 92.

Figura 92- a) Amostra 1, b) amostra 2 e c) amostra 3, respectivamente, após 120 dias ainda enterradas.



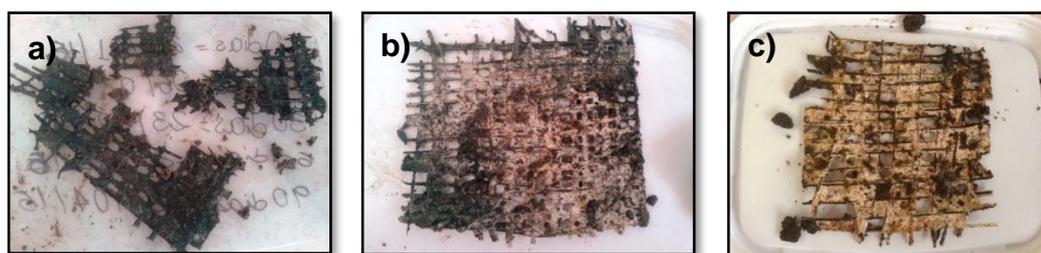
Após desenterradas, foi possível identificar que as amostras sofreram uma forte degradação. Os corpos de prova sem látex se desintegraram completamente, tornando-se adubo para a terra, conforme pode ser visualizado na Figura 93.

Figura 93- Resquícios dos corpos de prova sem látex a) amostra 1, b) amostra 2 e c) amostra 3.



Diferente do que aconteceu com as amostras sem látex, os corpos de prova com látex não se desintegraram completamente, porém sofreram forte influência do ambiente, conforme pode ser visualizado na Figura 94.

Figura 94- a) Amostra 1, b) Amostra 2 e c) Amostra 3.



Devido à fragilidade dos geotêxteis, não foi possível lavá-los com água destilada e, posteriormente, pesá-los. Entretanto, não houve a necessidade de pesá-los para notar que os corpos de prova perderam massa e que o contato com o solo provou que eles são biodegradáveis. Isso prova que o material tem uma vida de útil de em média três meses.

A princípio não houve agressão ao ambiente, pois, foi possível identificar a presença de insetos, fungos e a presença de grama no solo preparado. Porém não foram realizados ensaios após a retirada dos corpos.

O fato de a Amostra 1 ter recebido mais água destilada mostra que em ambiente úmido o corpo de prova se torna mais frágil. Tal reação já havia sido notada nas análises de degradação por umidade.

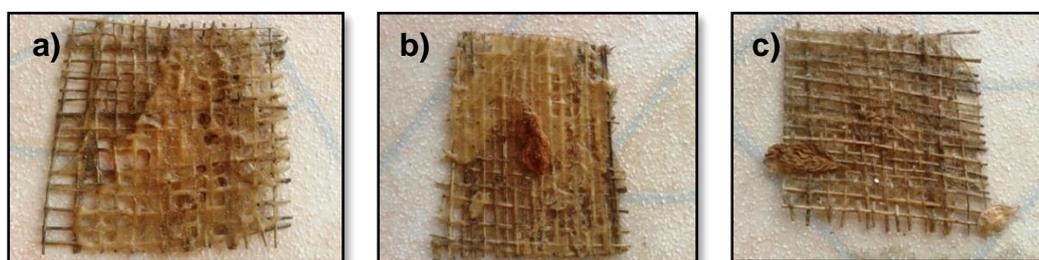
Outro item importante nessa análise é mais uma vez a atuação do látex no compósito. O elastômero conferiu ao tecido uma resistência à degradação da natureza, proporcionando características mais duradouras.

4.13. Degradação Ambiental

Os testes de degradação ambiental realizaram-se por 120 dias, assim como o teste de biodegradação. Isso resultou em uma melhor interação com o ambiente que os corpos de prova foram depositados.

As amostras utilizadas no teste foram os geotêxteis, pois, devido a fragilidade das fibras de bananeira e, conseqüentemente dos tecidos, apenas as amostras com látex foram utilizadas. O resultado por ser visualizado nas Figuras 95 a,b,c.

Figura 95- a) Amostra 1 após os 120 dias, b) Amostra 2 e c) Amostra 3.



Conforme pode ser visto na Figura 95, as amostras interagiram com o ambiente ao redor. Isso pode ser bem visualizado, pois os corpos de prova estavam repletos de areia e folhas provenientes das árvores ao redor.

Por ser um elastômero e pelo fato de apresentar um comportamento adesivo ao ficar exposto a umidade, o látex se tornou uma substância colante, tornando o geotêxtil um adesivo. Isso significa que folhas, areia e outras partículas do ambiente ficaram coladas no corpo de prova.

Fato que ocorreu nas três amostras, a adesão de pequenas partículas aumentou consideravelmente a massa do geotêxtil. Mesmo após o banho de água destilada, as partículas continuaram impregnadas no substrato. Por esse motivo, as amostras não foram pesadas, pois, a massa foi aumentada por agentes externos.

Visualmente, pode-se dizer que os corpos de prova ficaram consideravelmente adesivos, com aspecto colante, e que as amostras não sofreram grandes alterações na sua composição inicial. Isso pode ser explicado pela posição dos substratos que receberam sol pela manhã e sombra pelo período da tarde, porém receberam chuva nos períodos chuvosos.

