

Cristiano
Cunha
Costa

Tubetes BIODEGRADÁVEIS no Setor Florestal

Cristiano
Cunha
Costa

Tubetes BIODEGRADÁVEIS no Setor Florestal

| São Paulo | 2 0 2 3 |



DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

C837t

Costa, Cristiano Cunha.
Tubetes biodegradáveis no setor florestal/ Cristiano Cunha
Costa. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2023.

Livro em PDF

ISBN 978-65-5939-800-3

DOI 10.31560/pimentacultural/2023.98003

1. Agricultura. 2. Viveiro Florestal. 3. Meio ambiente. 4. Mudanças florestais. 5. Engenharia de materiais. I. Costa, Cristiano Cunha. II. Título.

CDD: 630

Índice para catálogo sistemático:

I. Agricultura e tecnologias relacionadas.

Jéssica Oliveira - Bibliotecária - CRB-034/2023

ISBN formato digital (PDF): 978-65-5939-799-0

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2023 o autor.

Copyright da edição © 2023 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).

Os termos desta licença estão disponíveis em:

[<https://creativecommons.org/licenses/>](https://creativecommons.org/licenses/).

Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.

O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Bieging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Bieging
Coordenadora editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Bianca Bieging
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Edição eletrônica	Andressa Karina Voltolini Potira Manoela de Moraes
Bibliotecária	Jéssica Castro Alves de Oliveira
Imagens da capa	Freepik - Freepik
Tipografias	Acumin, Avígea
Revisão	Cristiano Cunha Costa
Organizador	Cristiano Cunha Costa

PIMENTA CULTURAL

São Paulo • SP
+55 (11) 96766 2200
livro@pimentacultural.com
www.pimentacultural.com



2 0 2 3

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoradas

Adilson Cristiano Habowski
Universidade La Salle, Brasil

Adriana Flávia Neu
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Adriana Regina Vettorazzi Schmitt
Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

Aguimario Pimentel Silva
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Alaim Passos Bispo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Alaim Souza Neto
universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Knoll
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Regina Müller Germani
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Aline Corso
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Wendpap Nunes de Siqueira
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Ana Rosangela Colares Lavand
Universidade Federal do Pará, Brasil

André Gobbo
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Andressa Wiebusch
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Andreza Regina Lopes da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Angela Maria Farah
Universidade de São Paulo, Brasil

Anísio Batista Pereira
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Antonio Edson Alves da Silva
Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Antonio Henrique Coutelo de Moraes
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil

Arthur Vianna Ferreira
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Ary Albuquerque Cavalcanti Junior
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Bárbara Amaral da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Bernadétte Beber
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Caio Cesar Portella Santos
Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil

Carla Wanessa do Amaral Caffagni
Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Adriano Martins
Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Carlos Jordan Lapa Alves
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Caroline Chioquetta Lorenset
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cássio Michel dos Santos Camargo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Faced, Brasil

Christiano Martino Otero Avila
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Cláudia Samuel Kessler
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cristiana Barcelos da Silva.
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

Cristiane Silva Fontes
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Daniela Susana Segre Guertzenstein
Universidade de São Paulo, Brasil

Daniele Cristine Rodrigues
Universidade de São Paulo, Brasil

Dayse Centurion da Silva
Universidade Anhanguera, Brasil

Dayse Sampaio Lopes Borges
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Diego Pizarro
Instituto Federal de Brasília, Brasil

Dorama de Miranda Carvalho
Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Edson da Silva
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Elena Maria Mallmann
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Eleonora das Neves Simões
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Eliane Silva Souza
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Éverly Pegoraro
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fabrcia Lopes Pinheiro
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Vieira da Cruz
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Gabriella Eldereti Machado
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Germano Ehlert Pollnow
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Geymeesson Brito da Silva
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovanna Ofretorio de Oliveira Martin Franchi
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Handherson Leylton Costa Damasceno
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa
Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Sales
*Instituto Nacional de Estudos
e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasil*

Helena Azevedo Paulo de Almeida
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hendy Barbosa Santos
Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Humberto Costa
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Igor Alexandre Barcelos Graciano Borges
Universidade de Brasília, Brasil

Inara Antunes Vieira Willering
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Ivan Farias Barreto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Jaziel Vasconcelos Dorneles
Universidade de Coimbra, Portugal

Jean Carlos Gonçalves
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Jocimara Rodrigues de Sousa
Universidade de São Paulo, Brasil

Joelson Alves Onofre
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Jónata Ferreira de Moura
Universidade São Francisco, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini
Universidade de São Paulo, Brasil

Julierme Sebastião Morais Souza
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Junior César Ferreira de Castro
Universidade de Brasília, Brasil

Katia Bruginski Mulik
Universidade de São Paulo, Brasil

Laionel Vieira da Silva
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett
Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Manoel Augusto Polastreli Barbosa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcelo Nicomedes dos Reis Silva Filho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Marcio Bernardino Sirino
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos Pereira dos Santos
Universidade Internacional Iberoamericana del Mexico, México

Marcos Uzel Pereira da Silva
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Maria Aparecida da Silva Santandel
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Cristina Giorgi
*Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Brasil*

Maria Edith Maroca de Avelar
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Marina Bezerra da Silva
Instituto Federal do Piauí, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai
Universidade de São Paulo, Brasil

Mônica Tavares Orsini
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Nara Oliveira Salles
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Neli Maria Mengalli
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patrícia Biegging
Universidade de São Paulo, Brasil

Patricia Flavia Mota
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Raul Inácio Busarello
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Roberta Rodrigues Ponciano
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Robson Teles Gomes
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos
Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rogério Rauber
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Samuel André Pompeo
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Sebastião Silva Soares
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Silmar José Spinardi Franchi
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Simone Alves de Carvalho
Universidade de São Paulo, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Taíza da Silva Gama
Universidade de São Paulo, Brasil

Tania Micheline Miorando
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Tascieli Feltrin
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tayson Ribeiro Teles
Universidade Federal do Acre, Brasil

Thiago Barbosa Soares
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

Thiago Medeiros Barros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Tiago Mendes de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Vania Ribas Ulbricht
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Wellington Furtado Ramos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wellton da Silva de Fatima
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Yan Masetto Nicolai
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Catarina Prestes de Carvalho
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Brasil

Elisiene Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabeth de Paula Pacheco
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Indiamaris Pereira
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Lucimar Romeu Fernandes
Instituto Politécnico de Bragança, Brasil

Marcos de Souza Machado
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Pedro Augusto Paula do Carmo
Universidade Paulista, Brasil

Samara Castro da Silva
Universidade de Caxias do Sul, Brasil

Thais Karina Souza do Nascimento
Instituto de Ciências das Artes, Brasil

Viviane Gil da Silva Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

William Roslindo Paranhos
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

SUMÁRIO

Prefácio 11

Introdução 13

CAPÍTULO 1

**Uso de tubetes na produção
de mudas florestais 17**

1. Introdução 18

2. Compósitos poliméricos 20

2.1 Casca de arroz 21

2.2 Polietileno 23

3. Mecanismo de degradação
do polietileno 25

2.1 Degradação abiótica 26

2.2 Degradação biótica 28

2.3 Uso de oxibiodegradantes
na degradação do polietileno 31

CAPÍTULO 2

**Uso de biocompósitos
no setor florestal 34**

1. Introdução 35

2. Contribuições dos biocompósitos
para o setor florestal 36

CAPÍTULO 3

Parâmetros de qualidade de mudas em viveiro florestal.....	42
1. Introdução	43
2. Qualidade de mudas nativas produzidas em tubetes biodegradáveis	45
2.1 Espécie Aroeira	46
2.2 Espécie Tamboril	49
2.3 Espécie Jenipapo.....	51

CAPÍTULO 4

Avaliação das propriedades mecânicas dos tubetes.....	54
1. Introdução	55
2. Propriedades mecânicas dos tubetes biodegradáveis	56

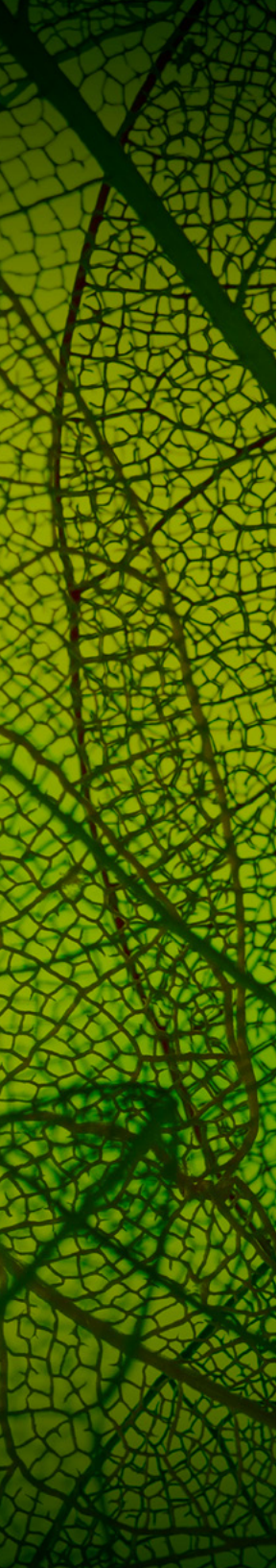
CAPÍTULO 5

Avaliação das propriedades morfológicas dos tubetes biodegradáveis.....	61
1. Introdução	62
2. Análise da degradação da superfície dos tubetes biodegradáveis	64
3. Efeito da cristalinidade	67

CAPÍTULO 6

Avaliação da biodegradação dos tubetes.....	70
1. Introdução	71
2. Isolamento e identificação de microrganismos	72
3. Biodegradação dos tubetes biodegradáveis	75

Conclusões.....	78
Referências bibliográficas	80
Sobre o autor	92



PREFÁCIO

Não poderia apresentar a obra sem antes tecer alguns comentários sobre o autor. O fato de conhecê-lo pessoalmente amplifica a minha responsabilidade na missão em aceitar o convite para escrever o prefácio da presente obra. No mais, agradeço.

Cristiano me chamou a atenção desde os primeiros períodos do curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Sergipe. Eu, recém chegava no estado de Sergipe e na Universidade, em 2003, prontamente tive a oportunidade de ser sua orientadora acadêmica e acabei por testemunhar sua trajetória por vários momentos desde então.

Começo pelo período entre 2003 e 2005 em ações de Educação Ambiental junto a escola estadual no povoado Saúde em Santana do São Francisco, momento em que atuávamos com professores e alunos de ensino fundamental e médio, trocando conhecimentos sobre o rio São Francisco, restauração florestal, espécies florestais, costumes e cultura local. Em 2007, foi o momento de orientar seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Percepção ambiental dos visitantes do parque Nacional Serra de Itabaiana-SE” e em 2011 seu mestrado em Agroecossistemas: “Subsídios para a proteção dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Poxim-SE”.

Passados 20 anos desde o primeiro contato acadêmico, posso afirmar que Cristiano apresenta uma singularidade profissional/acadêmica aguçada e construída desde cedo por ele mesmo, pois consegue captar e materializar a problemática do cotidiano em importantes temáticas e contribuições científicas. Sua motivação, intuição e facilidade em transitar da extensão para a pesquisa, foi se moldando pelo seu aguçado senso ético. Posso afirmar que presenciei tais predicativos em pouquíssimos discentes

durante meus 23 anos de magistério e 20 anos de Universidade Federal de Sergipe. Sim, crescemos juntos, como profissionais no meio acadêmico e porque não dizer, como seres humanos. Hoje, o que temos em comum é o fato de nos reconhecermos como seres humanos em constante evolução, cientes de que jamais seremos seres prontos, porém continuaremos incessantemente na busca em sermos humanos mais sábios.

A presente obra que tenho a honra de apresentar, em breves palavras, não poderia deixar de ter as características singulares do autor. Com a maturidade de um pós-doutor, o autor nos transcende para uma temática extremamente importante e atual. Mais uma vez Cristiano capta uma problemática do cotidiano, no caso o descarte de tubetes por polímeros sintéticos oriundos do petróleo (portanto com dificuldade de degradação no meio ambiente) e na lente de um jovem e inquieto pesquisador: testa, constata e nos apresenta com uma solução viável para que a produção de “Tubetes biodegradáveis no Setor Florestal” possa vir a ser uma realidade.

Vale a pena ser lida? O que se traz de tão peculiar? Posso afirmar que a obra em questão vale a pena ser lida, pois vai além do ineditismo da temática e da qualidade da técnica e do meio do conhecimento científico. Sua peculiaridade está no fato de ter sido elaborada e escrita por um pesquisador que tem como principal referencial, o que se tem de mais precioso em um ser humano: colocar em cada obra produzida - sua alma e o seu coração.

Desejo lhes uma ótima leitura.

Prof^a. Dr^a. Laura Jane Gomes

INTRODUÇÃO

O desmatamento é um dos mais graves problemas ambientais do nosso tempo. Além de devastar as florestas e os recursos naturais, ele compromete o equilíbrio do planeta em seus diversos elementos, incluindo os ecossistemas, afetando gravemente também a economia e a sociedade. No Brasil, existe uma preocupação crescente quanto ao desmatamento da floresta amazônica, que bateu recordes em 2019 (MAPBIOMAS, 2019).

De acordo com dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), cerca de 1,6 bilhão de pessoas ganham a vida em alguma atividade ligada às florestas, e cerca de 60 milhões de indígenas em todo o mundo dependem exclusivamente delas para sua subsistência. Elas ainda são o habitat de muitas espécies de animais e plantas (ONU, 2022).

Os grandes biomas brasileiros têm sofrido com a ação humana, devido à exploração da biodiversidade, resultando na alteração da paisagem natural, uma vez que as vastas áreas cobertas por florestas foram substituídas por fragmentos isolados e de tamanho reduzido, insustentáveis para a manutenção da biodiversidade. Dessa maneira, a conservação dos poucos remanescentes existentes e a restauração de áreas degradadas são prioritárias.

Para que haja êxito na recuperação de área degradada, é necessário que as mudas florestais tenham um bom padrão de qualidade. Para isso, os recipientes do tipo tubete facilitam uma melhor nutrição, proteção das raízes, manejo mais adequado no viveiro, no transporte, na distribuição em campo e no plantio.

A percepção da ação antrópica insustentável sobre o meio ambiente tem gerado uma busca incessante de tecnologias que

resultem em produtos e subprodutos obedecendo a um ciclo fechado sustentável. O acúmulo crescente de lixo plástico é considerado o principal fator que contribui para a degradação ambiental resultante do descarte indiscriminado e tempo de degradação longo de polímeros convencionais.

No que se refere ao setor florestal, os tubetes utilizados na produção de mudas florestais são de polietileno ou polipropileno, produzidos com derivados do petróleo, tornando-se um grave problema ambiental por ser oriundo de uma fonte não renovável e por gerar resíduos de descarte (MOREIRA *et al.*, 2010). Dessa maneira, a preocupação ambiental está no descarte e no longo tempo de degradação dos polímeros convencionais.

Por conta disso, alguns pesquisadores tentaram desenvolver tubetes biodegradáveis com algum tipo de matriz lignocelulósica, como, por exemplo, bagaço da cana-de-açúcar (DIAS, 2011), papel reciclado (CARDOSO *et al.*, 2012), amido (CARASCHI; LEÃO, 1999), pó de madeira (CARASCHI; LEÃO, 2000; ARTHUR JÚNIOR *et al.*, 2005; CASARIN *et al.*, 2013; ANDERSON *et al.*, 2013), dentre outros.

Apesar de existir alguns trabalhos relatando a relação das características morfológicas com o crescimento das mudas em viveiro florestal (OLIVEIRA; FIORINE, 2006; BRANT *et al.*, 2013; FERRAZ *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017), não se teve nenhuma pesquisa conclusiva, pois os tubetes biodegradáveis não suportavam as condições ambientais nos viveiros ou não favoreciam condições necessárias ao crescimento das mudas, permitindo as avaliações morfológicas necessárias a atingir a qualidade padrão de ir à campo.

Assim, esses tubetes biodegradáveis existentes no mercado não satisfazem as necessidades do setor florestal, uma vez que se degradam durante a permanência em viveiro e apresentam baixa resistência mecânica ao manuseio (ARTHUR JÚNIOR, 2011).

Diante desse contexto, pesquisadores vêm direcionando seus estudos na busca de alternativas que possibilitem o uso dos novos produtos aliados a uma minimização do prejuízo à natureza e atendam às necessidades de resistência mecânica e biodegradabilidade. A utilização de polímeros aliados a alguma fibra natural, biodegradável obtida a partir de fontes renováveis, com propriedades físicas e mecânicas adequadas têm recebido atenção especial para reduzir a demanda de polímeros à base de petróleo (MIRANDA; CARVALHO, 2011; BRITO *et al.*, 2012; ALBERTI *et al.*, 2014). Dentre esses materiais lignocelulósicos, destacam-se juta, sisal, fibra de coco, pó de madeira, fibra da cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de café, fibra de algodão, dentre outros (CARASCHI; LEÃO, 2000; CORREA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2012; MARINELLI *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2012).

Levando em consideração que o Brasil possui um grande potencial na produção agrícola e florestal, gerando resíduos lignocelulósicos, a cultura agrícola do arroz merece destaque, uma vez que é a terceira maior cultura de grãos do Brasil ficando atrás somente da soja e do milho. Durante o beneficiamento, a casca corresponde a aproximadamente 23% do peso do grão (DELLA *et al.*, 2001; CONAB, 2009; FURLAN *et al.*, 2012).