4.14. Propriedades Térmicas

Os ensaios de propriedade térmica tiveram por objetivo realizar medidas de condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e resistividade térmica. As análises foram feitas nas faces superiores, inferior e lateral dos corpos de prova cilíndricos sem látex e com revestimento de látex. Os resultados são melhor visualizados ao observar as Tabelas 49 e 50.

Tabela 49- Valores das análises para corpos de prova sem látex.

Medidas	K Condutividade Térmica (W/mK)	Cp Calor Específico (J/m ³ K)	α Difusividade Térmica (mm ² /s)	T Temperatura (°C)	E erro
1	0,152	8600	0,177	24,84	0,0023
2	0,166	8770	0,190	24,69	0,0018
3	0,182	9020	0,202	24,97	0,0022
4	0,123	6920	0,193	25,20	0,0031
5	0,127	7330	0,173	24,97	0,0021
6	0,127	6530	0,194	26,17	0,0044
Média	0,146	7861,67	0,188	25,14	0,0026
Desvio Padrão	0,024425	1063,455	0,011017	0,53194	-

Tabela 50- Valores das análises para corpos de prova com látex.

Medidas	K Condutividade Térmica (W/mK)	Cp Calor Específico (J/m ³ K)	α Difusividade Térmica (mm ² /s)	T Temperatura (°C)	E erro
1	0,329	1732	0,190	25,73	0,0013
2	0,153	1067	0,143	30,54	0,0032
3	0,145	1051	0,138	31,91	0,0041
4	0,247	1277	0,194	29,10	0,0087
5	0,187	1524	0,123	29,11	0,0023
6	0,225	1642	0,137	28,36	0,0026
Média	0,214	1379,2	0,154	29,12	0,0037
Desvio Padrão	0,068768	293,2831	0,030076	2,091437	-

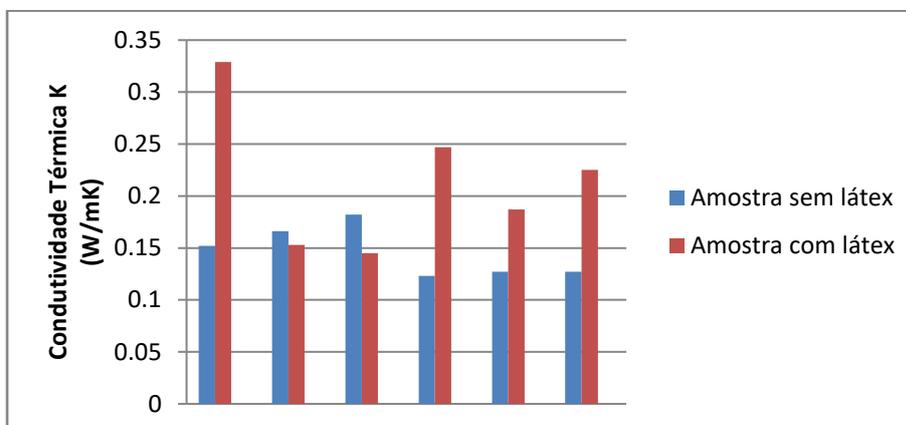
Observando-se os valores das propriedades térmicas das Tabelas 49 e 50, pode-se notar que a inserção de látex sobre o geotêxtil induziu variações coerentes.

4.15. Condutividade Térmica (K)

Um material é um isolante térmico quando $K < 0,25 \text{ W/mK}$ (WANG, 1988). Ao visualizar o gráfico (Figura 96) pode-se constatar que o tecido sem látex é um

substrato isolante. Ao interagir com o látex, o compósito perde um pouco dessa característica isolante, porém se mantém com valor inferior a $0,25\text{W/mK}$.

Figura 96- Condutividade Térmica para as seis amostras.



A inserção do látex nas superfícies do geotêxtil preenchendo os vazios posteriormente cheios de ar, encontrados nas fibras de origem vegetal (Figura 97), induziu um aumento no valor da condutividade térmica. No entanto, como o valor médio dessa propriedade ($0,214\text{W/mK}$) continua menor que $0,25\text{W/mK}$, o geotêxtil é classificado como material isolante térmico.

Figura 97- Face superior do compósito.



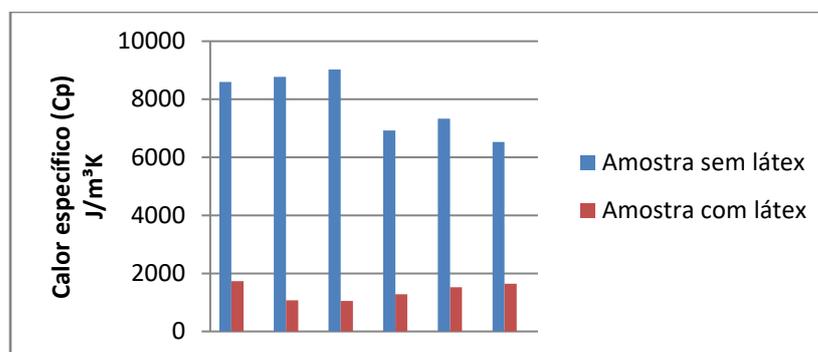
Pode-se, com uma média geral de valores inferiores a $0,25$, dizer que o geotêxtil é um material isolante.

4.16. Calor específico (C_p)

As fibras vegetais são isolantes térmicos naturais. Isso não só é devido aos vazios preenchidos com ar na sua estrutura, mas também, pelas próprias características das fibras. E, como todo material isolante, precisa de mais energia

para fazer variar sua temperatura, ou seja, possui um maior calor específico. O gráfico da Figura 98 mostra que o preenchimento da fibra com um material mais denso (látex), induz uma menor retenção de energia, induzindo, também um menor calor específico.

Figura 98 - Calor específico para as seis amostras.

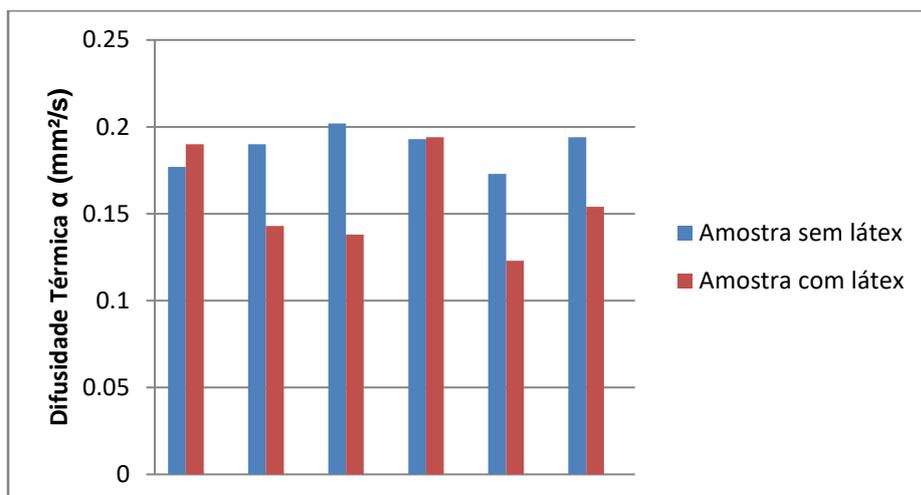


O calor específico das amostras com e sem látex podem ser analisados ao visualizar a Figura 98. Como pode ser visualizado, houve grande variação entre as amostras, isso se deve ao fato da adesão do látex, que é um polímero, à fibra. Segundo Callister, 2005, o calor específico dos polímeros varia entre 1300 e 2000J/m³K, o que coaduna com os resultados obtidos (Figura 98).

4.17. Difusividade Térmica (α)

A difusividade térmica do material denota a relação entre a capacidade de armazenamento e transferência de calor de um material, a qual pode ser traduzida através do tempo de variação da temperatura.

Tendo a fibra uma condutividade térmica menor que a fibra com látex, e, tendo também um calor específico maior que a fibra com látex, é natural que a difusividade térmica da fibra apenas seja menor que a fibra com látex como foi verificado nas amostras observadas na Figura 99.

Figura 99- Difusividade térmica (α) para as seis amostras.

Sabendo-se que com a inserção do látex no material, houve um aumento da densidade das fibras, pois houve um preenchimento dos espaços vazios. Entretanto, esse preenchimento não apresentou uma variação significativa nos valores da difusividade térmica.

Isso pode ser melhor visualizado pelos valores da difusividade térmica presentes na Tabela 50 (valor médio de α 0,154mm²/s), ou seja, valores característicos de materiais isolantes (CALLISTER, 2005).

4.18. Síntese dos resultados

Com a realização de todas as análises do presente trabalho, pôde-se constatar que o geotêxtil produzido demonstrou características isolantes e resistentes quando exposto aos ensaios pedidos pelas normas técnicas.

Com relação à resistência, alongamento e gramatura, o caráter de proteção requerido a um geotêxtil é designado na Figura 100.

Figura 100 - Propriedades requeridas e métodos de ensaio para geotêxteis utilizados com elemento de proteção.

Propriedade	Método de ensaio	Unidade							
Gramatura	ASTM D5261	g/m ²	340	406	542	812	1080	2000	
Resistência à tração tipo grab	ASTM D4632	kN	1,02	1,33	1,64	2,00	2,25	2,80	
Alongamento para tração tipo grab	ASTM D4632	%	50	50	50	50	50	50	
Resistência ao rasgo trapezoidal	ASTM D4533	kN	0,42	0,51	0,64	0,89	0,96	1,27	
Resistência ao puncionamento (pino)	ASTM D4833	kN	0,53	0,62	0,75	1,11	1,33	1,71	
Resistência UV	ASTM D4355	%	70	70	70	70	70	70	

Autor: Costa, 2008.

4.18.1. Resistência à tração

Os resultados obtidos durante a execução do trabalho estão agrupados na Tabela 51. Foram analisados todos os tipos de Resistência.

Tabela 51 - Valores para análises de Resistência com seus respectivos valores de Alongamento e tempo de ruptura.

Valores Médios	Força (N)	Alongamento Máximo (%)	Tempo de ruptura (s)
Geotêxtil	125,3	6,13	1,2
Geotêxtil pós Envelhecimento por ciclo	76,4	8,8	1,3
Geotêxtil pós Envelhecimento por umidade	29,1	51,2	7,7
Geotêxtil pós Absorção de água	35,7	40,4	6,1
Propriedades Figura 100	420 - 1200	50	-

Ao observar a Tabela 51, é possível comparar os resultados obtidos com os especificados pela norma técnica. Mesmo havendo uma diferença entre os valores, é necessário ressaltar que as amostras apresentaram tamanhos, espessuras e foram expostas a trações diferentes.

Embora os resultados tenham sido discordantes, ainda assim, é legítimo afirmar que os valores são próximos, ou até iguais, como é o caso do alongamento máximo para o geotêxtil pós envelhecimento por umidade e para o geotêxtil pós absorção de água.