Além disso, a utilização de casca de arroz é interessante devido ao fato de ser biodegradável, proveniente de fontes renováveis de grande disponibilidade e de baixo custo (MACHADO *et al.*, 2010a; MACHADO *et al.*, 2010b). Desse modo, combinando-se matrizes termoplásticas, como o polietileno, e cargas reforçativas de origem lignocelulósicas, dá origem a uma nova classe de compósitos denominados de ecocompósitos ou biocompósitos (MACHADO *et al.*, 2010a; GUTIÉRREZ *et al.*, 2012).

Por biocompósitos, entende-se como sendo materiais compósitos constituídos por uma fase de origem natural e outra fase de origem plástica. O desenvolvimento de biocompósitos é primordial na redução dos impactos ambientais causados pelo intenso consumo de materiais sintéticos obtidos a partir de fontes fósseis e não

renováveis, além de diminuir o acúmulo de resíduos naturais os quais não teriam um descarte adequado e permitindo valorizar de forma sustentável a cadeia de produção agrícola como, também, na intenção de se reduzir custos de produção desses novos materiais.

É interessante destacar que estes materiais apresentam uma menor vida útil, devendo apresentar propriedades térmicas e mecânicas semelhantes aos polímeros atualmente utilizados, associadas à possibilidade de biodegradação pós-consumo (GUTIÉRREZ *et al.*, 2012).

Em estudo realizado sobre um material biodegradável a ser utilizado para a produção de tubetes florestais, concluiu-se que o compósito de polietileno de alta densidade com casca de arroz e oxibiodegradante orgânico apresentou potencialidade no que se refere a atender esta demanda do setor florestal (COSTA *et al.*, 2018). Assim, houve a necessidade de aprofundar os estudos a respeito da aplicabilidade dos tubetes injetados com esses biocompósito no que se refere a pesquisar sobre as propriedades mecânicas, propriedades morfológicas, propriedades de biodegradabilidade, influência dos tubetes biodegradáveis nos parâmetros morfológicos de qualidade das mudas e aplicabilidade direta dos tubetes nos viveiros florestais.

Diante desta perspectiva, pretende-se responder algumas perguntas: é possível produzir mudas florestais com tubetes biodegradáveis de polietileno com casca de arroz e oxibiodegradante orgânico? Haverá manutenção das propriedades mecânicas durante a produção de mudas no viveiro florestal? Será possível a degradação do tubete biodegradável após o uso em viveiro? Os tubetes biodegradáveis irão influenciar no crescimento e desenvolvimento das mudas florestais?

Assim, a presente obra buscar abordar um tema de interesse ecológico, expondo o uso de resíduos de descarte agrícola de origem natural e renovável no sentido de reduzir a demanda por polímeros sintéticos oriundos do petróleo e com dificuldade de degradação no meio ambiente.

1

**USO DE TUBETES
NA PRODUÇÃO
DE MUDAS FLORESTAIS**

1. INTRODUÇÃO

Na escolha de um tipo de recipiente para a produção de mudas, alguns critérios devem ser levados em consideração: formação do sistema radicular; tamanho e reaproveitamento dos recipientes; e custos (FERRAZ; ENGEL, 2011).

A produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, principalmente, por permitir a melhor qualidade em razão do melhor controle dos fatores de nutrição, proteção das raízes contra danos mecânicos e desidratação, além de propiciar o manejo mais adequado no viveiro, transporte, distribuição das mudas e plantio (FERRAZ; CEREDA, 2010). Desta maneira, destaca-se o uso de tubetes para a produção de mudas em viveiros florestais.

O uso de tubetes (figura 1) se iniciou no Brasil na década de 70. Produzidos a partir de polipropileno, difundiu-se na produção de mudas de espécies de rápido crescimento com fins comerciais devido às vantagens operacionais, econômicas e biológicas (MOREIRA *et al.*, 2010).

Figura 1 - Recipiente do tipo tubete usado em viveiros florestais.



Fonte: elaborado pelo autor.

Por outro lado, o uso de tubetes feitos de polietileno ocorreu somente na década de 80 e, atualmente, ainda é o recipiente mais utilizado para a produção de mudas florestais (CAMPINHOS JÚNIOR; IKEMORI, 1983; WENDLING, 2010), por proporcionar melhor qualidade em razão de possibilidade de controle nutricional, proteção das raízes contra danos mecânicos e desidratação, facilita o manejo no viveiro, transporte, distribuição das mudas e plantio (CALEGARI *et al.*, 2011, WENDLING, 2010).

Além disso, o uso dos tubetes permite a reutilização do recipiente por mais de 5 anos, dependendo do armazenamento adequado (WENDLING; DUTRA, 2010; FERRAZ; ENGEL, 2011; LISBOA *et al.*, 2012).

Tais recipientes são considerados inertes ao ataque imediato de microrganismos, apresentando maior ciclo de vida útil e, conseqüentemente, acarretam sérios problemas ambientais, visto que, após o seu descarte, podem ficar na área de plantio por esquecimento ou desleixo, contribuindo para o aumento da quantidade de resíduos plásticos no meio ambiente (CASARIN *et al.*, 2013).

Os tubetes de polietileno levam cerca de 400 anos para a sua completa degradação no meio ambiente natural, tornando-se necessária a busca de novas tecnologias no sentido de desenvolver materiais poliméricos biodegradáveis duráveis e com aplicabilidade em substituição aos polímeros sintéticos (LEITE *et al.*, 2010; KUMAR *et al.*, 2010).

Tendo em vista este aspecto, há no mercado, alguns tubetes biodegradáveis com algum tipo de fibra lignocelulósica, como, por exemplo, bagaço da cana-de-açúcar, papel reciclado, amido, pó de madeira, dentre outros, porém estes recipientes biodegradáveis não satisfazem a necessidades do setor florestal, uma vez que se degradam durante a permanência em viveiro e apresentam baixa resistência mecânica ao manuseio (ARTHUR JÚNIOR, 2011).

Os tubetes elaborados a partir de uma matriz polimérica e fibra natural poderiam mudar a dinâmica de produção de mudas florestais, pois possibilitariam uma redução na dependência de materiais plásticos, oriundos da indústria petroquímica, na área da silvicultura. Dessa maneira, haveria economia energética na produção dos tubetes devido à inserção de resíduos agroindustriais (FERRAZ; CEREDA, 2010; LISBOA *et al.*, 2012).

Assim sendo, propostas de estudo nesta área se alinham com as necessidades e respeito ao meio ambiente, com uso de matérias-primas renováveis, menores gastos de energia e redução no volume de resíduos, o que proporcionaria uma melhoria na qualidade de vida da população. A adoção de tubetes, feitos a partir de um compósito, passa pela necessidade de caracterizá-los, quanto às suas propriedades mecânicas, morfológicas, biodegradabilidade, e compará-los quanto ao uso com seus congêneres processados a partir de polímeros convencionais advindos da indústria petroquímica, inclusive com relação aos parâmetros morfológicos de qualidade e no desenvolvimento das mudas (FERRAZ; ENGEL, 2011; SURYA; RAHMAN, 2011).

2. COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Compósito é definido como um material que consiste de duas ou mais fases numa escala macroscópica na qual as propriedades são projetadas para serem otimizadas, ou seja, consiste em atingir uma combinação de propriedades que não é obtida por um material individualmente e, também, incorporar as melhores características de cada um dos materiais que o compõem (MARINUCCI, 2011; CALLISTER, 2012).

A combinação de uma matriz polimérica a partículas naturais tem despertado o interesse de alguns estudiosos por possuírem boas

propriedades mecânicas, baixa abrasividade, menor dependência de fontes alternativas fósseis e baixo custo. Estas fibras podem permitir, ainda, que o compósito apresente uma possível degradação após o descarte (BARMAN *et al.*, 2015).

Trata-se de uma alternativa para a produção de materiais que apresentam baixo impacto negativo ao meio ambiente, favorecendo a utilização de materiais de fonte natural renovável de origem agrícola e florestal (SANTOS *et al.*, 2010; MORANDIM-GIANNETTI *et al.*, 2012). Assim, dentre os resíduos gerados no processamento de produtos agroflorestais, pode-se destacar juta, sisal, fibra de coco, aparas de madeira, pó de madeira, fibra da cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de café e fibra de algodão (ARAÚJO *et al.*, 2010; CORREA *et al.*, 2003; FURLAN *et al.*, 2012; MARINELLI *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2009).

Nesse sentido, há algumas pesquisas que foram realizadas com compósitos de polietileno e casca de arroz, podendo ser citados trabalhos de Ayswarya *et al.* (2012), Wang *et al.* (2014), Ahmad *et al.* (2012), Bilal *et al.* (2013), Ortiz *et al.* (2014), Majeed *et al.* (2014), Zuhaira e Rahmah (2013a), Emadi *et al.* (2013), Zuhaira e Rahmah (2013b), Carvalho *et al.* (2011), Petchwattana *et al.* (2012), Kord (2013), dentre outros.

Sobre estudo de compósitos de polietileno com casca de arroz, Bilal *et al.* (2014) concluíram que os mesmos apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias no que se refere aos ensaios mecânicos de tração, porém há a necessidade de estudos mais específicos no que se refere ao seu uso.

2.1 CASCA DE ARROZ

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, há uma estimativa de aumento para a produção

de mais de 1,3 milhões de toneladas de arroz em todo o mundo (FAO, 2016), atingindo um total de 8,1 milhões de toneladas em 2017. Desta maneira, o Brasil possui um grande potencial, uma vez que é a terceira maior cultura de grãos do país ficando atrás somente da soja e do milho (DELLA *et al.*, 2001; CONAB, 2009; FURLAN *et al.*, 2012).

No que se refere ao estado de Sergipe, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), houve um aumento na produção na safra de 2017 em relação à do ano anterior, atingindo um aumento de 63,7% na produção de arroz com casca (BRASIL, 2017b). Entretanto, após beneficiamento, os resíduos de casca dessa produção chegam a 20%, aproximadamente (DELLA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2012).

As cascas de arroz, quando removidas durante o beneficiamento do arroz, possuem baixo valor comercial, pois possuem um elevado teor de sílica e ainda não possuem valor nutritivo, não sendo possível a sua utilização como alimentação humana ou animal (DELLA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2012). Desta forma, é um material que não apresenta interesse econômico de reuso em qualquer outro processo.

Por outro lado, os resíduos do processamento agrícola da casca de arroz, dentro de uma perspectiva ambiental, podem ser reutilizados no desenvolvimento de materiais de engenharia, pois apresentam compatibilidade de uso e reaproveitamento como materiais de descarte da produção agrícola (MACHADO *et al.*, 2010a; GUTIÉRREZ *et al.*, 2012).

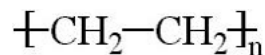
A casca de arroz possui um valor elevado teor de sílica na sua composição, principalmente na camada externa, podendo proporcionar a obtenção de compósitos com melhores propriedades mecânicas quando comparados a compósitos obtidos com outras fibras lignocelulósicas, por exemplo (CARVALHO *et al.*, 2011).

Além disso, a utilização de casca de arroz é interessante devido ao fato de ser biodegradável, proveniente de fontes renováveis, de grande disponibilidade e de baixo custo (MACHADO *et al.*, 2010b; MACHADO *et al.*, 2010a)

2.2 POLIETILENO

Aproximadamente, cerca de 260 milhões de toneladas de polímeros sintéticos são produzidos no mundo, sendo que o polietileno é o que apresenta maior consumo global, atingindo um total de 35,5% de todos os polímeros consumidos mundialmente no ano de 2015 (ABIPLAST, 2015). O Polietileno é um termoplástico formado de longas cadeias a partir do monômero etileno (PEACOCK, 2000) (figura 2).

Figura 2 - Estrutura química do polietileno



Fonte: elaborado pelo autor.

Trata-se de um polímero semicristalino cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina (PEACOCK, 2000). Comercialmente, são encontrados vários tipos de polietilenos, que apresentam um grau maior ou menor de ramificações e massas molares. As ramificações têm influência direta na cristalinidade, densidade e outras propriedades do polímero, ou seja, quanto maior o número de ramificações da cadeia, mais amorfo será o polímero e menor será sua densidade, da mesma forma, quanto mais linear a cadeia, mais cristalino e, portanto, maior sua densidade (ELIAS, 1993).

Quanto à configuração das cadeias poliméricas e a sua densidade, o polietileno pode ser classificado como: PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PEMD (Polietileno de Média Densidade), PEBDL

(Polietileno de Baixa Densidade Linear) e PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), podendo ser usado em diversas aplicações na indústria de plásticos, abrangendo aos processos de extrusão, moldagem por sopro e moldagem por injeção, resultando em fios, sacos, sacolas, frascos, embalagens, baldes, brinquedos, tampas, potes, dentre outros (HARPER, 1994; BRASKEM, 2008).

Dentre estes tipos, o polietileno de alta densidade (PEAD) é o que apresenta maior produção no mundo, alcançando um percentual de 14,6% de todos os polietilenos produzidos em 2015 (ABIPLAST, 2015). Apresenta uma cadeia essencialmente linear, ou seja, com baixo teor de ramificações o que confere a este polímero maior cristalinidade, podendo chegar a 80% de cristalinidade, e densidade (COUTINHO *et al.*, 2003).

A linearidade das cadeias do PEAD torna a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias mais eficientes, fazendo com que as forças intermoleculares do tipo Wan Der Waals possam interagir mais intensamente e aumentem a sua cristalinidade em relação ao polietileno de baixa densidade, por exemplo (COUTINHO *et al.*, 2003).

Entretanto, as regiões amorfas, ramificadas, são oxidadas mais rapidamente em relação às regiões cristalinas do PEAD devido a duas razões: maior reatividade do polietileno em pontos ramificados e maior difusão de oxigênio nos domínios amorfos (KLYOSOV, 2007).

As características apresentadas pelo PEAD, como a alta cristalinidade, hidrofobicidade, e, até mesmo, sua fonte de obtenção (petróleo), contribuem para a sua resistência à degradação (BASTIOLI, 2005; PAOLI, 2008), fazendo com que produtos provenientes desse tipo de material sejam tidos como grandes “vilões”, no que diz respeito ao seu descarte final, por terem uma estimativa de séculos para sua completa degradação no meio ambiente natural (GARLOTTA, 2001).

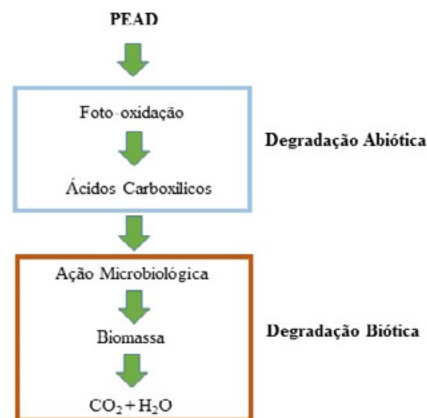
3. MECANISMO DE DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO

Tem havido um aumento de pesquisas visando a busca de soluções para minimizar problemas ambientais causados pelos materiais poliméricos, dentre eles o polietileno, que são descartados inadequadamente na natureza (KYRIKOU *et al.*, 2011; GOMES *et al.*, 2014).

O polietileno apresenta resistência à degradação devido à elevada massa molecular, hidrofobicidade e falta de grupos funcionais e/ou locais disponíveis na cadeia do polímero para o ataque microbiano (CORTI *et al.*, 2010).

A degradação do polietileno ocorre por processos abióticos e bióticos (figura 3). A degradação abiótica pode consistir em mecanismos de degradação térmica, fotodegradação e degradação química. Já a degradação biótica envolve a ação de microrganismos como fungos e bactérias (SANTOS *et al.*, 2013; DEVI *et al.*, 2015; ALBERTSSON *et al.*, 1987).

Figura 3 - Processos de degradação abiótica e biótica de Polietileno de Alta Densidade.

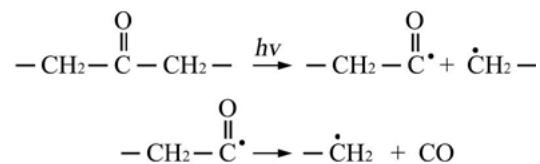


Fonte: elaborado pelo autor.

A incidência da radiação ultravioleta ocasiona a cisão homolítica de ligações em pontos da cadeia polimérica gerando radicais livres. Estes reagem com o oxigênio gerando radicais hidroperóxidos que por sua vez gerarão grupos carbonila e regiões polares na matriz polimérica. Estas regiões ficam susceptível ao ataque de microrganismos reduzindo a massa molar do polímero (JAKUBOWICZ, 2003).

A decomposição do polietileno com formação de grupos carbonila é fruto da clivagem fotolítica conhecida pelas reações de Norrish I e/ou Norrish II (GOMES *et al.*, 2014; CHAMAS *et al.*, 2020). O mecanismo de reação do tipo *Norrish I* (figura 5) tem como resultado a quebra de cadeia com cisão α homolítica, entre o grupo carbonila e o átomo adjacente do carbono (ALBERTSSON *et al.*, 1987; JAKUBOWICZ, 2003; GOMES *et al.*, 2014; JABARIM; LOFGREM, 1994).

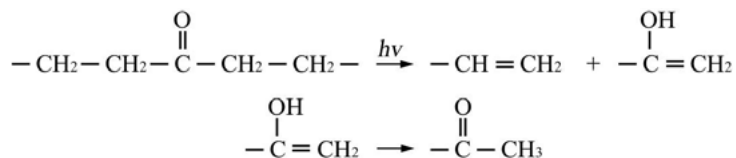
Figura 5 - Fotodegradação segundo mecanismo de reação tipo Norrish I (ALBERTSSON *et al.*, 1997).