Vale salientar que em uma situação real de exposição, o geotêxtil demonstrará os resultados pós ensaios, não mais o resultado obtido em ambiente simulado como o laboratório.

4.18.2. Gramatura e Densidade

Conforme a Figura 100, a Gramatura do geotêxtil para proteção varia de um intervalo de 340 a 2000g/m². Após realização do ensaio de Gramatura, o geotêxtil produzido apresentou valor médio de 936,97g/m². Com isso, é verossímil admitir que o geotêxtil se encaixa no padrão de gramatura para proteção.

Tendo o tecido uma densidade média de 4 fios/cm, ou seja, um número menor de fios, proporciona-se um tecido mais aberto. Portanto, há um maior escoamento através do geotêxtil o que desqualifica-o para uma atuação em drenagem. Entretanto, torna-o aplicável para proteção.

4.18.3. Propriedades Térmicas

Geotêxteis tecidos que atuam como protetores térmicos devem ser isolantes térmicos. Tal fato levou a análises térmicas e seus respectivos resultados podem ser comparados na Tabela 52.

Tabela 52 - Valores médios das propriedades térmicas.

Valores Médios	Fibra in Natura	Fibra com látex	Parâmetros
Condutividade Térmica (K)	0,146W/mK	0,214W/mK	>0,25W/mK
Calor específico (Cp)	7861,67J/m ³ K	1379,2J/m ³ K	1300-2000J/m ³ K
Difusividade Térmica (α)	0,188mm ² /s	0,154mm ² /s	±0,150mm ² /s
Temperatura	25,14°C	29,12°C	-

Conforme pode ser melhor visualizado na tabela, o material se adequa aos requisitos de material isolante, portanto, o geotêxtil pode ser considerado um isolante térmico.

De acordo com a análise das principais propriedades térmicas, TG e condutividade térmica, evidencia-se que o material em estudo é viável a ser aplicado como elemento protetivo de superfícies aquecidas nas faixas de baixa e média temperaturas (até 150°C).

5. CONCLUSÕES

1-A inserção do látex no geotêxtil de fibra natural não comprometeu as propriedades térmicas associadas ao material e ainda conferiu ao substrato características adequadas para a utilização como isolante térmico. Portanto, pode-se dizer que o produto criado cumpriu com o objetivo proposto.

2- Os geotêxteis apresentaram uma maior rigidez e resistência física do que os tecidos fiados apenas com as fibras da folha da bananeira. Isso prova que o látex concedeu ao tecido, resistência e proporcionou maior união das fibras no sentido trama e no sentido urdume.

3- A força necessária para romper as fibras e os tecidos com látex foi maior do que a força necessária para romper as amostras sem látex, pois além da resistência da fibra, o geotêxtil recebeu o reforço do látex tornando-o mais resistente a ruptura.

4- Pôde-se comprovar que a fibra da bananeira, por ser composta de celulose e lignina, apresenta um altíssimo grau de higroscopicidade podendo absorver água por várias semanas sem que haja saturação, sem que perca suas características físicas ou propriedades mecânicas.

5- A absorção de umidade mostrou que geotêxtil com látex absorveu menos umidade do ar do que a própria fibra, cerca de 9,3% a mais. Isso se dá pelo fato de que o látex preenche os poros da fibra, tornando- as menos hidrófilas.

6- A gramatura do geotêxtil aumenta consideravelmente com o revestimento de látex, passando de 159,97g/m² para 936,97g/m², porém o rendimento se mantém. O banho de látex não influencia no rendimento pois o tecido é o mesmo.

7- O banho de látex confere ao tecido melhoria nas características superficiais como melhor resistência à abrasão (fricção).

8- A densidade do tecido e do geotêxtil se manteve a mesma, ou seja 4 fios/cm, mesmo com o banho de látex, as características de trama e urdume permaneceram iguais.

9- Ao passar pelo envelhecimento por ciclo, as amostras sofreram bruscas mudanças de temperatura e de umidade. Ficou facilmente visível que os geotêxteis e os tecidos sem látex sofreram perda de massa e ficaram fragilizados quando expostos a altas temperaturas, diferentemente, os corpos de prova não apresentaram mudanças consideráveis quando expostos a baixas temperaturas.

10- Os corpos de prova sem látex se mostraram frágeis na análise de envelhecimento por umidade. Como pôde ser analisado, os corpos de prova, sem látex, não resistiram bem a temperatura 80°C. Isso ficou evidente ao realizar nas amostras o teste de resistência à tração, onde os resultados variaram de 20 a 50 N. O mesmo não ocorreu com as amostras com látex que resistiram ao ensaio e ainda apresentaram alongamento máximo de 50% no ensaio de resistência à tração.

11- Devido à composição do compósito geotêxtil, pode-se dizer que ele é sustentável e biodegradável. Isso ficou evidente quando o geotêxtil foi parcialmente incorporado ao solo no período de três meses.

12-.Pode-se afirmar, através dos ensaios térmicos que o geotêxtil é um material isolante.

6. SUGESTÕES

Confecção do geotêxtil, porém, tratando a fibra posteriormente com a solução alcalina visando retirar as ceras e demais impurezas da fibra.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃO TECIDOS. **ABINT 2001**: Classificação, Identificações e Aplicações de Não Tecidos. São Paulo: Abint, 2001. 36 p.

ABNT NBR 10588:2015. Tecidos planos — Determinação da densidade de fios. Brasil. ABNT. 2015. 3 p.

ABNT NBR 10591:2008. Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Brasil. ABNT. 2008. 4 p.

ABNT NBR 12553: 2003. (Norma Técnica substituída ABNT NBR ISO 10318:2013). Geossintético – Terminologia. Brasil. ABNT. 3 p.

ASTM. **ASTM D2256**: Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method. 2013. 13 p.

ASTM. **ASTM D3801/ ISO 2060**: Standard Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristics of Solid Plastics in a Vertical Position. Usa: Astm, 2010. 7 p.

ASTM. **ASTM D5427-09**: Standard Practice for Accelerated Aging of Inflatable Restraint Fabrics. 2014. 3 p.

AGOSTINI, Deuber Lincon Da Silva. **Caracterização dos constituintes do látex e da borracha natural que estimulam a angiogênese**: Presidente Prudente: Unesp, 2009. 101 p.

AGRAWAL, B.J. Geotextile: It's applications to civil engineering – overview. National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology. 2011.

ALMEIDA, C.O.; SOUZA, J. da S.; CORDEIRO, Z. J. M. Aspectos socioeconômicos. In: CORDEIRO, Z. J. M. **Banana**: Produção: aspectos técnicos.

Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. (Frutas do Brasil, 1).

ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, sócio-econômicos e agro-industriais**. 2. ed. Brasília, DF; Cruz das Almas: Embrapa-SPI, 1999. 585 p.

AMORIM, Thiago Perito. **Avaliação físico-química da polpa e de casca de banana in natura e desidratada**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.111, 2012.

ANAND, Subhash. Designer natural fiber geotextile - A new concept. *Indian Journal of fiber & textile research*, Bolton, UK, v. 33, p. 339-344, 2008.

ARANTES, A. de M. ; DONATO, S. L. R. ; SILVA, S. de O. e . Relação entre características morfológicas e componentes de produção em plátanos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 45, p. 224-227, 2010.

ARAÚJO, Mário De; CASTRO, E. M. De Melo E. Manual de engenharia têxtil: Volume 1. 1. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984. 694 p.

ARAÚJO, Mário de. Natural and man-made fibers: Physical and mechanical properties. In R. Figueiro, ed. *Fibrous and composite materials for civil engineering applications*. UK: Woodhead Publishing Limited. 2011.

ASTM D5034-09. 2013. Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics Grab Test. D13.60. 8 p.

ASTM D5427 - 09(2014). Standard Practice for Accelerated Aging of Inflatable Restraint Fabrics. D13.20. 3 p.

ASTM D570 - 98(2010). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. 2010. D20.50. 4 p.

BANNA, W. R. E. et al. Fibras de bananeira como material de engenharia. XXXIX COBENGE - CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, Blumenau, 2011.

BATHURST, R.J.; MENDES, Marianna J.A.. Classificação dos geossintéticos. Sociedade internacional de geossintéticos - IGS. Disponível em: <www.geosynthetics-international.com>. Acesso em: 12 jan. 2015.

BEVITORI, Alice Barreto. **Avaliação das propriedades e estrutura de fibras de rami e seus compósitos poliméricos**. Campos dos Goytacazes – RJ: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE, 2014. 120 p.

BILBA, Ketty; ARSENE, Marie-Ange; OUENSANGA, Alex. Study of banana and coconut Wbers Botanical composition, thermal degradation and textural observations. *Bioresource Technology*, France, n. 98, p. 58-68, 2005/2006.

BLEDZKI, A.K. e GASSAN, J. (1999). Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibres. *Prog. Polymer. Science*, v. 24, p. 221-274.

BORGES, Ana Lúcia; CALDAS, Ranulfo Corrêa. Teores de nutrientes nas folhas de bananeira, cv. pacovan, sob irrigação. *Ciências agrotecnicas*, Lavras, Cidade, v. 28, n. 5, p. 1099-1106, set./out. 2004.

BORGES, A. L. et al. **A cultura da banana**: Coleção Plantar. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2006. 118 p.

BRUC JARDÍ. Malla geotextil. Disponível em: <<http://www.brucjardi.com/esp/detalle/malla-geotextil.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

CALLISTER JR., W. D. **Fundamentals of Materials Science and Engineering**: An Integrated Approach. 2. ed. New York: J. Wiley & Sons, 2005. 702 p.

CARTAUD, F. et al. Experimental investigation of the influence of a geotextile beneath the geomembrane in a composite liner on the leakage through a hole in the geomembrane. *Geotextiles and geomembranes*, France, n. 23, p. 117-143, set./nov. 2004.

CASTRO, A. M.; PEREIRA Jr, N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. *Química Nova* (Impresso), v. 33, p. 1-12. 2010.

CHAND, N., TIWARY, R. K., ROGHATI, P. K. Bibliography: Resource Structure Properties of Natural Cellulosic Fibres. In: Annotated Bibliography. *Journal of Materials Science*, v.23, n.2. 1988.

CHEW, S. H. et al. Erosion stability of punctured geotextile filters subjected to cyclic wave loadings—a laboratory study. *Geotextiles and geomembranes*, Cingapura, v. 21, n.11, p. 221–239,2003.

CORAIOLA, Márcio; MARIOTTO, Sandra Carla. Proposta metodológica para produção artesanal de papel utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira. *Revista acadêmica de ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 207-216, abr./jun 2009.