Fonte: elaborado pelo autor.

Pelo mecanismo de decomposição fotoquímica do tipo *Norrish II* (figura 6), ocorre a formação de um estado de transição de seis membros e a abstração de um átomo de hidrogênio, resultando uma olefina e um álcool ou cetona os quais são comprovados pela presença de grupos carbonílicos (1715cm^{-1}) e grupos vinil ($905\text{--}915\text{cm}^{-1}$) (ALBERTSSON *et al.*, 1997; HOEKSTRA *et al.*, 1995; STARK; MATUANA, 2004).

Figura 6 - Fotodegradação segundo mecanismo de reação tipo Norrish II (ALBERTSSON *et al.*, 1997).



Fonte: elaborado pelo autor.

A degradação do polietileno ocorre pela absorção da luz UV em ampla faixa, que se prolonga para além de 340nm, favorecendo, principalmente, mecanismos de degradação do tipo Norrish II (ORDEN *et al.*, 2015; CHAMAS *et al.*, 2020).

2.2 DEGRADAÇÃO BIÓTICA

Nessa etapa da degradação, é característica a presença de microrganismos que produzem enzimas responsáveis pela biodegradação, convertendo compostos orgânicos complexos em compostos orgânicos mais simples, mineralizados e redistribuídos em ciclos elementares como o carbono, nitrogênio e enxofre (CHANDRA; RUSTGI, 1998; MARK *et al.*, 1987).

Diante deste processo, os fungos e bactérias são microrganismos importantes na biodegradação de polímeros, uma vez que secretam enzimas que, em contato com a matriz polimérica, provocam a cisão do material em segmentos menores (YASIN *et al.*, 1994; HUANG *et al.*, 1990). Essas enzimas são responsáveis pela catálise biológica de acordo com as suas particularidades de ação segundo Bragança e Rosa (2003). As hidrolases, por exemplo, são enzimas que catalisam a hidrólise de ligações ésteres, éter e amidas. A celulase, geralmente encontrada em bactérias e fungos, é a enzima responsável por hidrolisar a celulose.

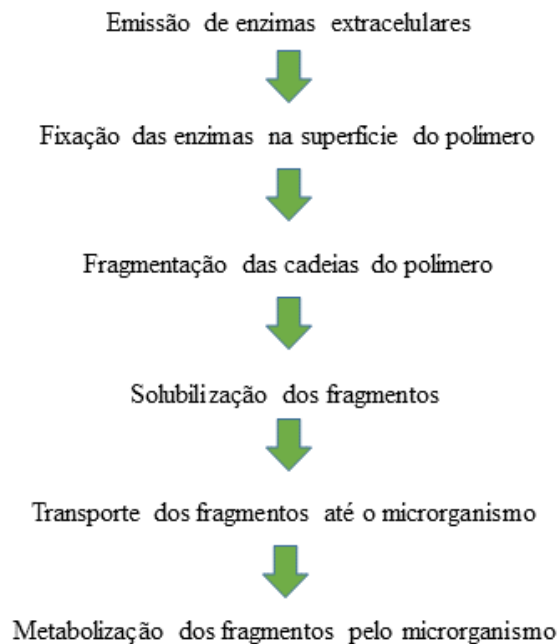
As enzimas oxidativas secretadas por microrganismos podem induzir a reação de degradação dos polímeros a partir da colonização superficial, resultando na erosão da superfície do polímero em decorrência da formação de um biofilme (GU, 2003).

No entendimento de Gu (2000), Gu (2005) e Nortermans *et al.* (1991), a formação do biofilme ocorre em alguns estágios para que ocorra a degradação superficial do polímero:

1. Fixação do microrganismo (cobertura da superfície, mascarando suas propriedades superficiais e contaminando o meio adjacente);
2. Consolidação do microrganismo na superfície (aumentando a desorção de aditivos e monômeros para fora da matriz por degradação microbial);
3. Ataque da enzima ou de radicais de origem biológica de polímeros e aditivos, provocando a fragilidade e perda das propriedades mecânicas;
4. Acúmulo de água penetrando na matriz polimérica, causando intumescimento;
5. Alteração da coloração dos polímeros, podendo ser causada pela excreção microbiana.

O processo de degradação microbiológica do polímero é melhor descrito de forma detalhada por Atlas e Bartha (1977) conforme a figura 7.

Figura 7 - Mecanismo de ação enzimática na degradação biótica de polímeros.
Adaptado de Atlas e Bartha (1977).



Fonte: elaborado pelo autor.

A degradação microbiológica de polímeros envolve algumas etapas importantes no que se refere à ação de fungos e bactérias através da ação enzimática. Inicialmente, ocorre a adesão do microrganismo na superfície no polímero, dando início ao processo de colonização. Em seguida, os fungos e bactérias começam a excretar enzimas despolimerases extra e intracelulares responsáveis pela fragmentação da superfície polimérica a partir de reações estereoquímicas, ou seja, a sua especificidade de atuação está atrelada a conformação do substrato, resultando em fragmentos de menor tamanho como cadeias menores de oligômeros, dímeros e monômeros os quais são transportados para o interior dos microrganismos através da membrana plasmática por meio aquoso e finalizando com

a rota de metabolização microbiológica dos fragmentos de acordo com a função de cada microrganismo (ATLAS; BARTHA, 1977; BHARDWAJ *et al.*, 2012).

Os produtos finais desse processo de degradação é o dióxido de carbono, água ou metano, que são usados pelos microrganismos como fonte de energia para sua atividade metabólica (ARUTCHELVI *et al.*, 2008; BHARDWAJ *et al.*, 2012).

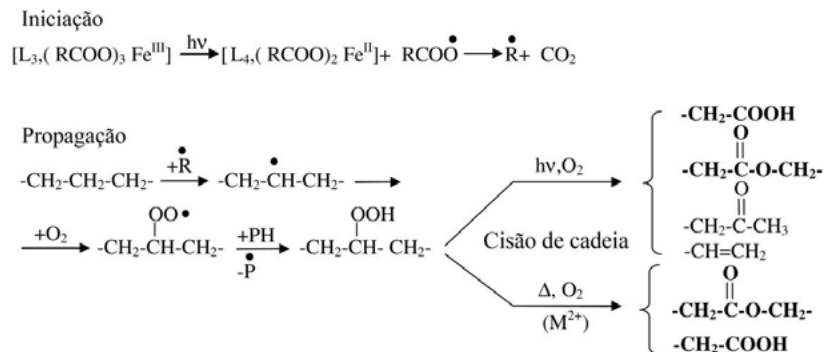
2.3 USO DE OXIBIODEGRADANTES NA DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO

Os plásticos comumente usados, dentre eles o polietileno, são resistentes à degradação biológica, resultando na sua permanência no meio ambiente por muito tempo e favorecendo desafios quanto à gestão desse tipo de resíduo (GOMEZ *et al.*, 2013). Tal fato ocorre devido à sua característica de hidrofobicidade e resistência à hidrólise, e por esta razão não podem biodegradar, necessitando da ação de fatores abióticos para favorecer os processos de degradação (ARRÁEZ *et al.*, 2018).

Alguns ramos da engenharia têm procurado novas tecnologias no que se refere à busca de alternativas para a redução do acúmulo de resíduos poliméricos no meio ambiente, através do desenvolvimento de materiais oxibiodegradáveis (GROSS; KALRA, 2002; BOTELHO *et al.*, 2004).

Os materiais oxibiodegradáveis pertencem à categoria da poliolefinas tradicionais (polietileno, por exemplo) as quais são adicionados catalisadores que aceleram a oxidação química das cadeias poliméricas, denominados agentes oxibiodegradantes (JAKUBOWICZ, 2003; WILES; SCOTT, 2006; CHIELLINI *et al.*, 2006; ARRÁEZ *et al.*, 2018).

Figura 8 - Processo de degradação abiótica de PE contendo oxibiodegradantes.
PH: cadeia polimérica; L: ligante apropriado (KOUTNY *et al.*, 2006).



Fonte: elaborado pelo autor.

Os oxibiodegradantes apresentam uma combinação iônica de metais como, por exemplo, manganês, cobre, ferro, cobalto, dentre outros, favorecendo o processo de catalisação na decomposição dos peróxidos associados com a quebra da cadeia do polietileno e, conseqüentemente, conduzindo o processo de biodegradação conforme figura 1 (BONHOMME *et al.*, 2003; YAMADA-ONODERA *et al.*, 2001; KOUTNY *et al.*, 2006).

A adição de oxibiodegradantes na cadeia de polietileno favorece o seu processo de degradação devido à formação de radicais livres os quais reagem com o oxigênio, resultando em peróxidos e hidroperóxidos que, por sua vez, atuam como iniciadores da auto-oxidação do polietileno e participam dos mecanismos de oxidação, levando a reações conseqüentes via radical livre e à oxidação do polímero (KHABBAZ *et al.*, 1999). Deste modo, a presença de oxibiodegradantes tem favorecido a degradação abiótica, uma vez que facilita a quebra da cadeia do polietileno, em um primeiro momento, resultando em cadeias menores as quais serão consumidas pelos microrganismos na etapa de biodegradação (CORTI *et al.*, 2010; JAKUBOWICZ, 2003).

Na literatura, há estudos que relatam o comportamento da degradação do polietileno com aditivos oxibiodegradantes que possuem metais pesados na sua composição como, por exemplo, Manganês (ABRUSCI *et al.*, 2013; KIRYAKOVA *et al.*, 2016; BENÍTEZ *et al.*, 2013; KONDURI *et al.*, 2011; MARYUDI *et al.*, 2012; MARYUDI *et al.*, 2013; JAKUBOWICZ *et al.*, 2011), Cobalto (ABRUSCI *et al.*, 2013; KIRYAKOVA *et al.*, 2016; SAMAL *et al.*, 2014; KONDURI *et al.*, 2011; FOCKE *et al.*, 2011), Titânio (YANG *et al.*, 2006; MANANGAN *et al.*, 2010; KONDURI *et al.*, 2011), Cobre (FOCKE *et al.*, 2011), dentre outros.

Entretanto, tais aditivos oxibiodegradantes, que possuem íons de metais na sua composição, causam sérios danos à saúde humana e impactos negativos ao meio ambiente, a depender da sua concentração, uma vez que possuem efeito acumulativo na cadeia trófica (MAGNA *et al.*, 2014).

Dentro desse contexto, a adição de oxibiodegradantes orgânicos tem a função de promover/acelerar o processo de oxidação química das cadeias poliméricas, e essas reações podem ser desencadeadas após exposição à luz e/ou calor, permitindo a aceleração da biodegradação do compósito e, conseqüentemente, reduzindo a vida útil do mesmo (SAMAL *et al.*, 2014; MONTAGNA *et al.*, 2014). Deste modo, o processo de degradação do polietileno a partir de oxibiodegradantes orgânicos não causa impactos negativos ao meio ambiente, pois não resultam em íons de metais pesados na natureza.



2

**USO DE BIOCOMPÓSITOS
NO SETOR FLORESTAL**

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, as crescentes preocupações ambientais tornaram imperativo substituir o máximo possível de plásticos petroquímicos por biopolímeros sustentáveis. A pesquisa e desenvolvimento de tais materiais de base biológica e compostáveis, também, é muito estimulado pela crescente escassez de petróleo e demanda por energia.

A utilização de materiais de enchimento de baixo custo em prol da redução de preço é comumente aplicada na indústria de plástico. Geralmente, são utilizados para esse fim resíduos provenientes de processos industriais e agrícolas. Incorporando esses subprodutos em materiais poliméricos não só diminui os custos de produção, mas, também, promove o desenvolvimento sustentável através da descoberta de uma função adequada para estes materiais residuais que seriam de outra forma despejados ou queimados.

Esses subprodutos, incluindo as diversas indústrias florestais e resíduos agrícolas, são materiais naturais abundantes. Em muitos países, esses resíduos estão sendo descartados através da queima a céu aberto, que é responsável por graves, consequências na deterioração da qualidade do ar, pois há a emissão de gases provocadores do efeito estufa, através da emissão de dióxido de carbono, principalmente, afetando, também, saúde da população mundial.

Vários estudos têm concentrado o foco no desenvolvimento de materiais biocompósitos com o uso de matriz polimérica aliada a algum tipo de fibra lignocelulósica, como alternativa para a produção de tubetes biodegradáveis para aplicabilidade no setor florestal.

2. CONTRIBUIÇÕES DOS BIOCOMPÓSITOS PARA O SETOR FLORESTAL

Diante de uma perspectiva ambiental, a utilização de tubetes feitos de matriz plástica para a produção de mudas florestais se tornou um problema devido à dificuldade de degradação no meio natural. Estes recipientes produzidos de matriz polimérica de polietileno demoram séculos para a sua completa degradação na natureza (LEITE *et al.*, 2010; KUMAR *et al.*, 2010).

Pesquisadores vêm direcionando seus estudos na busca de alternativas que possibilitem o uso de novos produtos aliados à minimização do prejuízo das ações antrópicas ao meio ambiente no setor florestal (BARUD *et al.*, 2011; MIRANDA; CARVALHO, 2011). No Brasil, pesquisas direcionadas envolvendo tubetes biodegradáveis não são recentes e remontam a trabalhos desenvolvidos por latauro (2004); Ferraz e Cereda (2010), Arthur Júnior *et al.* (2011), dentre outros.

Por outro lado, pesquisadores ainda não chegaram a um resultado satisfatório no que se refere ao desenvolvimento de tubetes que atendam às necessidades do setor florestal, pois alguns estudos desenvolvidos relatam problemas com as propriedades mecânicas dos recipientes (ARTHUR JÚNIOR, 2011; CARDOSO *et al.*, 2012; CONTI *et al.*, 2012; FERRAZ *et al.*, 2015; CASARIN *et al.*, 2017), comprometimento no desenvolvimento e crescimento das plântulas (OLIVEIRA; FIORINE, 2006; BRANT *et al.*, 2013; FERRAZ *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017) e viabilidade econômica (CONTI *et al.*, 2012), trazendo transtornos para o desenvolvimento das mudas e manuseio no viveiro florestal.

Em estudo sobre o uso de tubete e de minitubete de compósito de Polihidroxitirato (PHB) e pó de madeira para produção e plantio de mudas de eucalipto, Arthur Júnior (2011) verificou a abertura de fissuras nos tubetes de compósito e a deformação da estrutura do recipiente durante a permanência em viveiro, dificultando o manejo

das mudas e inibindo o crescimento do sistema radicular no sistema de produção florestal.

Tubetes de PHB com fibras de sisal e de PHB com farinha de madeira foram estudados por Casarin *et al.* (2017). Os resultados mostraram que há uma limitação no uso desses recipientes devido à redução das propriedades mecânicas de flexão promovida pela sensibilidade a umidade existente no viveiro florestal, favorecendo a biodegradação antes do plantio em campo.

Ao analisar o desenvolvimento do plantio de mudas de árvores em tubetes biodegradáveis, Conti *et al.* (2012) observaram que após 45 dias de desenvolvimento das mudas, a resistência mecânica dos tubetes biodegradáveis de fibra de coco e bagaço de cana foi comprometida, pois o tempo mínimo de permanência em viveiro deveria ser de 90 dias, em média. Este rompimento ocorreu devido à alta capacidade de absorção de água que prejudicou a aderência das fibras. O aparecimento de fungos junto com os deslocamentos das fibras, também, acelerou a decomposição e o rompimento dos tubetes biodegradáveis.

Nas condições em que foram desenvolvidos os experimentos, os autores observaram que as mudas nos tubetes biodegradáveis não se desenvolveram como as mudas dos tubetes de polietileno. Isso aconteceu porque para os tubetes biodegradáveis houve a perda de água para o ambiente, provocando um déficit hídrico na planta e a passagem da luz solar através dele, provocando um desenvolvimento inadequado da raiz da planta (CONTI *et al.*, 2012).

Em estudo das propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para fabricação de tubetes, Cardoso *et al.* (2012) concluíram que os tipos de papel em estudo apresentaram propriedades físicas e mecânicas diferentes, sendo que um deles apresentou melhores propriedades, devendo ser indicado para a produção de tubetes, porém, devido ao seu elevado custo, deve-se estudar por parte das empresas produtoras, sua viabilidade econômica.

Além disso, com relação à influência dos tubetes biodegradáveis no crescimento e desenvolvimento das plântulas, Ferraz *et al.* (2015) analisaram a produção de espécie ornamental em tubete biodegradável de amido e raspa de madeira em substituição aos sacos plásticos e observaram que as mudas produzidas nos tubetes biodegradáveis apresentaram um desenvolvimento menor e que estes recipientes promoviam um déficit hídrico devido à sua alta permeabilidade, uma vez que o tubete biodegradável acabava absorvendo a umidade do substrato e implicando em falta de água para absorção por parte do vegetal.

De forma análoga, latauro (2001) avaliou o comprimento das raízes de *Eucalyptus grandis* produzidos em tubetes biodegradáveis (fécula de mandioca e raspa de madeira MDF – Medium Density Fiberbord, ou em português, chapa de fibra de madeira de média densidade) e em tubetes de plástico, ambos com mesmo volume e verificou que a média do comprimento das raízes das mudas dos tubetes biodegradáveis eram menores que as dos tubetes de plástico.