CORBMAN, B.P.. *Textiles: Fiber to Fabric*, Sixth Edition. New York: McGraw-Hill International Editions.1985.

COSTA, Carina Maia Lins. **Fluência de geotêxteis**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, 1999. 116 p.

COSTA, Carina et al. Avaliação de recomendações normativas sobre o uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos. **SciELO**, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 04-10, jun. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000200014>. Acesso em: 04 jun. 2017.

COSTA, José Eduardo Gonçalves. **Estudo da degradação de geotêxteis em fibra natural**. Portugal. Universidade do Minho, 2013. 151 p.

COOK, J.G. Handbook of Textile Fibres – Man-made Fibres. England: Merrow Publishing Co. Ltd. 1984.

D'ALMEIDA, M. L. O. (1981). Celulose e papel: tecnologia de fabricação de pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: *IPT-SENAI*, v. 1.

DATYE, K. R., GORE V. N.. Application of natural geotextiles and related products. *Elsevier*, Bombay, Índia , p. 371-388, 1994.

DENCE, C. W.; REEVE, D.W. (1996). *Pulping bleaching: Principles and Practice*. Atlanta: Tappi.

EBISIKE, K. et al. Studies on the tensile properties of naturally-occurring banana fibers. *The pacific journal of science and technology*, Nigeria, v. 14, n. 2, p. 36-39, 2013.

EMBRAPA. . **BANANA**. 02. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

EPA 9090A. 1992. Compatibility test for wastes and membrane liners. Estados Unidos. 1992. 16 p.

EZEMA, I. C. et al. Effect of surface treatment and fiber orientation on the tensile and morphological properties of banana stem fiber reinforced natural rubber composite. *Journal of minerals and materials characterization and engineering*, Nigeria, v. 2, n.11, p. 216-222, 2014.

FERNANDES, E. R. K. et al. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy conversion and management*, Joinville, n. 75, p. 603-608, 2012./2013.

FIBER TENSOLAB. 2015. Altura 515 pixels. Largura 437 pixels. Formato BMP. Compactado. Disponível em: <http://www.mesdan.it/img-lab/219_img.bmp>. Acesso em 08 dez. 2015.

FILHO, José Ribeiro De Souza. **Obtenção e caracterização de um eco-compósito à base de látex e bainha da palha do coqueiro para isolamento térmico e acústico**. Natal- RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.143 p.

FRANCISCO, Portal São. **Bananeira**. 2015. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/bananeira>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

FUKADA, E., TAKAMATSU, T.I., YASUDA, “Callus formation by electret”, J. Appl. Phys., 14 (1975).

GEOSSINTÉTICOS. **O QUE SÃO: BIOMANTAS**. 2015. Disponível em: <<http://geofoco.com.br/o-que-sao-biomantas/>>. Acesso em: 12 set. 2015.

GEOTÊXTEIS. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/23/artigo276267-1.aspx>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

GHOSH, Mahuya; CHOUDHURY, P.k.; SANYAL, Tapobrata. Suitability of natural fibres in geotextile applications. *ICG,India*, p. 497-501,2009.

GIRIO, F.M., FONSECA, C., CARVALHEIRO, F., DUARTE, L.C., MARQUES, S., BOGEL-ŁUKASIK, R.. Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*. 101:4775–4800. 2010.

GODOY, Leandro José Grava De; NOMURA, Edson Shigueaki; MORAES, Wilson Da Silva. Nutrição e adubação da cultura da banana. *Informações agronômicas*, São Paulo, v.00, n. 116, p. 14-19, 2006.

GOMES, L.M.F. Geotêxteis e suas aplicações. Seminário: A Indústria Têxtil nos Caminhos da Inovação. Universidade da Beira Interior, pp.10-20. 2011.

GRAMATURA. Norma técnica ABNT NBR 13586. Disponível: <<http://www.kohlercia.com.br/quali/03.pdf>>. Acesso em 28 jul. 2015.

GUERREIRO, Luís. **Comportamento de blocos de elastômero (borrachas)**. Lisboa. IFI - Instituto Superior Técnico , 2003.

GUPTA, A.K. Sen. Geotextiles: opportunities for natural-fibre products. *International trade forum*, Suíça , v. 27, n.11,p. 10-16, jan./mar. 1991.

HANDBOOK of Geotextiles . 08.2.34. ed. Mumbai: BTRA, 2012. 191 p.

HORROCKS, A.R. & Anand, S.C. Handbook of Technical Textiles. 2000. Cambridge, England:Woodhead Publishing Limited.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. Censo Agropecuário. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=420910>, Acesso em 07/2015.

KHALIL, H. P. S. Abdul; ALWANI, M. Siti; OMAR, A. K. Mohd. Chemical composition, anatomy, lignin distribution and cell wall structure of a malaysian plant waste fiber. *Bio resources*, Penang, Malaysia, v. 1, n. 2, p. 220-232, 2006.

KI-LATEX, Ki-Latex. **Borracha líquida pré-vulcanizada natural**: Especificações Técnicas do Látex Centrifugado 60%. Disponível em:<<http://ti24h.net/produtos/borracha-liquida-prevulcanizada-natural-.html>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

KOHJIYA, K; IKEDA, Y. Introduction. **Chemistry, manufacture and applications of natural rubber**. Woodhead Publishing Limited 2014.

KRAUS, J. LOURO, R. RP.; ARDUIN, M.; ESTELITA, M. E. (2006). A célula Vegetal. In. A Ppezato-da-gloria, B.; Carmello-Guerreiro, S. M. (Ed) Anatomial Vegetal. 2 ed. Viçosa: UFV, p.32-67.

KROHL, Diego Ricardo. **Pirólise rápida de folhas de bananeira em reator de leito fluidizado**. Joinville: UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE, 2014. 80 p.

KUMAR, Sujeet. **Study on mechanical behaviour of banana fiber reinforced epoxy composites**. Rourkela: NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROURKELA, 2014. 30 p.

LEÃO, A.L, CARVALHO, F.X., FROLLINI, E, *Lignocellulose-Plastics Composites, plastic composite*. Periódico, USP & UNESP, p 118 - 132, 1997.

LIMA, A. C. Caracterização e propriedades de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado. *Tese de Engenharia e Ciências de Materiais*. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2009.

LYND, L.R.; WEIMER, P.J.; VAN Zyl, W.H.. Pretorius, I.S. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews. American Society for Microbiology.*, n.3, v.66., p.506-577. 2002.

MALEQUE M. A.,BELAL F.Y., SAPUAN S. M. Mechanical properties study of pseudo-stem banana fiber reinforced epoxy composite. *The arabian journal for science and engineering*, Malásia , v. 32, n. 2, p. 359-364, out./nov. 2016.

MANILAL, V. B.; SONY, J.. Banana pseudostem characterization and its fiber property evaluation on physical and bioextraction. *Journal of natural fibers*, India, v. 8, p. 1-12, 2011.

MANO, E.B. (2000). *Polímeros como materiais de engenharia*, Editora Edgar Blücher Ltda, p. 124-128.

MEDEIROS, Francisco Agélio Silva Barreto De. **Relações entre características de crescimento e a produção de banana pacovan irrigada**. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2012. 53 p.

MEDINA, J.C. Cultura. In: INSTITUTO DE TECLOGIA DE ALIMENTOS. **Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: [s.n.], 1985. cap.1, p.1-131.

MERCADO LIVRE. **Lupa conta fios**. Disponível em: <http://mlb-s2-p.mlstatic.com/lupa-conta-fios-excelente-para-malharia-fotolitos-e-silk-10109-mlb20025232324_122013-o.jpg>. Acesso em: 17 jun. 2015.

MENDES1, J. U. L. et al. Determinação da difusividade térmica de um compósito natural visando classificá-lo como isolante térmico. 20º CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Joinville Brasil, p. 4689-4696, 2014.

MEV, Universidade Federal do Ceará. **Infraestrutura**. Disponível em: <<http://www.centralanalitica.ufc.br/index.php/infraestrutura>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

MORENO, R. M. B.; *et al.* **Desempenho da Borracha Natural Crua de Novos Clones da Seringueira (hevea spp.) da série IAC para Recomendação do plantio no Estado de São Paulo: II – As Propriedades Tecnológicas DRC (%), % de Nitrogênio, % de Cinzas, % de Extrato Acetônico**. Circular Técnica. 2006. Embrapa, São Carlos/SP.

MORTON, J. 1987. Banana. p. 29–46. In: Fruits of warm climates. Julia F. Morton, Miami, FL., Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/index.html>>. Acesso em 20 set. 2015.

MUKHOPADHYAY, Samrat; ARPAÇ, Raul Figueiro Yusuf; ŞENTÜRK, Ülkü. Banana fibers – variability and fracture behaviour. *Journal of engineered fibers and fabrics*, Minho, v. 3, n. 2, p.39-45./2008.

NADA, A.M.A.; EL-GENDY, A.A.; MOHAMED, S.H..Banana leaves as adsorbents for removal of metal ions from waste water. *Carbohydrate Polymers*, Egypt, n. 82, p. 1025-1030, 2010.

NIZAM, Md. Eanamul Haque; DAS, Subrata Chandra. Geo textile - a tremendous invention of geo technical engineering. *International journal of advanced structures and geotechnical engineering*, Bangladesh, v. 03, n. 03, p. 221-227, julho 2014.

NOVA ÉTICA. Estufa de secagem com renovação e circulação de ar. Disponível em: <<http://equipamentoslaboratoriais.com.br/estufas/estufa-de-secagem-com-renovacao-e-circulacao-de-ar>>. Acesso em: 18 set. 2015.

PAUL, V.; KANNY, K.; REDHI, G.g.. Mechanical, thermal and morphological properties of a bio-based composite derived from banana plant source. *Composites: part A*, África do sul, n. 68, p. 90-100, 2015.

PEREIRA A. L. S. **Nanocompósitos baseados em pvoh e nanocristais de celulose obtidos de pseudocaule de bananeira**. Fortaleza. 2013. 74p.

PESSOA, Thayse Rodrigues Bezerra. **Avaliação do processo de obtenção de farinha da casca de banana (*Musa sapientum*) das variedades prata, pacovan e maçã**. João pessoa. 2009. 123p.

PINTO, Pedro. **Obtenção de um elastômero e vulcanização do látex**. Portugal, 2004.

PITIMANEEYAKUL, Uraiwan. Banana fiber: environmental friendly fabric. *King mongkut's institute of technology*, Ladkrabang thailand, p.111-222, 201./nov. 2016.

POTHAN, Laly A.; THOMAS, Sabu; GROENINCKX, G.. The role of fibre/matrix interactions on the dynamic mechanical properties of chemically modified banana fibre/polyester composites. *Composites: part A*, India, v. 37, p. 1260-1269, 2006.