Oliveira e Fiorine (2006), na análise de crescimento de mudas de mandioca provenientes de estacas em diferentes recipientes para plantio, notaram que as mudas cultivadas em tubetes plásticos foram superiores às mudas cultivadas em tubetes biodegradáveis em todos os atributos, indicativos de desenvolvimento e crescimento das mudas, sendo, portanto, o tubete plástico mais indicado para a produção de mudas de mandioca.

O uso de um recipiente biodegradável para a produção de mudas de maracujazeiro foi estudado por Guerra *et al.* (2017). Os resultados apontaram que as mudas de maracujá apresentaram menor crescimento em altura e diâmetro do caule no recipiente alternativo, devido à elevada permeabilidade deste material, pois o recipiente biodegradável pode estar carreando os nutrientes e diminuindo a quantidade disponível para as mudas, fator que contribui para mudas de qualidade inferior.

Em estudos sobre o desenvolvimento de plântulas com tubetes biodegradáveis feitos a partir de amido e bagaço de cana, Brant *et al.* (2013) observaram um amolecimento dos tubetes, assim como um comprometimento na germinação e crescimento da planta durante a permanência em viveiro, pois não propiciaram condições adequadas ao desenvolvimento das mudas.

Com relação à viabilidade econômica dos tubetes biodegradáveis, Conti *et al.* (2012) concluíram que a produção de mudas nos tubetes de fibra de coco e bagaço de cana tiveram maior custo que a dos tubetes de polietileno, principalmente em função do valor da mão de obra, seguido do gasto com os materiais utilizados na produção do tubete biodegradável, que é quase o dobro do tubete de polietileno.

Entretanto, cabe ressaltar que o uso de uma matriz polimérica deve ser considerado, pois toda a indústria de produção de tubetes é voltada para o uso de algum polímero como o polietileno, por exemplo, não sendo interessante a eliminação de uma matriz polimérica no compósito, pois isso implica em uma reformulação em todo o processo de produção e injeção de tubetes plásticos, implicando, conseqüentemente, em gastos para o setor. Desta forma, a manutenção do PEAD como matriz polimérica aliada a inserção de uma fibra natural é algo que deve ser mantido, pois reduziria a demanda por uma matéria-prima advinda da indústria petrolífera e daria um destino adequado com a reutilização das cascas de arroz oriundas do setor agrícola.

Em estudo das propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos de polietileno de alta densidade com casca de arroz, Tong *et al.* (2014) observaram que, entre as diferentes concentrações de casca de arroz no compósito, até 20% de casca é interessante para a manutenção das propriedades mecânicas, pois houve aumento da tensão em flexão dos compósitos, favorecida pela boa adesão entre a casca de arroz e a matriz polimérica.

Arrakhiz *et al.* (2013), em estudo das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos com fibra natural, concluíram que houve um aumento significativo no módulo de elasticidade em tração para a concentração de 20% de fibra lignocelulósica.

Ao estudar o efeito do agente de acoplamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno, polietileno de alta densidade e madeira, Dikobe e Luyt (2017) concluíram que a adição da casca de arroz favorece um aumento do módulo de elasticidade e a uma redução de deformação na ruptura, apresentando resultados satisfatórios nas propriedades mecânicas dos compósitos.

Quanto à matriz polimérica, o PEAD não se degrada no meio ambiente, podendo ser um desafio ambiental o desenvolvimento de um produto que atenda o setor florestal e, ainda, seja ecologicamente correto. Assim, na tentativa de dirimir este impasse, alguns estudos estão centrados na degradação abiótica do PEAD através do uso de aceleradores de biodegradação, oxibiodegradantes.

Abrusci *et al.* (2013), em estudo sobre o efeito de aditivos oxibiodegradantes em filmes de polietileno, concluíram que estearatos de metais de transição, como o manganês e cobre, têm excelente eficácia na aceleração no processo de fotodegradação do polímero.

Ao estudar o efeito comparativo de estereatos de metais como aditivos oxibiodegradantes na degradação bacteriológica de filmes de polietileno de baixa densidade termo e fotodegradados, Abrusci *et al.* (2013) concluíram que o uso de metais pesados utilizados na degradação polimérica resolve a questão do acúmulo do descarte inadequado de recipientes plásticos no meio ambiente.

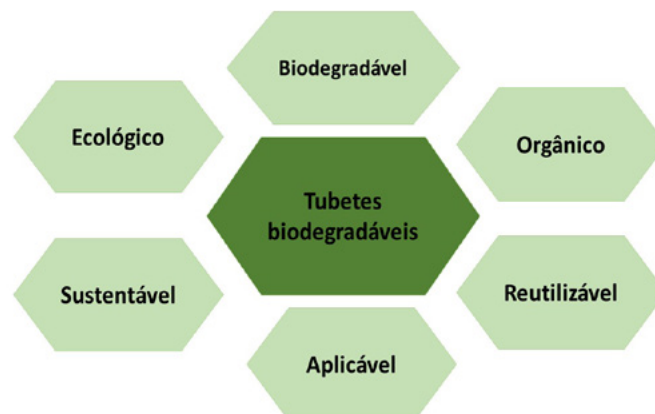
Entretanto, Magna *et al.* (2014) concluíram que esses metais pesados tem efeito acumulativo na cadeia trófica, trazendo impacto ambiental negativo para o meio ambiente, para os animais e na saúde humana. Então, os autores sugerem que a exposição representa um risco real que deve ser considerado na tomada de decisões

para mitigação do problema em curto e longo prazo, devido ao caráter acumulativo e aos potenciais efeitos adversos destes elementos nos seres humanos em longo prazo.

Diante dessa situação, torna-se necessário o estudo de um material que tenha a mesma função dos oxibiodegradantes, atualmente, utilizados à base de metais pesados, porém com composição orgânica de modo a não trazer efeitos negativos ambientais. Assim sendo, propostas de estudo nesta área vem ao encontro das necessidades e respeito ao meio ambiente, com uso de matérias-primas renováveis, menores gastos de energia, redução no volume de resíduos, o que proporcionaria uma melhoria na qualidade de vida da população.

Diante desta perspectiva, em estudos preliminares, Costa *et al.* (2018) concluíram que a composição PEAD/CA (biodegradável) possui potencialidade para aplicação no setor agrícola através da produção de tubetes florestais, pois o compósito apresenta características interessantes como, por exemplo: ecológico, biodegradável, sustentável, aplicável, reutilizável e orgânico.

Figura 9 - Características do biocompósito estudado por Costa *et al.* (2018) para aplicabilidade no setor florestal.



Fonte: elaborado pelo autor.



3

**PARÂMETROS DE QUALIDADE
DE MUDAS EM VIVEIRO
FLORESTAL**

1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas nativas é importante quanto estratégia de recuperação, regeneração ou reflorestamentos florestais, devendo as mesmas serem de boa qualidade, implicando em maiores taxas de crescimento e sobrevivência em campo após plantio e diminuindo gastos com tratos culturais e replantio (OLIVEIRA, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2020).

No processo de prescrição da qualidade das mudas para serem utilizadas nos replantios, podem ser empregadas características tanto morfológicas, que são baseadas nos aspectos fenotípicos, quanto fisiológicas. As primeiras ainda são as características mais recorrentemente utilizadas para atribuir qualidade às mudas, por ter maior aceitação dos produtores em viveiro, necessitando assim de mais definições que possam responder à sobrevivência e ao crescimento inicial, em função das adversidades que são encontradas em campo após o plantio (ELOY *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2019).

Nesse sentido, experiências concluem que essas características adquiridas em viveiro são importantes para o sucesso do desempenho das mudas em situações de campo (NOVAES *et al.*, 2014).

Assim, dentre os fatores que podem influenciar a qualidade das mudas no viveiro estão os manejos relacionados com o substrato, a qualidade das sementes, a irrigação, a nutrição e o tipo de recipiente (SPADA *et al.*, 2019).

A altura da parte aérea é uma das características mais importantes para avaliar o padrão de qualidade de mudas de espécies florestais, correlacionando-se positivamente com o crescimento no campo (PAIVA *et al.*, 2019). Essa característica morfológica é uma das mais utilizadas, por ser de fácil observação nos viveiros e não precisar destruir as mudas (SANTANA *et al.*, 2019).

Entretanto, a utilização dessa característica para comparar a qualidade das mudas é recomendada por Rodrigues *et al.* (2020) somente quando as mudas forem da mesma espécie e quando as técnicas de produção e as condições ambientais forem semelhantes.

O diâmetro do coleto, também, possui fácil mensuração e não é um método destrutivo. Apenas o diâmetro do coleto ou sua combinação com a altura representa uma das melhores características para avaliar o padrão de qualidade de mudas (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2018).

Segundo esses autores, o diâmetro do coleto chega a explicar 70 a 80 % das diferenças que existem no peso de matéria seca das mudas (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2018). O valor do diâmetro do coleto é uma variável dependente da ecologia de cada espécie florestal como reportados em alguns trabalhos como os de Oliveira *et al.* (2016) e Paiva *et al.* (2019).

Assim, segundo Paiva *et al.* (2019), não existe um valor que define o padrão de qualidade de mudas, pois isto depende da espécie, do local, dos métodos e das técnicas de produção. A produção de biomassa é uma das melhores características para avaliar a qualidade das mudas, apesar de destrutiva, pois reflete a fotossíntese líquida da planta.

A produção de raízes, também, tem grande influência na sobrevivência e no crescimento inicial das mudas no campo, sendo que quanto mais abundante for o sistema radicular, maior a sobrevivência (GOMES *et al.*, 2019).

A relação H/DC representa o equilíbrio de desenvolvimento das mudas, pois é através da relação destas variáveis que se obtém o Índice de Robustez (IR), e quanto menor o seu valor, melhor é a qualidade da muda e maior a capacidade de sobrevivência e estabelecimento após o plantio (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2018).

Uma variável interessante de ser observada é a relação de massa seca da parte aérea com a massa seca da raiz. Segundo Ferraz e Engel (2011), tal parâmetro permite averiguar a estabilidade de mudas florestais, onde valores muito reduzidos podem comprometer o estabelecimento da muda no campo, ocorrendo ocasionalmente o tombamento por apresentar sistema radicular pouco desenvolvido e parte aérea proeminente.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é considerado um dos índices mais completos para avaliação da qualidade de mudas florestais, pois inclui em seu cálculo as relações entre os parâmetros morfológicos altura, diâmetro, peso da matéria seca aérea e peso da matéria seca radicular, além da biomassa total (ABREU *et al.*, 2019). No entendimento de José *et al.* (2005), quanto maior seu valor, maior é o grau de qualidade da muda, dentro daquele lote.

Para Vieira *et al.*, (2019) o IQD representa um bom informativo no que diz respeito à qualidade das mudas, visto que em seu cálculo leva-se em conta a robustez e, também, o equilíbrio na distribuição da biomassa nas mudas, ponderando assim os resultados das importantes variáveis empregadas para a avaliação da qualidade.

2. QUALIDADE DE MUDAS NATIVAS PRODUZIDAS EM TUBETES BIODEGRADÁVEIS

Os parâmetros morfológicos das mudas nativas como, por exemplo, altura da parte aérea (SANTANA *et al.*, 2019), diâmetro do coleto (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2016; PAIVA *et al.*, 2019) e sistema radicular (GOMES *et al.*, 2019) podem ser estudados como relação de qualidade das mudas dentro do viveiro florestal.

Além disso, alguns índices como Índice de Robustez e índice de qualidade de Dickson são utilizados para avaliação da qualidade de mudas florestais, pois inclui em seu cálculo as relações entre os parâmetros morfológicos (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2018; ABREU *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019).

Os parâmetros morfológicos de mudas nativas de aroeira, jenipapo e tamboril foram avaliados comparando com os tubetes biodegradáveis em viveiro florestal.

As mudas de aroeira e tamboril atingiram os parâmetros mínimos de qualidade morfológica para irem a campo aos 2 meses de viveiro, sendo neste momento obtidas as informações de altura (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e, conseqüentemente, Índice de Qualidade de Dickson (IQD), porém as mudas de jenipapo só atingiram condições favoráveis ao plantio aos 4 meses.

2.1 ESPÉCIE AROEIRA

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, da família da *Anacardeaceae*, é conhecida, popularmente, como aroeira vermelha. É uma espécie natural da América do Sul e, no Brasil, ocorre desde Pernambuco e Mato Grosso do Sul até o Rio Grande do Sul, podendo ser encontrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pampa (LORENZI; MATOS, 2008).

É considerada uma árvore de pequeno a médio porte, com altura entre 5 a 10 metros, é bastante utilizada na arborização urbana, raramente precisando de poda. Suas flores são esbranquiçadas, melíferas e muito apreciadas por abelhas e vespas, que fazem a polinização da espécie. Floresce entre os meses de setembro a janeiro. Possui madeira, resistente e durável, pode ser manuseada para fazer mourões, esteios, lenha e carvão (CARMELLO-GUERREIRO; PAOLI, 2002; AMORIM; SANTOS, 2003; LORENZI; MATOS, 2008).

Seus frutos são utilizados na culinária como condimento alimentar e as cascas do caule são utilizadas para combater inflamações de várias origens, pois apresentam propriedades anti-inflamatórias e cicatrizantes. É uma espécie muito usada na arborização urbana e na produção de lenha e carvão. A madeira é bastante resistente, podendo ser usada como cercas vivas (CARMELLO-GUERREIRO; PAOLI, 2002; AMORIM; SANTOS, 2003; LORENZI; MATOS, 2008).

Após o tempo de 6 meses de permanência em viveiro, as mudas tiveram alguns parâmetros morfológicos analisados: altura (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

Durante a permanência em viveiro, observa-se que, para os parâmetros morfológicos estudados como a altura e o diâmetro do colo, não há diferença estatística entre os tubetes biodegradável e os tubetes de polietileno no crescimento e desenvolvimento das mudas de aroeira.

Observa-se que as mudas das espécies florestais de aroeira não apresentaram diferença estatística para a MSPA e MSR em relação aos tipos de tubetes estudados. Os tubetes biodegradáveis e os de polietileno puro não influenciaram no crescimento e desenvolvimento das mudas florestais no sentido de não influenciar na manutenção da umidade e na demanda de nutrientes para o crescimento inicial do sistema radicular e da parte aérea (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros morfológicos das mudas de aroeira após 2 meses em viveiro florestal.

Tubete	H	DC	IR	MSPA	MSR	MSPA/ MSR	IQD
PEAD	20,5+1,9a	3,3+0,3a	6,21+1,1a	12,9+1,5a	9,4+0,6a	1,3+0,6a	2,9+0,9a
BIODEG.	20,7+2,0a	3,6+0,3a	5,75+1,1a	13,0+1,1a	10,1+0,8a	1,3+0,5a	3,3+0,8a

** análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.*

De acordo com Oliveira *et al.* (2016), o tamanho médio para transferir uma muda ao plantio no campo é variável dependendo da espécie, mas a recomendação básica é apresentar entre 20 e 30cm de altura.

José *et al.* (2009) concluíram que mudas de aroeira, para ser considerada de qualidade para campo, devem ter no mínimo 3,0mm de diâmetro e/ou 25 cm de altura. Assim, as mudas de aroeira atingiram os padrões morfológicos considerados de qualidade para serem levados à campo de reflorestamento/recuperação florestal independentemente do tipo de tubete utilizado.

As mudas de aroeira apresentaram valores do índice de rusticidade de 6,21 e 5,75 para os tubetes de polietileno e tubetes biodegradáveis, respectivamente, não apresentando diferença estatística entre si.

Birchler *et al.* (1998) recomendam que mudas de qualidade devam apresentar valores de relação H/D inferiores a 10. Neste contexto, acredita-se que para ambas as espécies, as mudas produzidas nos diferentes tratamentos obtiveram valores satisfatórios de relação H/D, visto que as mesmas apresentaram valores abaixo de 10.

Para a relação da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e a Massa Seca Radicular (MSR), pode-se notar que foi encontrado o mesmo valor para os tratamentos, não apresentando diferença pela análise estatística.

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por José *et al.* (2009) e Abreu *et al.* (2017) para mudas de aroeira e Rocha *et al.* (2013) para *Eucalyptus sp.*

Tal fato pode ser explicado pelo fato de que os tubetes propiciaram uma condição adequada do substrato, permitindo maior aeração do solo e manutenção da umidade, permitindo condições favoráveis para que as mudas de aroeira absorvessem os nutrientes do solo e a umidade, fazendo-se da particularidade ecológica da espécie em crescer de forma rápida.

No entendimento de Abreu *et al.* (2017), o bom desenvolvimento das mudas de aroeira ocorreu devido a interação entre as condições propícias criadas pelos tubetes e a ecologia da espécie.

2.2 ESPÉCIE TAMBORIL

Pertencente à família *Leguminosae*, a espécie *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) conhecida popularmente como tamboril ou orelha-de-negro, é uma espécie nativa do Brasil dispersa em várias formações florestais com ocorrência nos Estados do Pará, Maranhão e Piauí até o Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul (LORENZI, 1998).

O tamboril é uma árvore decídua e frondosa, que alcança de 20 a 35 metros de altura e de 80 a 160 de diâmetro de tronco. Apresenta copa ampla, com ramificação cimosa e raízes longas e calibrosas. Folhas compostas bipinadas, em média 15 pares de folíolos com 3cm, lisos. Flores brancas, não muito vistosas, em cachos. Fruto em formato de orelha, quase preto quando maduro, 6 a 10cm (LORENZI, 1998).

Em Sergipe, é uma espécie que pode ser observada em áreas marginais de cursos d'água, incluindo na Mata Atlântica do Estado (BARRETTO; FERREIRA, 2010). Sua madeira, devido à sua leveza, é própria para fabricação de barcos, canoas, brinquedos, armação de móveis e caixotarias, em geral; pode ser empregada em reflorestamentos de áreas degradadas (LORENZI, 1998).

Nota-se na tabela 2, que há diferença significativa entre os tubetes para os parâmetros de altura e diâmetro das mudas de tamboril durante o período de permanência em viveiro florestal. Houve um maior crescimento para as variáveis nas mudas que foram transplantadas nos tubetes biodegradáveis.

Tabela 2 - Parâmetros morfológicos das mudas de tamboril após 2 meses em viveiro florestal.

Tubete	H	DC	IR	MSPA	MSR	MSPA/MSR	IQD
PEAD	28,7+1,2a	3,6+0,3a	7,9+0,5a	17,3+1,5a	14,0+1,1a	1,2+0,3a	3,4+1,3a
BIODEG.	36,2+0,8b	4,8+0,3b	7,5+0,3a	25,2+0,8a	19,4+1,0a	1,3+0,4a	5,0+0,9a

* análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.

O maior crescimento em altura e diâmetro das mudas de tamboril nos tubetes biodegradáveis durante a permanência em viveiro podem ser explicados pela presença do material orgânico presente na composição do tubete. A presença das micropartículas de casca de arroz favorece a manutenção da umidade, auxiliando o sistema radicular da espécie na absorção e assimilação dos nutrientes que estão no solo e, conseqüentemente, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea.

Tal resultado diverge com alguns estudos na literatura. Ferraz et al. (2015), Antoniazzi *et al.* (2013) e Santana *et al.* (2019) observaram que mudas de espécies nativas não tiveram resultados satisfatórios em tubetes biodegradáveis, pois as mudas apresentaram valores inferiores ao esperado nos estudos.

O índice de rusticidade para a espécie *Enterolobium contortisiliquum* foi de 7,9 e 7,5 para o tubete de PEAD e o tubete biodegradável, respectivamente, não havendo diferença na análise estatística entre os tratamentos.

Os resultados encontrados estão de acordo com estudos realizados por Cargnelutti Filho *et al.* (2018). Em estudo sobre o dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de plantas de *Enterolobium contortisiliquum*, os autores observaram que a melhor relação altura e diâmetro das mudas foi aos 2 meses de viveiro em tubete de 180cm³.

A relação de fitomassa da parte aérea com o sistema radicular apresentou o valor de 1,2 e 1,3 para os tubetes de PEAD e biodegradável, respectivamente, não tendo diferença estatística entre os tratamentos. Assim, os resultados encontrados estão de acordo com Birchler *et al.* (1998), pois os autores afirmam que o balanço entre parte aérea/sistema radicular deve ser menor que 2,0.

O sistema radicular, para Gomes e Freire (2019), deve ter um tamanho suficiente para permitir o suprimento adequado de água para a parte aérea. Plantas que desenvolvem maior sistema radicular durante sua permanência em viveiro, em determinada condição, apresentam maior probabilidade de sobrevivência após plantio em campo, uma vez que o maior investimento em biomassa radicular garante uma melhor aclimação das plantas em campo do que aqueles com sistemas radiculares reduzidos (MEIRELES *et al.*, 2020).

O IQD não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, porém apresenta valores dentro do recomendado pela literatura para espécies nativas. Hunt (1990) e Birchler *et al.* (1998) recomendam que o índice de qualidade de Dickson para espécies florestais em viveiro deve ser menor que 10 e maior que 0,2, respectivamente, para que a muda apresente alta qualidade, ou seja alta taxa de crescimento e sobrevivência após o plantio.

2.3 ESPÉCIE JENIPAPO

A *Genipa americana*, pertencente à família *Rubiaceae*, é uma espécie amplamente distribuída nas Américas Central e do Sul. No Brasil, tem ocorrência em praticamente em todo o país e, geralmente, presente nas formações florestais mais úmidas, sendo considerada uma espécie secundária tardia, com características de clímax, de crescimento moderado (CARDOSO *et al.*, 2019; PAIVA *et al.*, 2019; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2019).

São árvores de médio porte, variando de 8 a 14 m de altura; o tronco é cilíndrico, reto, com casca lisa, espessa, cinzento-esverdeada com manchas de cor cinza mais claras; folhas simples, lisas, opostas, pecioladas, medindo entre 18-35cm de comprimento e 3-17cm de largura; as flores jovens são brancas e as maduras amareladas, agrupadas em inflorescências subcimosas, terminais ou subterminais; os frutos são arredondados, de coloração acinzentada ou marrom e tamanho médio de 12cm de comprimento (SOUSA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2018). Dentre os usos, podem ser destacados: cultivo extrativista, a exploração comercial e a restauração de áreas degradadas (SILVA *et al.*, 2014).

As médias de crescimento em altura, diâmetro, índice de rusticidade, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e IQD podem ser analisadas na tabela 3. Observa-se que os parâmetros de altura, diâmetro do colo e índice de rusticidade não apresentaram diferença estatística entre os tipos de tubetes utilizados na produção das mudas em viveiro florestal.

Tabela 3 - Parâmetros morfológicos das mudas de jenipapo após 4 meses em viveiro florestal.

Tubete		DC	IR	MSPA	MSR	MSPA/MSR	IQD
PEAD	7,5+1,4a	2,4+0,2a	3,1+0,8a	7,6+1,1a	6,5+0,5a	1,1+0,6a	3,3+1,1a
BIODEG	8,4+1,3a	2,7+0,2a	3,1+0,6a	9,8+0,9b	8,2+0,3b	1,2+0,4a	4,2+0,7a

* análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.

Segundo Nogueira *et al.* (2015), o crescimento vertical (altura) e horizontal (diâmetro) dos vegetais e a ausência deles pode resultar em alta mortalidade de indivíduos por déficit nutricional.

Paiva *et al.* (2019), em estudo sobre o crescimento e sobrevivência de *Genipa americana*, relatam que as mudas tiveram um incremento média anual de 10,2cm de altura e 3,1mm de diâmetro

É interessante destacar que as mudas de jenipapo foram avaliadas após 4 meses de germinação, sendo transplantadas para os

tubetes para andamento do experimento. O tempo de permanência maior foi necessário por conta da ecologia da espécie, que segundo Rodrigues *et al.* (2020), por se tratar de uma secundária tardia se caracteriza por ter um crescimento lento e ciclo de vida mais longo, necessitando de um tempo maior em viveiro para obter as condições mínimas necessárias para ir à campo.

Por outro lado, as mudas de jenipapo apresentaram diferença estatística quando foram avaliadas a MSPA e a MSR. Os tubetes biodegradáveis tiveram melhor resultado para esses parâmetros, porém a relação entre essas variáveis (MSPA/MSR) não apresentou diferença estatística pelo teste T de student.

Nota-se que entre os tratamentos que o resultado para a massa seca da parte aérea foi superior a massa seca da raiz. No entendimento de Gomes *et al.* (2019), essa relação deve ser observada já que, a parte superior das mudas não deve ser expressivamente superior à área radicular, dificultando a absorção e transferência de água para a parte aérea, principalmente, em condições de campo, momento em que há maior exigência hídrica para pleno estabelecimento inicial do plantio.

A produção de biomassa seca tem sido considerada um dos melhores parâmetros morfológicos para se avaliar a qualidade de mudas. Muitos viveiros, não acreditam ser viável a sua determinação, principalmente por envolver o método da destruição completa da muda e a utilização de estufas (ALVES; FREIRE, 2017).

O IQD para as mudas de jenipapo não diferem estatisticamente entre os tratamentos, mas indicam que as mudas apresentam um padrão de qualidade em viveiro segundo Birchler *et al.* (1998), pois o IQD é abaixo de 10.

Resultados similares de IQD foram encontrados em estudos sobre o crescimento de mudas de espécies nativas realizados por Aguiar *et al.* (2011) e Alves e Freire (2017), por exemplo.

4

**AVALIAÇÃO
DAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DOS TUBETES**

1. INTRODUÇÃO

O crescimento do mercado de embalagens e recipientes plásticos promoveu ativamente o desenvolvimento do sistema que gerou sérios problemas ambientais. Embalagens/recipientes respondem por 23% dos materiais descartados em aterros. Sendo uma grande parcela dos materiais de embalagem, as embalagens poliméricas à base de petróleo geralmente não são degradáveis e apenas menos de 10% delas são recicladas.

Como resultado dessas sérias preocupações, os pesquisadores se concentraram em soluções de embalagens sustentáveis usando polímeros biodegradáveis ou materiais naturais. Uma das abordagens economicamente viáveis é utilizar resíduos e subprodutos à base de fibras ou partículas como matriz de reforço.

É interessante destacar que no setor agrícola não é diferente. Observou-se grandes avanços em embalagens poliméricas através da diversidade de produtos plásticos, visando atender as demandas de produção agroflorestal, porém, tais produtos, por serem de fonte petrolífera, são hidrofóbicos e resistentes ao processo de degradação, causando efeito acumulativo na natureza (ZURIER; GODDARD, 2020; ASIANDU *et al.*, 2021).

Além disso, os tubetes biodegradáveis, até o momento, não mantem propriedades mecânicas satisfatórias durante sua permanência em viveiro florestal para a produção de mudas, apresentando problemas na sua integridade física já nas primeiras semanas (ARTHUR JÚNIOR, 2011; CARDOSO *et al.*, 2012; CONTI *et al.*, 2012; FERRAZ *et al.*, 2015; CASARIN *et al.*, 2017).

Diante de tal fato, há a necessidade de desenvolvimento de novos produtos ecologicamente corretos que atendam a funcionalidade, sejam biodegradáveis e que não causem poluição do meio ambiente. Assim, é interessante o desenvolvimento e caracterização

das propriedades desses materiais como alternativa de uma relação mais harmônica do homem com a natureza.

Experimentos em escala com uso *in locu* sobre recipientes biodegradáveis tem apresentado resultados satisfatórios. Dentro dessa perspectiva, é importante empregar tecnologias versáteis existentes e emergentes para superar essas limitações no desenvolvimento de recipientes sustentáveis e aprimorar suas propriedades.

Este capítulo avalia os estudos sobre as propriedades mecânicas de tubetes biodegradáveis após uso em viveiro florestal, permitindo preencher algumas lacunas existentes entre os vários trabalhos com os mais diversos tipos de fibras lignocelulósicas como matriz de reforço e manutenção das propriedades durante o uso da muda em viveiro.

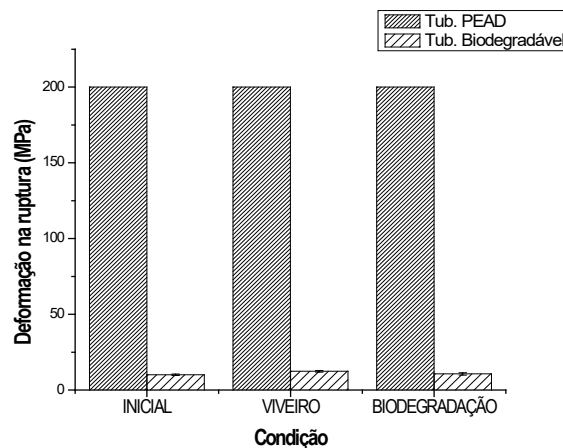
2. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS TUBETES BIODEGRADÁVEIS

Para comparar o efeito da biodegradação nos tubetes de PEAD e tubetes de biodegradáveis, foram realizados ensaios mecânicos de tração nos tubetes antes de uso em viveiro (condição inicial), após o uso de 6 meses em viveiro (viveiro) e após 6 meses de biodegradação enterrado em solo (biodegradação), sendo possível obter a deformação na ruptura, módulo de elasticidade e tensão na ruptura dos tubetes.

Salienta-se que as amostras dos tubetes de PEAD não se romperam durante o ensaio de tração. Assim, o ensaio fora interrompido quando se atingia 200mm de deformação e os dados foram obtidos nessas condições.

Na figura 10 estão apresentados os dados sobre a deformação da ruptura dos tubetes na condição inicial, após permanência em viveiro e após período de biodegradação. Observa-se que, independente da condição, há diferença estatística entre as amostras dos tubetes de PEAD e tubete biodegradável por conta da presença das partículas de casca de arroz.

Figura 10 - Deformação na ruptura para os tubetes de PEAD e biodegradável na condição inicial, após viveiro e após biodegradação em solo.



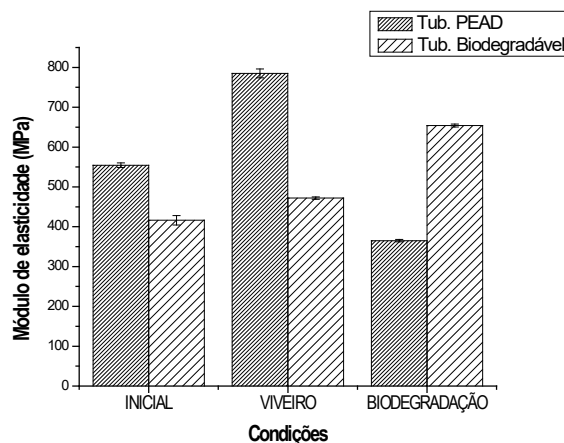
Fonte: elaborado pelo autor.

* análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.

A redução considerável da deformação na ruptura entre os tubetes é devido a adição de carga lignocelulósica na composição biodegradável, pois presença das partículas de casca de arroz favorece a uma redução da mobilidade das cadeias do PEAD e, conseqüentemente, a diminuição da ductilidade do tubete biodegradável (MOHAMED *et al.*, 2019).

O módulo de elasticidade após ensaio de biodegradação em solo pode ser observado na Figura 11. Estatisticamente, observou-se uma diferença significativa nesta propriedade mecânica para os tipos de tubetes do estudo independente da condição.

Figura 11 - Módulo de elasticidade para os tubetes de PEAD e biodegradável na condição inicial, após viveiro e após biodegradação em solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

* análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.

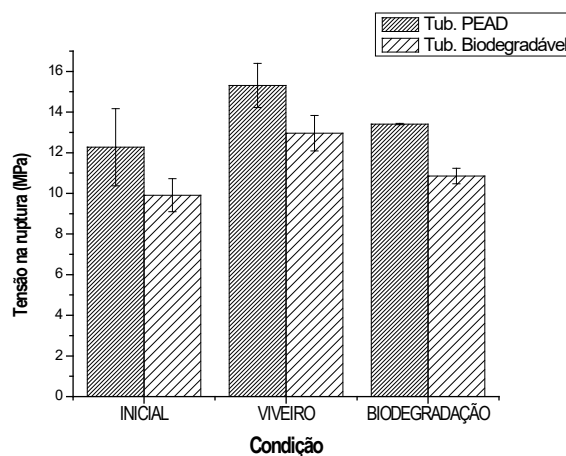
Para a condição natural e a condição viveiro, nota-se que houve uma redução do módulo de elasticidade. No entendimento de Mohamed *et al.* (2019), a presença de partículas de casca de arroz parece induzir uma redução no módulo de elasticidade, favorecendo a rigidez dos compósitos.

Por outro lado, verifica-se que os tubetes biodegradáveis apresentaram diferença estatística e maior módulo de elasticidade após biodegradação em solo. Durante a permanência em viveiro pode ter havido, devido a ação da radiação solar, umidade e temperatura, a ação do agente oxibiodegradante no processo de cisão da cadeia do PEAD do compósito, resultando na formação de cristalitos de menor tamanho e, conseqüentemente, no aumento da cristalinidade do polímero (SAHU; SUDHAKAR, 2017). Assim, há uma diminuição da mobilidade das cadeias poliméricas, aumentando a rigidez do compósito e, por conseguinte, o módulo de elasticidade (NOURBAKSH *et al.*, 2014; TONG *et al.*, 2014).

Além disso, o aumento do módulo de elasticidade pode estar associado à degradação das partículas de casca de arroz durante a permanência dos tubetes enterrados em solo, diminuindo a fração da carga lignocelulósica no compósito e aumentando, consequentemente, o módulo de elasticidade do tubete (RASSIAH *et al.*, 2016).

Na figura 12, observa-se que há diferença significativa entre os tubetes após a adição de partículas de casca de arroz. Os dados de tensão na ruptura mostram que a adição das partículas de casca de arroz promove redução dessa variável mecânica para todas as condições em estudo.

Figura 12 - Tensão na ruptura para os tubetes de PEAD e biodegradável na condição inicial, após viveiro e após biodegradação em solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

* análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.

A redução na tensão da ruptura para o tubete biodegradável pode ser explicada pela degradação termomecânica do compósito. No entendimento de Montagna *et al.* (2016), durante o processo de extrusão e injeção, a matriz polimérica é exposta ao calor e cisalhamento, iniciando as reações de degradação a partir da cisão das cadeias poliméricas por conta da ação do oxibiodegradante.

Shubbar (2018), em estudo sobre a influência da adição de partículas de casca de arroz nas propriedades mecânicas de compósitos híbridos, observaram que a adição de partículas de casca de arroz (20%) proporciona melhoria das propriedades mecânicas, sugerindo o material para a aplicação ecologicamente correta.



5

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES
MORFOLÓGICAS DOS TUBETES
BIODEGRADÁVEIS**

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos plásticos, comumente, usados são polímeros sintéticos fabricados a partir do petróleo e seus componentes afins. Os produtos à base de petróleo são alvo de preocupação global devido à sua natureza não biodegradável e não biocompatível, e as reservas de petróleo estão se esgotando rapidamente devido ao consumo massivo em todo o mundo.