PREETHI; MURTHY, G Balakrishna. Physical and chemical properties of banana fibre extracted from commercial banana cultivars grown in tamilnadu state. *Agrotechnology*, India, n. 11, p. 1-3, 2013.

RAGHAVENDRA S., LINGARAJU, SHETTY P Balachandra, MUKUNDA PG. Mechanical properties of short banana fiber reinforced natural rubber composites. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. [S.L.] v. 2, Fascículo 5, Maio 2013.

RAMESH, M. et al. Processing and mechanical property evaluation of banana fiber reinforced polymer composites. *Procedia engineering*, India, v.00, p. 563-572, 2014.

RAO, G. Venkatappa; BANERJEE, P. K.. Geosynthetics: recent developments. *Indian journal of fibre & textile research*, India, v. 22, n.11, p. 318-336, /dez. 2007.

RAWAL, A.; Shah, T.; Anand, S.. Geotextiles: production, properties and performance. *Textile Progress*. 2010. vol.42, n.3, pp.181-226.

RAZERA, Ilce Aiko Tanaka. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. São Carlos – SP. Universidade de São Paulo, 2006. 189 p.

RETARDANTE DE CHAMAS PARA TECIDOS CKC 2020, 2015, São Paulo. CKC do Brasil, 2015.

RIBEIRO, Fernanda Alves. **Caracterização de compósito epóxi/tecido de pet pós-consumo**. Natal: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2016. 127 p.

RIBEIRO, Luciene Mendes. **Estudo da flamabilidade e resistência à chama de compósito de poliéster insaturado e folha de abacaxizeiro**. Natal RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 95 p.

SANSATSADEEKU, J. *et al.* Characterization of associated proteins and phospholipids in natural rubber latex. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. V.111. P 628 – 634, 2011.

SANTHOSH, J. et al. Study of properties of banana fiber reinforced composites. *International journal of research in engineering and technology*, India , v. 03, n. 11, p. 144-150, nov. 2014.

SANTOS, Luiza Maria Pinheiro dos. **Desenvolvimento e caracterização de biocompósito de látex (borracha natural) e fibra de carnaúba**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Ppgem, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SARSBY, R.W. Use of „Limited Life Geotextiles” (LLGs) for basal reinforcement of embankments built on soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*.25, pp.302-310.2007.

SATYANARAYANA, K.G.; Guimarães, J.L.; Wypych, F.. Studies on Lignocellulosic fibers of Brazil – Part I: Source, production, morphology, properties and applications. 2007. *Composites: Part A*.38, pp.1694-1709.

SILVA, Francisco Claudivan. **Fabricação de Eco-Composito com a fibra de Lã Canina** . 2012. 67 p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte , Natal, 2012.

SILVA, Isabela Leão Amaral Da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. Campos dos Goytacazes - RJ: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE, 2014. 110 p.

SILVA, Vera Lúcia Dias Da. Comportamento Mecânico e de Flamabilidade de Compósito de Polipropileno Reciclado com Fibra de Coco e Hidróxido de Alumínio. 2006. 119 f. Dissertação do Departamento de Engenharia Mecânica, UFPA, Belém, 2006.

SOUZA, A.T.; CONCEIÇÃO, O. A. Fatores que afetam a qualidade da banana na agricultura familiar catarinense. Florianópolis: Instituto Cepa/SC, p. 80, 2002.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.14, p. 438-443, 2010.

SUMAILA, M.; AMBER, I.; BAWA, M.. Effect of fiber length on the physical and mechanical properties of random oriented, nonwoven short banana (musa balbisiana) fibre /epoxy composite. *Asian journal of natural sciences* , Nigéria, v. 2, n. 1, p. 139-149, mar. 2013.

SOFFNER, M.L.A.P., 2001. Produção de fibra celulósica a partir de engaço de bananeira, Master Thesis, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Brazil.

The Bombay Textile Research Association. **Handbook of geotextiles**.08234 ed. India: BRTA,2012. 191 p.

TOLOOIYAN, A. et al. A comprehensive method for analyzing the effect of geotextile layers on embankment stability. *Elsevier*, Malásia , v. 27, n.11, p. 399-405, 200./200. undefined. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/geotextmem>. Acesso em: 12 jul. 2013.

UL 94. Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.2013. 12 p.

VAN VLACK, L. H. **Princípio de ciência dos materiais**. Edgar Blucher, 1984.

VATTACKATT JAYAPRABHA, J. S.; BRAHMAKUMAR, M.; MANILAL, V. B.. Banana Pseudostem Characterization and Its Fiber Property Evaluation on Physical and Bioextraction. **Journal Of Natural Fibers**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.149-160, jul. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2011.601614>.

VENKATESHWARAN, N. et al. Mechanical and water absorption behaviour of banana/sisal reinforced hybrid composites. *Materials and design*, India, n. 32, p. 4017-4021. 2011.

VERTEMATTI, José Carlos. **Curso básico de geotêxteis** : Comitê técnico geotêxtil. 1. [S.L.]: Rooka'z, 2001. 95 p.

WANG, S. H. **Construction Materials Science**. China Construction Industry Publisher. 1988.

YOUNG, R.A. Fibers (Vegetable).Kirk-Otthmer encyclopedia of chemical *Tecnology* 4th.Ed.Volume 10.J.Wiley & Sons, Inc. pp.727-744. 1994.