Essas preocupações e regulamentações ambientais globais levaram os pesquisadores a desenvolver materiais biodegradáveis e biocompatíveis que poderiam substituir os produtos convencionais à base de petróleo. Os biocompósitos são considerados os melhores materiais alternativos para abordar essas questões e garantir um ambiente ecologicamente correto e sustentável. Desse modo, tais biocompósitos são produzidos com os materiais de matriz polimérica e de resíduos agrícolas e/ou de fibras naturais.

As fibras naturais são compostas por celulose, hemicelulose e lignina. Os primeiros compósitos parcialmente biodegradáveis foram preparados na década de 1990 usando resina termoplástica e fibras de celulose. As características vantajosas dos biocompósitos (ou seja, biodegradabilidade, não toxicidade, renovabilidade, baixa densidade, boas propriedades mecânicas, econômicas, etc.).

Nas últimas décadas, a demanda por materiais sustentáveis no lugar de materiais de baixo custo e alta resistência foi desencadeada globalmente, o que motivou o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a produção de biocompósitos ou compósitos verdes, uma vez que esse apresentam excelentes propriedades tornam-os adequados para uma ampla gama de aplicações em vários campos: indústria automobilística, embalagem e recipientes de uma forma geral, equipamentos esportivos, construção civil, setor agroflorestal, dentre outros.

No processo de degradação dos polímeros, a adição de oxibiodegradantes tem o objetivo de promover a aceleração dos processos de rompimento das cadeias favorecendo o processo de degradação na superfície do compósito. Assim, as reações de biodegradação favorecem o aparecimento de sinais de degradação na superfície.

A degradação superficial dos biocompósitos pode ser estudada através da presença de fissuras, rachaduras ou crateras. Assim, nota-se que os compósitos que possuem as partículas de casca de arroz e aditivo oxibiodegradante apresentaram maior degradação superficial após o envelhecimento acelerado, a qual se intensificou após o ensaio de biodegradação em solo simulado aos 90 e 180 dias, apresentando buracos e crateras, uma vez que para esses compósitos há uma concentração maior de manchas vermelhas por conta da ação do líquido revelador (COSTA *et al.*, 2018).

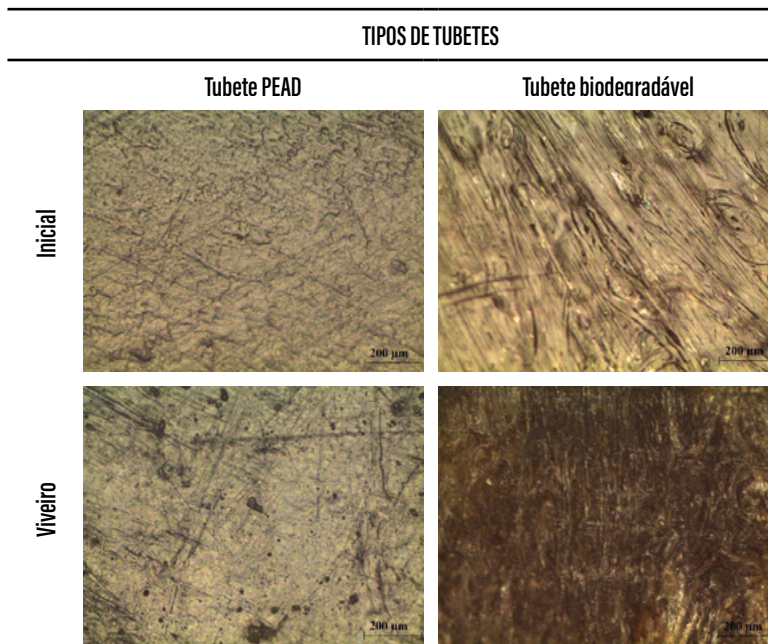
Em estudo sobre a fotodegradação de compósitos de madeira e polietileno de alta densidade, Stark e Matuana (2006) concluíram que a degradação das partículas de madeira ocorre, principalmente, a partir da deterioração da lignina, pois é uma região rica em celulose, que se torna mais sensível à presença de umidade e, conseqüentemente, as paredes celulares da madeira incham, facilitando a penetração da luz e favorecendo uma maior degradação.

É interessante destacar que a degradação superficial favorece a ação de microrganismos os quais produzem enzimas que degradando as cadeias poliméricas menores, servindo de nutrientes para os fungos e bactérias.

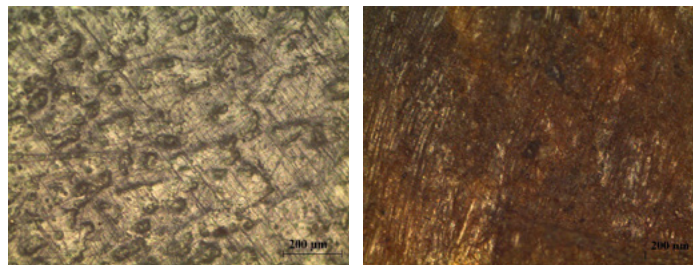
2. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS TUBETES BIODEGRADÁVEIS

A microscopia óptica dos tubetes de PEAD e dos tubetes biodegradáveis após o ensaio de biodegradação pode ser observada na figura 13. Para os tubetes de PEAD, independente da condição em que os tubetes foram submetidos, não há evidências de degradação do material, pois o mesmo permanece sem qualquer tipo de degradação mesmo após o uso em viveiro florestal, seguido do ensaio de biodegradação durante o período de 6 meses.

Figura 13 - Microscopia óptica dos tubetes após uso em viveiro e ensaio de biodegradação aos 180 dias



Biodegradação



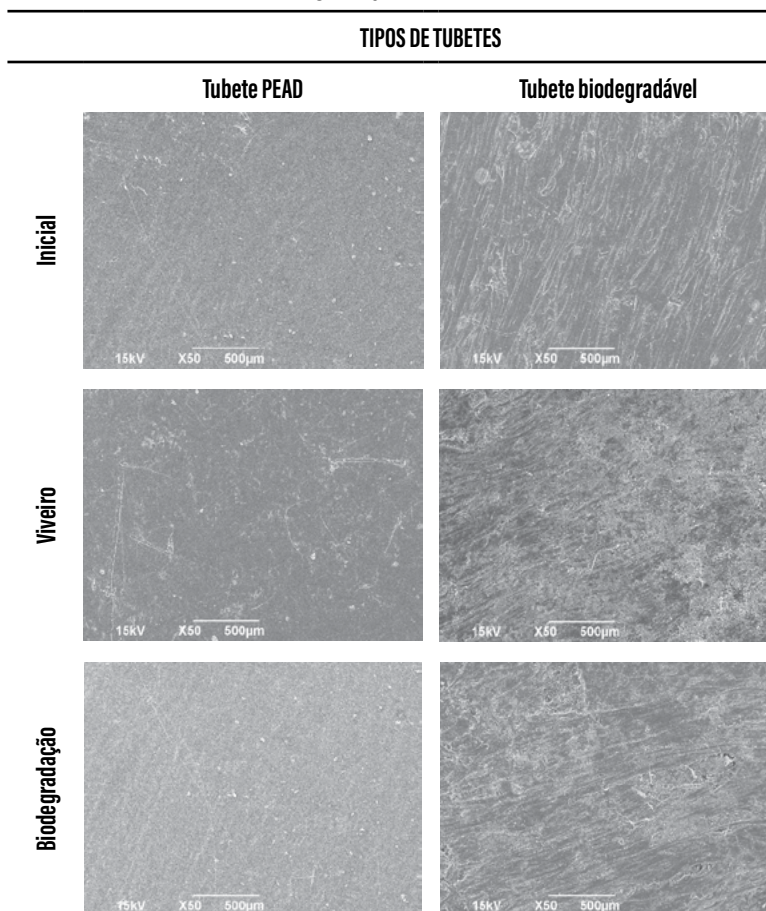
Fonte: elaborado pelo autor.

Por outro lado, após o uso em viveiro seguido pelo ensaio de biodegradação em solo, nota-se que o tubete biodegradável apresentou sinais de degradação na sua superfície, pois é clara a presença de pontos escuros os quais foram preenchidos por terra diante da decomposição da casca de arroz, uma vez que é a primeira a se degradar por ser matéria orgânica devido a ação de microrganismos existentes no solo.

Efeitos da ação de microrganismos na superfície do polímero de PEAD com casca de arroz foram observados por Costa *et al.* (2020). Os autores observaram que houve degradação biótica provocada por fungos (*Aspergillus niger*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.*, *Rhizopus spp.*) e colônias de bactérias, resultando em buracos na superfície dos corpos de prova após ensaio de biodegradação por 180 dias.

Para corroborar com as imagens da microscopia óptica, foi realizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV) (figura 14). Nota-se que os tubetes de PEAD permanecem com sua superfície inalterada independentemente do tipo de condição submetido: condição inicial, condição em viveiro e após biodegradação.

Figura 14 - Imagens da MEV dos tubetes após uso em viveiro e ensaio de biodegradação aos 180 dias



Fonte: elaborado pelo autor.

Por outro lado, os tubetes biodegradáveis apresentam indícios de biodegradação já na condição em viveiro, apresentando manchas escuras por conta do efeito da temperatura e da umidade durante os 6 meses de produção das mudas florestais. Observa-se, ainda, que após 180 dias de biodegradação, os tubetes biodegradáveis

apresentam fissuras e rachaduras em sua superfície provocadas pela degradação da casca de arroz a qual é matéria orgânica.

Cavidades, fissuras e rachaduras ocorreram na superfície do polímero e elas cresceram conforme a ação dos microrganismos favorecidos pela absorção de água pela fibra, auxiliando a ação de hidrólise das enzimas. Os espaços e fissuras estão, especialmente, presentes nas proximidades das partículas da fibra lignocelulósica após degradação (STEPCZYNSKA; RYTLEWSKI, 2018).

3. EFEITO DA CRISTALINIDADE

Para corroborar com as informações obtidas com os ensaios mecânicos, realizou-se a análise de DSC para analisar o grau de cristalinidade dos tubetes de PEAD e dos tubetes biodegradáveis nas diferentes condições.

Verifica-se que o tubete de PEAD permanece inalterada independentemente da condição em que o material fora submetido (condição inicial, uso em viveiro e biodegradação). Desse modo, depreende-se que o PEAD continuou com sua estrutura inalterada, não sofrendo nenhum efeito significativo de degradação durante a permanência em viveiro e durante o ensaio de biodegradação (tabela 4).

Tabela 4 - Grau de cristalinidade para os tubetes após ensaio de biodegradação.

Tubetes	INICIAL	VIVEIRO	BIO
PEAD	57 + 0,1a	56 + 0,1a	56 + 0,3a
Biodegradável	41 + 0,2b	46 + 0,1b	51 + 0,1b

** análise estatística pelo teste T de Student, com intervalo de confiança de 95%.*

Por outro lado, nota-se que os tubetes biodegradáveis apresentaram um aumento do grau de cristalinidade após os 6 meses de permanência em viveiro e após o ensaio de biodegradação durante o mesmo período.

Por ser um compósito que possui partículas de casca de arroz, o aumento do grau de cristalinidade nesse material pode estar associado à ação de degradação de microrganismos durante o período em que os tubetes permaneceram enterrados em solo.

Para Briassoulis *et al.* (2015) e Patwary e Mittal (2015), os microrganismos atuam diretamente na degradação da matéria orgânica e/ou são atraídos pelos produtos gerados pela ação do aditivo oxibiodegradante orgânico, pois sua ação é concentrada nas regiões amorfas do polímero onde, inicialmente, ocorre da biodegradação, favorecida pela entrada de água/umidade e enzimas, permitindo a ação fungos e bactérias.

É na biodegradação que o microrganismo age na matéria orgânica provocando a cisão de partículas maiores em componentes menores que servirão de alimento. Isso influencia, diretamente, no aumento do grau de cristalinidade (STEPCZYNSKA; RYTLEWSKI, 2018; CHAMAS *et al.*, 2020).

Ademais, oxibiodegradante pode ter influenciado diretamente no aumento do grau de cristalinidade dos compósitos devido à exposição à radiação solar durante a produção de mudas em viveiro.

Estudos das propriedades térmicas por meio de DSC apontam que reações de degradação por radiação UV ocorrem, predominantemente, nas regiões amorfas do polietileno por meio de um mecanismo de cisão de cadeia devido à sua maior permeabilidade ao oxigênio nesta região (PABLOS *et al.*, 2010). Desse modo, há uma diminuição das regiões amorfas que provoca uma diminuição do espaço interlamelar e resulta em um aumento da cristalinidade como o observado para os compósitos estudados (GAUTHIER *et al.*, 2013).

É interessante salientar que houve uma redução de 28% do grau de cristalinidade do tubete de PEAD em relação ao tubete biodegradável após a adição das partículas de casca de arroz.

Essa redução da cristalinidade está relacionada ao fato de que a adição das cargas lignocelulósicas provoca uma desorganização do empacotamento das cadeias poliméricas, diminuindo a fração cristalina e aumentando a parte amorfa. Tais mudanças estruturais podem trazer uma diminuição de densidade, aumento da rigidez e das resistências mecânicas e térmicas (MOURA *et al.*, 2013).

Assim, quando se refere à adição das partículas de casca de arroz na matriz polimérica, nota-se que os resultados das propriedades mecânicas de tração e flexão corroboram com a diminuição do grau de cristalinidade dos compósitos, uma vez que houve redução da deformação e tensão da ruptura, aumento do módulo de elasticidade em tração e da tensão em flexão dos compósitos.

Diante desse contexto, a mesma observação fora feita por Felder *et al.* (2020) ao estudar o efeito da cristalinidade nas propriedades mecânicas de um compósito, pois houve melhoria das propriedades mecânicas do compósito.



6

AVALIAÇÃO
DA BIODEGRADAÇÃO
DOS TUBETES

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Europeia de Fabricantes de Plásticos, mais de 300 milhões de toneladas de plásticos foram produzidos em todo o mundo a cada ano (PLASTICS EUROPE ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS, 2017), porém apenas 21% dos quais foi reciclado ou incinerado, e o restante dos resíduos plásticos são lançados em o meio ambiente. Esses resíduos plásticos podem prejudicar o meio ambiente, afetando diretamente o solo, as águas e os animais (YUAN, 2020; PATHAK, 2017).

A degradação biológica do plástico é, frequentemente, considerada um método mais ecológico, recebendo considerável atenção da comunidade científica. Isto ocorre quando os microrganismos usam seu aparato enzimático para quebrar os polímeros em moléculas menores e monômeros os quais podem ser usados como fontes de carbono e energia e são, finalmente, mineralizados por microrganismos, sendo convertidos em dióxido de carbono, água, metano e outros compostos (ALSHEHREI, 2017; GAMBARINI *et al.*, 2022).

Os processos biológicos, geralmente, podem ser realizados sob condições ambientais amenas (como temperaturas mais baixas, pressões e níveis de pH), contornando a utilização e produção de produtos químicos perigosos como aceleradores do processo de degradação (WEI; ZIMMERMANN, 2017; GAMBARINI *et al.*, 2022).

Estudos generalizados sobre a biodegradação de plásticos têm sido realizados para superar os problemas ambientais associados aos resíduos plásticos sintéticos. Trabalhos recentes incluíram estudos sobre a distribuição de microorganismos degradadores de polímeros sintéticos no meio ambiente, o isolamento de novos microorganismos para biodegradação, a descoberta de novas enzimas de degradação e a clonagem de genes para enzimas degradadoras de polímeros sintéticos. Assim, estudos nesse eixo temático vêm a

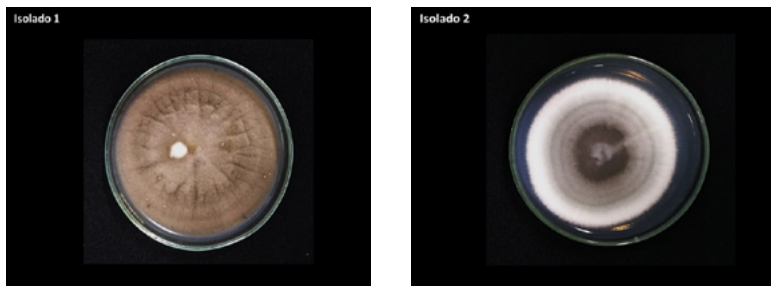
contribuir para a identificação, monitoramento e controle sobre a biodegradação de biocompósitos após o descarte em aterros sanitários ou descartados inadequadamente no meio ambiente.

2. ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE MICRORGANISMOS

Para melhor compreensão das propriedades de biodegradação, adotou-se o procedimento de isolamento e identificação de microrganismos no solo. Assim, foi possível identificar fungos e bactérias que responsáveis pela degradação dos recipientes após uso em viveiro e enterrados em solo.

Com base na comparação de sequências na base dados *Standard databases* do GenBank do NCBI (National Center for Biotechnology Information), os resultados identificaram alguns fungos como, por exemplo: *Phoma* sp., *Hunttiella* sp., *Trichoderma* sp. e *Talaromyces* sp., conforme pode ser visto na figura 15.

Figura 15 - Fungos identificados nas amostras de solo após 180 dias de biodegradação (ampliado 40 vezes). (1) *Phoma* sp., (2) *Hunttiella* sp., (3) *Trichoderma* sp., (4) *Talaromyces* sp.





Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo a American Standard for Testing and Methods (ASTM), norma D-833, polímeros biodegradáveis são materiais cuja degradação resulta primariamente da ação de microrganismos como fungos, bactérias e algas, de origem natural, produzindo gás carbônico, metano, componentes celulares e outros produtos (ASTM, 2000). Assim, dentre os fungos, a espécie *Talaromyces spp.* tem função importante no processo de biodegradação do biocompósito, pois alguns estudos apontam a espécie fúngica como sendo pioneira na degradação de polímeros (AUER *et al.*, 2006; BARDI; ROSA, 2007; COELHO *et al.*, 2008; LUGAUSKAS *et al.*, 2003; VIVI, 2011).

Em estudo sobre a influência de oxibiodegradante na degradação de um biocompósito, Costa *et al.* (2020) observaram que o fungo *Trichoderma sp.* teve papel importante na biodegradação do compósito de polietileno com casca de arroz e oxibiodegradante orgânico.

Coelho *et al.* (2008) observaram a biodegradação da blenda PHB-V/amido e observaram que fungos *Talaromyces wortmannii* contribuíram para a biodegradação da blenda em função do tempo.

A ação de tais microrganismos favorece a degradação do biocompósito na fase biótica. Esse processo consiste no emprego do metabolismo microbiano para a decomposição desses compostos poliméricos, o que resulta na ciclagem do carbono por meio da oxidação completa dos compostos orgânicos e na produção de nova biomassa (ASIANDU *et al.*, 2021).

Para isso, a adesão superficial dos microrganismos ao polímero é uma etapa essencial para a biodegradação do biocompósito. À medida que os micróbios se ligam às superfícies, eles colonizam a área e formam um biofilme enquanto secreta substâncias poliméricas extracelulares e proteínas. A despolimerase enzimas podem ser excretadas para o meio extracelular, que em combinação com outras biomateriais excretados podem atuar para converter substratos hidrofóbicos para ter um aspecto mais hidrofílico na superfície (PEIXOTO *et al.*, 2017; KIM *et al.*, 2020). Depois disto, a decomposição do polímero começa com a clivagem inicial de macromoléculas insolúveis em fragmentos menores que podem então ser absorvidos por microrganismos para uso posterior (ASIANDU *et al.*, 2021; HOU; MAJUMDER, 2021). Assim, tal ação é favorecida pela presença de enzimas despolimerases que atuam em grupos alcanos de cadeia longa ou polímeros com resíduos aromáticos (WEI; ZIMMERMANN, 2020).

No entendimento de Asiandu *et al.* (2021), este processo enzimático decompõe os polímeros plásticos recalcitrantes em biomassa microbiana e outros compostos ambientalmente seguros em várias etapas, incluindo biodeterioração, despolimerização, assimilação e mineralização. A otimização de fatores ambientais adequados é o principal fator para aumentar a capacidade dos microrganismos degradar os resíduos plásticos.

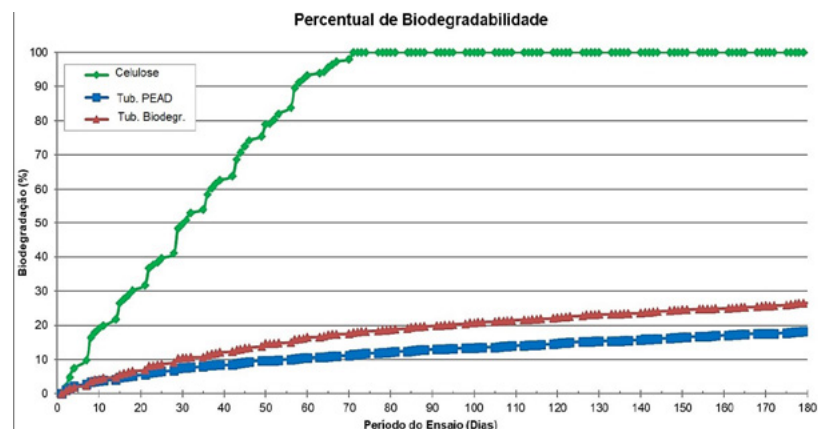
Hou e Majumder (2021) sugerem que o fungo *Talaromyces sp.* apresenta potencialidade de degradação de plástico em diferentes ambientes como ambientes marinhos, aterros sanitários, estação de tratamento de águas residuais, dentre outros.

Em ensaio realizado sobre a biodegradação de resíduos orgânicos no solo, Vazquez *et al.* (2019) ressaltam que é um processo complexo, que envolve grande número e variedade de microrganismos na decomposição do material vegetal, e que existem pelo menos quatro grupos distintos desses organismos: celulolíticos, hemicelulolíticos, pectinolulíticos e lignolulíticos.

3. BIODEGRADAÇÃO DOS TUBETES BIODEGRADÁVEIS

Com relação aos estudos sobre a biodegradabilidade dos tubetes biodegradáveis, os resultados estão apresentados no gráfico da figura 16.

Figura 16 - Gráfico do percentual de biodegradabilidade durante o período do ensaio para a amostra.



Fonte: elaborado pelo autor.

A biodegradabilidade está relacionada com o tempo de incubação dos tubetes. Observa-se que a porcentagem é aumentada com o tempo, uma vez que há a quebra das cadeias poliméricas, resultando, dentre outros produtos, o CO₂.

Assim, pode-se perceber que, após 6 meses de ensaio de biodegradabilidade, as amostras do tubete PEAD e do tubete biodegradável apresentaram percentual de biodegradabilidade de 18,29% e 26,62%, respectivamente.

As amostras do tubete biodegradável apresentam um percentual maior de biodegradabilidade que as amostras do tubete

PEAD puro pelo fato de aquele possuir em sua composição partículas de casca de arroz e o aditivo oxibiodegradante, favorecendo a degradação das cadeias poliméricas do PEAD.

Esta análise de biodegradação está relacionada a liberação de dióxido de carbono. Assim, tem despertado o interesse da comunidade científica, pois está relacionada a capacidade e a potencialidade que o material tem em ser degradado por microrganismos

A biodegradação ocorre quando os microrganismos utilizam um material contendo carbono para extrair a energia química necessária para impulsionar seus processos vitais. Sob condições aeróbicas, o carbono é biologicamente oxidado à CO₂ no interior da célula, liberando energia. A determinação da taxa e da quantidade de CO₂ liberado em função do carbono total disponível antes do processo é uma medida direta da quantidade de carbono utilizada pelo microrganismo, ou seja, o percentual de biodegradação do material (GAMBARINI *et al.*, 2022).

A produção de CO₂ na biodegradação do polímero é considerada um parâmetro importante do processo. A produção de CO₂ em função do tempo constitui uma fase, mas não a única, para obtenção de informações sobre a biodegradação do polímero (MONTAGNA *et al.*, 2014; SABLE *et al.*, 2019).

Na degradação anaeróbica são produzidos dióxido de carbono, água e metano. A biodegradação dos polímeros é dividida em duas etapas: a etapa de despolimerização e a etapa de mineralização. Em primeiro, o polímero é despolimerizado em pequenos monômeros, devido à grande cadeia polimérica, para ação de microrganismos, posteriormente. Na etapa de mineralização, são produzidos CO₂, H₂O ou CH₄ (KALITA *et al.*, 2020).

Um material biodegradável é aquele em que, no meio ambiente, tem a capacidade de se degradar em solo com a liberação de água e dióxido de carbono, devido a ação de microrganismos,

porém alguns fatores associados a propriedades físico-mecânicas como, por exemplo, porosidade, elasticidade e grau de cristalinidade, também, influenciam diretamente na biodegradabilidade do compósito (ASIANDU *et al.*, 2021; HOU; MAJUMDER, 2021)

Segundo a norma ABNT NBR 15448-2, a amostra deve apresentar um percentual de biodegradabilidade de, no mínimo, 90% de seus constituintes orgânicos, após o término de 180 dias de ensaio, para que este seja considerado um material biodegradável (ABNT, 2008).

As Normas de determinação da biodegradabilidade visam apontar requisitos para embalagens recuperáveis por compostagem e biodegradação. O foco das normas está em parâmetros avaliativos de filmes finos para a obtenção de embalagens que atendam às necessidades do mercado e a biodegradabilidade após consumo.

Entretanto, o uso dessas normas como ferramenta de caracterização dos recipientes deste estudo está em entender o comportamento dos tubetes quanto o ensaio de biodegradabilidade, uma vez que não há a literatura nenhuma análise neste sentido, embora, segundo Sable *et al.* (2019), venha aumentando o consumo de materiais plásticos no setor agrícola e de irrigação, por exemplo, havendo a necessidade do desenvolvimento de materiais sustentáveis no setor agroflorestal.

Além disso, é interessante destacar que a biodegradabilidade é profundamente afetada pela composição química do plástico, por sua morfologia, pelas condições do meio, pela presença de aditivos na sua formulação e outros fatores favoráveis e desfavoráveis à decomposição (VARIAN *et al.*, 2022).

CONCLUSÕES

Na produção de mudas de espécies nativas em viveiro, para os parâmetros morfológicos estudados, conclui-se que não houve diferença estatística entre os tubetes de PEAD e os tubetes biodegradáveis para a altura, diâmetro do colo, Índice de Robustez, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz e o índice de qualidade de Dickson.

Por outro lado, as propriedades mecânicas apresentaram mudanças significativas após a introdução de partículas de casca de arroz na matriz de PEAD, indicando uma boa adesão entre a matriz polimérica e a fibra lignocelulósica, pois favorece a uma divisão homogênea dos esforços, mantendo as propriedades com características interessantes para o uso no setor florestal.

Com relação ao grau de cristalinidade, os tubetes biodegradáveis apresentaram aumento do grau de cristalinidade podendo estar associado à ação de degradação de microrganismos durante o período em que os tubetes permaneceram enterrados em solo.

Através da análise microbiológica do solo, foi possível identificar fungos e bactérias que responsáveis pela degradação dos recipientes após uso em viveiro e após ensaio de biodegradação, podendo-se citar: *Phoma* sp., *Huntiaella* sp., *Trichoderma* sp. e *Talaromyces* sp.. Assim, a ação de tais microrganismos pode ser comprovada pelas imagens MEV e MO nas quais mostram fissuras, rachaduras e buracos nas superfícies dos compósitos, favorecido pela presença do oxibiodegradante orgânico e das partículas de casca de arroz nos tubetes de biodegradáveis os quais, também, apresentaram a maior taxa de biodegradabilidade a partir da maior liberação de dióxido de carbono.

Portanto, os tubetes biodegradáveis apresentaram propriedades mecânicas e de biodegradabilidade interessantes para a produção de mudas em viveiro florestal, pois houve manutenção da sua integridade física durante toda a permanência em viveiro florestal, mesmo submetido ao manuseio e às condições ambientais de temperatura, umidade e radiação solar, sem comprometimento dos parâmetros morfológicos das mudas florestais.

É possível afirmar que o tubete biodegradável apresentou potencialidade com características compatíveis com as necessidades de uso de tubetes florestais para a produção de mudas, uma vez que as propriedades mecânicas atendem às demandas do setor florestal, permitindo o reuso, e as propriedades de biodegradabilidade garantem a degradação do tubete no meio ambiente no caso de descarte ou esquecimento em campo de plantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; FERREIRA, D. H. A. A.; MONTEIRO, F. A. S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Revista Floresta**, v. 45, n. 1, p. 141-150, 2015.

AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R.; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Ceres**, v. 58, n. 6, p.729-734, 2011.

ALBERTI, L. D.; SOUZA, O. F.; BUCCI, D. Z.; BARCELLOS, I. O. Study on physical and mechanical properties of PHB biocomposites with rice hull ash. **Materials Science Forum**, v. 776, p. 557-561, 2014.

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em Fitopatologia**. Editora: UFV, 2016.

ALSHEHREI, F. Biodegradation of synthetic and natural plastic by microorganisms. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 5, p. 8-19, 2017.

ALVES, F. J. B.; FREIRE, A. L. O. Crescimento inicial e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos) produzidas em diferentes substratos. **Revista Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.13, n.3, p.195-202, 2017.

AMORIM, M. M. R.; SANTOS, L. C. Tratamento da vaginose bacteriana com gel vaginal de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi): ensaio clínico randomizado. **Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia**, v.25, n.2, p.95-102, 2003.

ANA PAULA ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Bras. Bioci.**, v. 11, n. 3, p. 313-317, 2013.

ANDERSON, S.; ZHANG, J.; WOLCOTT, M. P. Effect of interfacial modifiers on mechanical and physical properties of the PHB composite with high wood flour content. **J. Polym Environ**, v. 21, p. 631-639, 2013.

ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 3, p. 313-317, 2013.

AREMU, M. O.; OKO, O. J.; ANDREX, C. Ground Water and River Quality Assessment for Some Heavy Metals and Physicochemical Parameters in Wukari Town, Taraba State, Nigeria. **International Journal of Sciences**, v.5, p. 73-80, 2017.

ARRAKHIZ, F. Z.; ACHABY, E. M.; MALHA, M., et al. Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: down/low density polyethylene. **Materials and Design**, v. 43, p. 200-205, 2013.

ARTHUR JÚNIOR, J. C. Uso de tubete e minitubete de compósito de polihidroxibutirato mais pó de madeira na produção e plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto. **Tese de Doutorado**. ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 2011.

ARTHUR JUNIOR, J. C.; LIMA, B. M.; GONÇALVES, J. L. M. Calibração do resíduo de madeira na composição de tubetes e mini-tubetes de Polihidroxibutirato (PHB). In: **13º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo**, v.1, p. 01-01, 2005.

ASIANDU, A. P.; WAHYUDI, A.; SARI, S. W. A Review: Plastics Waste Biodegradation Using Plastics-Degrading Bacteria. **Journal of Environmental Treatment Techniques**, v. 9, n. 1, p. 148-157, 2021.

ASTM D2017-05. **Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods (Withdrawn 2014)**, 2005.

ASTM D833-99. **Terminology Relating to Plastics**, 2000.

ASTM Designation D 638-03. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, 2004.

AUER, C. G.; GHIZELINI, A. M. PIMENTEL, I. C.; BIZI, R. M. Fungos em acículas da serapilheira de *Pinus Taeda L.* em povoamentos com diferentes idades. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 433-438, 2006.

BALDIN, T.; CONTE, B.; DENARDI, L.; MORAES, R.; SALDANHA, C. W. Crescimento de mudas de angico-vermelho em diferentes volumes de substratos. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 129-133, 2015.

BARDI, M. A. G.; ROSA, D. S. Avaliação da Biodegradação em Solo Simulado de Poli(caprolactona), Acetato de Celulose e suas Blendas. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 26, n. 1, p. 43-47, 2007.

BARNETT, H. I.; HUBTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. New York: Mac Millan Publish Company, 1972.

BARRETO, S. S. B.; FERREIRA, R. A. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de *Leguminosae Mimosoideae: Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 223-232, 2010.

BARUD, H. S.; SOUZA, J. L.; SANTOS, D. B.; et al. Bacterial cellulose/poly(3-hydroxybutyrate) composite membranes. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, p. 1279-1284, 2011.

BIRCHLER, T.; ROSE, R. W.; ROYO, A.; PARDOS M. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v. 7, n. 1, p. 109-121, 1998.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B.; SÃO JOSÉ, A. R.; GRISI, F. A Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Revista Floresta**, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.

BRANT, A. J. C.; NAIME, N.; LUGÃO, A. B.; et al. Tubetes biodegradáveis fabricados a partir de compósitos de Biopolímero e bagaço de cana-de-açúcar. In: **12º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2011.

BRASIL – IBGE. **Indústria de papel e celulose impulsiona produção madeireira**, 2017a. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/16983-industria-de-papel-e-celulose-impulsiona-producao-madeireira.html>. Acesso em: 16/12/2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório, reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTA/USAID/ SUDENE, 1972, 670p. (Boletim Técnico, 15), 1972b.

BRIASSOULIS, D.; BABOU, E.; HISKAKIS, M.; et al. Degradation in soil behavior of artificially aged polyethylene films with pro-oxidants. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 1, p. 1-19, 2015.

BRITO, A. C. et al. Efeito da adição de PHB na cristalização a frio do PET. **Revista Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 111-116, 2012.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Wood flour/polyhydroxybutyrate composites. In: **International Symposium on Natural Polymers and Composites**, v. 3, p. 426-430, 2000.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Propriedades mecânicas dos compósitos de polihidroxibutirato/amido. In: **Congresso Brasileiro de Polímeros**, v. 5, p. 01-01, 1999.

CARDOSO, M. N.; NASCIMENTO, A. L. S.; OLIVEIRA, L. A. R.; ASSUNÇÃO, D. A.; MACHADO, C. A.; OLIVEIRA, A. C. A.; JESUS, A. S.; LÉDO, A. S.; ARCHIMINIO, R. S.; RABBANI, A. R. C.; SILVA, A. V. C. Genetic diversity in native *Genipa americana* (Rubiaceae) populations in Sergipe, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2019.

CARDOSO, M. T.; CARNEIRO, A. C. O.; OLIVEIRA, R. C.; et al. Propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para fabricação de tubetes. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 403-411, 2012.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E.; FOLTZ, D. R. B.; Dimensionamento Amostral para Avaliação de Altura e Diâmetro de Plantas de Timbaúva. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2018.

CARMELLO-GUERREIRO, S.M.; PAOLI, A.A.S. Ontogeny and Structure of the Pericarp of *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, n.1, p.73-79, 2002

CASARIN, S. A.; AGNELLI, J. A. M.; MALMONGE, S. M. Blendas PHB/Copoliésteres Biodegradáveis – Biodegradação em Solo. **Revista Polímeros**, v. 23, n. 1, p. 115-122, 2013.

CASARIN, S. S.; RODRIGUES, C. P.; SOUZA JÚNIOR, O. F.; et al. Biodegradation in Soil of the PHB/Wood Flour (80/20) and PHB/Sisal Fiber (80/20) Tubes. **Materials research**, v. 1, p. 1-4, 2017.

CHAMAS, A.; MOON, H.; ZHENG, J.; QIU, Y.; TABASSUM, T.; JANG, J. H.; ABU-OMAR, M.; SCOTT, S. L.; SUH, S. Degradation rates of plastics in the environment. **Sustainable chemistry & engineering**, v. 8, p. 3494-3511, 2020.

COELHO, N. S.; ALMEIDA, Y. M. B.; VINHAS, G. M. A Biodegradabilidade da Blenda de Poli(-Hidroxitbutirato-co-Valerato)/Amido Anfótero na Presença de Micro-organismos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 270-276, 2008.

CONTI, A. C.; REIS, R. C. S.; CONTI, C.; et al. Análise do desenvolvimento e da viabilidade econômica do plantio de mudas de árvores em tubetes biodegradáveis. **RETEC**, v. 05, n. 1, p. 113-121, 2012.

CORREA, C. A. et al. Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, nº 3, pp. 154-165, 2003.

COSTA, C. C.; ANDRADE, G. R. S.; ALMEIDA, L. E. Biodegradation in simulated soil of HDPE/ pro-oxidant/rice husk composites: application in agricultural tubes. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, p. 1-13, 2018.

COSTA, C. C.; SILVA, J. A.; ALMEIDA, L. E. Influência do aditivo oxibiodegradante orgânico na degradação de um biocompósito e na fertilidade do solo. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 17, n. 8, p. 1-15, 2020.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GOMES, K. C. O.; GUERRERO, C. R. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, v. 2, n. 66, p.100-107, 2004.

CUESTA, B.; VILLAR-SALVADOR, P.; PUÉRTOLAS, J.; JACOBS, D. F.; ENAYAS, J. M. R. Why do large, nitrogen rich seedlings better resist stressful transplanting conditions? A physiological analysis in two functionally contrasting Mediterranean forest species. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 71-78, 2010.

DELGADO, L. G. M.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Qualidade morfológica de mudas de ingá sob diferentes manejos hídricos. **Irriga**, v. 22, n.3, p. 420-429, 2017.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; DACHAMIR, H. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.

DIAS, B. A. S. Análise comparativa de tubetes biodegradáveis e de polietileno na produção de mudas de Paratecoma peroba (Record & Mell) Kuhl. 2011. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

DIAS, B. P. Bagaço de cana de açúcar: matéria prima para fabricação de materiais biodegradáveis. **Trabalho de graduação**. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2011.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FELDER, S.; VU, N. A.; REESE, S.; SIMON, J. W. Modeling the effect of temperature and degree of crystallinity on the mechanical response of Polyamide 6. **Mechanics of Materials**, v. 148, n. 1, p. 1-20, 2020.

FERRAZ, A. V.; CEREDA, M. P.; IATAURO, R. A. Produção de mudas de petúnia comum em tubetes biodegradáveis em substituição aos sacos plásticos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 1, p. 74-83, 2015.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (HAYNE) LEE ET LANG.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (MART. EX DC.) SANDL.) e

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p. 515-523, 2002.

FREITAS, T. A. S. et al. Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 419-428, 2013.

FURLAN, L. G.; DUARTE, U. L.; MAULER, R. S. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Quím. Nova**, v. 35, n. 8, p.1499-1501, 2012.

GAMBARINI, V.; PANTOS, O.; KINGSBURY, J. M.; WEAVER, L.; HANDLEY, K. M.; LEAR, G. Plastic DB: a database of microorganisms and proteins Linked to plastic biodegradation. **DATABASE**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2022.

GAUTHIER, E.; LAYCOCK, B.; CUOQ, F. J. J. M.; et al. Correlation between chain microstructural changes and embrittlement of LLDPE-based films during photo- and thermo-oxidative degradation. **Polymer Degradation and Stability**, v. 98, p. 425-435, 2013.

GEMAQUE, R. C. R.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Indicadores de maturidade fisiológica de sementes de Ipê-Roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 84-91, 2002.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advanced**, n. 3, p.1777-1782, 2017.

GOMES, A. D. V.; FREIRE, A. L. O. Crescimento e qualidade de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* L.) em função do substrato e sombreamento. **Scientia Plena**, v. 15, n. 11, p. 1-9, 2019.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Pau-brasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, p. 11-17, 2019.

guarucuia (*Parapiptadenia rigida* (BENTH.) BRENNAN). **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.413-423, 2011.

GUERRA, M.S.; BARBOSA, M.S.; COSTA, E.; et al. Recipiente biodegradável e substratos para mudas de maracujazeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 50-54, 2017.

GUTIÉRREZ, M. C.; ROSA, P. T. V.; PAOLI, M. A.; et al. Biocompósitos de acetato de celulose e fibras curtas de curauá tratadas com CO₂ supercrítico. **Revista Polímeros**, v. 22, n. 3, p. 295-302, 2012.

HOU, L.; MAJUMDER, E. L. W. Potential for and Distribution of Enzymatic Biodegradation of Polystyrene by Environmental Microorganisms. **Materials**, v. 14, n. 503, p. 1-20, 2021.

IATAURO, A. R. Avaliação de tubetes biodegradáveis para a produção e acondicionamento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Trabalho de graduação**. Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 2001.

ISO Designation 178-10. **Plastics** – Determination of Flexural Properties, 2010.

JAKUBOWICZ, I. Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene (PE). **Polymer Degradation and Stability**, n. 80, p. 39-43, 2003.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

KALITA, N. K.; BHASNEY, S. M.; KALAMDHAD, A.; KATIYAR, V. Biodegradable kinetics and behavior of bio-based polyblends under simulated aerobic composting conditions. **Journal of Environmental Management**, n.1, v.1, p. 1-11, 2020.

KIM, H. R.; LEE, H. M.; YU, H. C.; JEON, E.; LEE, S.; LI, J.; KIM, D.-H. Biodegradation of Polystyrene by *Pseudomonas sp.* Isolated from the Gut of Superworms (Larvae of *Zophobas atratus*). **Environ. Sci. Technol.**, v. 54, p. 6987-6996, 2020.

KUMAR, M.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.; et al. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 21, p. 8406-8415, 2010.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; VACCARI, E. M. H.; et al. **Guia para identificação**: fungos, actinomicetos e algas de interesse médico. São Paulo: Sarvier; 1998.

LEITE, M. C. A.; FURTADO, C. R. G.; COUTO, L. O.; et al. Avaliação da Biodegradação de Compósitos de Poli(ϵ -Caprolactona)/Fibra de Coco Verde, **Revista Polímeros**, v. 20, p. 339-344, 2010.

LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. S.; ABREU, A. H. M.; SILVA, E. V.; FONSECA, A. C. Produção de mudas de *Ceipa speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. **Revista Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, pp. 27-39, 2019.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. São Paulo: Nova Odessa, v.2. 368p. 1998.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais no Brasil**: nativas e exóticas. 2.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 577p.

LUGAUSKAS, A. LEVINSKAITÈ, L.; PECIULYTÈ, D. Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 52, p. 233-242, 2003.

MACHADO, A. R. T.; MARTINS, P. F. Q.; FONSECA, E. M. B.; et al. Compósitos biodegradáveis a base de polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHB-HV) reforçados com resíduos do **beneficiamento do café**. **Revista Matéria**, v. 15, n. 3, p. 400 – 404, 2010a.

MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F.; et al. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero poli-3-hidroxibutirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010b.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/relatrios/MBI-relatorio-desmatamento-2019-FINAL5.pdf>. Acesso em: 18/05/2023.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D. Polímeros. **Cienc Tecnol**, v. 18, p.92-93, 2008.

MEIRELES, F.; CÉSPEDES, G.; EGEE-ALSAM, J.; SPICHTER, R. Estudios fitosociológicos en el Gran Chaco: estructura, composición florística y variabilidad del bosque de *Schinopsis balansae* en el chaco húmedo boreal, Paraguay. **Bonpladia**, v. 29, n. 1, p. 39-56, 2020.

MELO, J. D. D. et al. A biodegradable composite material based on polyhydroxybutyrate (PHB) and carnauba fiber. **Composites: Part B**, v. 43, p. 2827-2835, 2012.

MELO, L. A.; ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA, R. R.; SILVA, D. T. Qualidade e crescimento inicial de mudas de mimosa caesalpinifolia benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47-55, 2018.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas Compatíveis de Amido Termoplástico e Polietileno de Baixa Densidade Compatibilizadas com Ácido Cítrico. **Revista Polímeros**, v. 21, n. 5, p. 353-360, 2011.

MOHAMED, S. A. N.; ZAINUDIN, E. S.; SAPUAN, S. M.; AZAMAN, M. D.; ARIFIN, A. M. T. Energy behavior assessment of rice husk fibres reinforced polymer composite. **Journal of materials research and technology**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2019.

MOREIRA, E. J. C.; MELO, L. A.; TEIXEIRA, L. A. F.; et al. Utilização de tubetes biodegradáveis na produção de mudas de espécies Florestais nativas. In: **Anais da Reunião Regional da SBPC em Lavras / MG**, 2010.

MOURA, A. S.; LUZ, M. S.; LEÃO, M. R. Avaliação das propriedades térmicas de materiais compósitos de PHB e casca de arroz. In: **12º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2013.

NOGUEIRA, W. L. P.; FERREIRA, M. J.; MARTINS, N. O. A. Estabelecimento inicial de espécies florestais em plantio para a recuperação de área alterada no Amazonas. **Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 365-371, 2015.

NOURBAKSH, A.; ASHORI, A.; TABRIZI, A. K. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. **Composites: Part B**, v. 56, p. 279-283, 2014.

OLIVEIRA, M. A.; FIORINE, R. A. Análise de crescimento em mudas de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) provenientes de estacas em diferentes recipientes para cultivo. **Revista raízes e amidos tropicais**, v. 2, p. 12-26, 2006.

ONU – **Organização das Nações Unidas**, 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/03/1783502>. Acesso em: 15/05/2023.

PABLOS, J. L.; ABRUSCI, C.; MARÍN, I.; et al. Photodegradation of polyethylenes: comparative effect of Fe and Ca-stereates as pro-oxidant additives. **Polym Degrad Stab**, v. 95, n. 10, p. 2057-2064, 2010.

PAIVA, J. N.; BRAGA, R. S. S.; SANTANA, J. A. S.; CANTO, J. L. Crescimento e sobrevivência de *Genipa americana* L. no município de Macaíba (Rio Grande do Norte – Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 88-93, 2019.

PATHAK, V. M. Review on the current status of polymer degradation: A microbial approach. **Bioresour and Bioprocess**, 2017, n. 4, v. 15, p. 1-17, 2017.

PATWARY, F.; MITTAL, V. Degradable polyethylene nanocomposites with silica, silicate and thermally reduced graphene using oxo-degradable pro-oxidant. **Helyion**, v. 1, n. 4, p. 1-21, 2015.

PEIXOTO, J., SILVA, L. P., KRUGER, R. H. Brazilian Cerrado soil reveals an untapped microbial potential for unpretreated polyethylene biodegradation. **Journal of Hazardous Materials**, n. 324, p. 634-644, 2017.

PLASTICS EUROPE-ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS. **Plastics** — The Facts 2017. Disponível em: <https://www.issueelab.org/resource/plastics-the-facts-2017-an-analysis-of-european-plastics-production-demand-and-waste-data.html>. Acesso em: 05/04/2022.

PUÉRTOLAS, J.; JACOBS, D. F.; BENITO, L. F.; PEÑUELAS, J. L. Cost-benefit analysis of different container capacities and fertilization regimes in *Pinus* stock-type production for forest restoration in dry Mediterranean areas. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 210-215, 2012.

RASSIAH, K.; MEGAT AHMAD, M. M. H. M.; ALI, A. Effect on mechanical properties of rice husk/E-glass polypropylene hybrid composites using sodium hydroxide (NaOH). **J. Adv. Technol. Eng. Res.**, v. 14, n. 1, p. 10779-10792, 2016.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 73, p. 27-36, 2013.

RODRIGUES, A. B. M.; GIULIATTI, N. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Braz. Ap. Sci. Rev.** v. 4, n. 1, p.333-369, 2020.

SABLE, S.; MANDAL, D. K.; AHUJA, S.; BHUNIA, H. Biodegradation kinetic modeling of oxo-biodegradable polypropylene/poly lactide/nanoclay blends and composites under controlled composting conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 1, n.1, p. 1-11, 2019.

SAHU, A.K.; SUDHAKAR, K. Effect of UV exposure on bimodal HDPE floats for floating solar application. **Journal of materials research and technology**, v. 1, n. 1, pp. 10-22, 2017.

SCHEER, M. B. et al. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Revista Floresta**, v. 47, n. 3, p. 279-287, 2017.

SHUBBAR, S. D. A. Experimental Investigation of Rice Husk Particles as Filler in Hybrid Composites. **Engineering Sciences**, v. 26, n. 4, p. 307-315, 2018.

SILVA, A. V. C.; FREIRE, K. C. S.; LÉDO, A. S.; RABBANI, A. R. C. Diversity and genetic structure of jenipapo (*Genipa americana* L.) Brazilian accessions. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 387-393, 2014.

SILVA, A. V. C.; LEDO, A. S.; MELO, M. FV. *Genipa americana*-Jenipapo. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro**: região Nordeste. Brasília, DF: MMA, 2018. cap 5, p.169-176.

SILVA, M. M.; SILVA, V. J.; RODRIGUES, M. G. F. Caracterização da cinza da casca de arroz visando sua aplicação na adsorção de poluentes orgânicos. In: **Anais do 2º Congresso Químico do Brasil**, 2012.

SOUSA JÚNIOR, D. L.; BENJAMIM, I. M. S.; TEOTÔNIO, L. E. O.; GONÇALVES, F. J.; SALVIANO, C. M. T.; LEANDRO, R. C.; LOPES, M. J. P.; AQUINO, P. E. A.; LEITE, N. F. Efeito antimicrobiano e modulador do extrato hidroalcoólico de *Genipa americana* (Jenipapo). **Revista Saúde**, v. 45, n. 1, p. 1-7, 2019.

SOUSA, L. A.; BOUTISTA, H. P.; JARDIM, J. G. Diversidade florística de Rubiaceae na Serra da Fumaça – complexo de Serras da Jacobina, Bahia, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 3, p. 289-314, 2013.

SPADA, G.; UESUGI, G.; SILVA, R. B.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas de Pau-d'álho sob diferentes doses e frequências de aplicação de nutrientes. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, 2019, p. 121-132.

STEPCZYNSKA, M.; RYTLEWSKI, P. Enzymatic degradation of flax-fibers reinforced poly lactide. **Int. Biodeterior. Biodegrad.**, v. 126, n. 1, p. 160-166, 2018.

TONG, J. Y.; ROYAN, N. R. R.; NG, Y. C. et al. Study of the Mechanical and Morphology Properties of Recycled HDPE Composite Using Rice Husk Filler. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 1, p. 1-7, 2014.

VARIAN, I.; KOLESNIKOVA, N.; XU, H.; TYUBAEVA, P.; POPOV, A. Biodegradability of polyolefin-based compositions: effect of natural rubber. **Polymers**, v. 14, n. 3, p. 1-15, 2022.

VAZQUEZ, M. A.; CABRERA, E. C. V.; ACEVES, M. A.; MALLOL, J. L. F. Cellulolytic and ligninolytic potential of new strains of fungi for the conversion of fibrous substrates. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, n. 1, p. 177-186, 2019.

VIEIRA, A. C. C.; TERRA, D. L. C. V.; FONSECA, E. F.; SOUZA, P. B. Utilização de resíduos agroindustriais na produção de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão). **Magistra**, v. 30, p. 86-93, 2019.

VIVI, V. K. Biodegradação de Filmes PVC e PCL por Fungos Filamentosos. 2011. 103 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

WEI, R.; ZIMMERMANN, W. Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we? **Microb. Biotechnol.**, v. 10, p. 1308-1322, 2017.

WHITE, T.J.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: **PCR protocols a guide to methods and applications**, 315–322. Academic Press, San Diego. 1990.

YUAN, J.; MA, J.; SUN, Y.; ZHOU, T.; ZHAO, Y.; YU, F. Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. **Sci. Total Environ.**, v. 715, 136968, 2020.

ZURIER, H. S.; GODDARD, J. M. Biodegradation of microplastics in food and agriculture. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, p. 37-44, 2021.

SOBRE O AUTOR

Cristiano Cunha Costa

Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Sergipe (2008), mestrado em Agroecossistemas pela Universidade Federal de Sergipe (2011) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Sergipe (2018). Especialista em Educação Ambiental em Espaços Educadores Sustentáveis, Gestão Ambiental, Educação Ambiental e Recursos Hídricos. Pós-Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em área socioambiental, atuando, principalmente, na área de educação e percepção ambiental; e na área da Engenharia de Materiais com ênfase em materiais poliméricos, atuando, principalmente, com compósitos biodegradáveis. Além disso, é autor dos livros *Natureza & Conservação* (2021); *Estudos em percepção ambiental: como o meio ambiente é percebido* (2019) e *Percepção ambiental em unidades de conservação* (2013).

www.pimentacultural.com

Tubetes BIODEGRADÁVEIS no Setor Florestal