

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**TUBETES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS A PARTIR DO
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE
MADEIRA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Ângela Macedo Moreira
Engenheira Florestal**

**FRUTAL-MG
2023**

ÂNGELA MACEDO MOREIRA

**TUBETES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS A PARTIR DO
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE
MADEIRA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora
Dra. Stefânia Lima Oliveira Metzker

**FRUTAL-MG
2023**

M838t Moreira, Angela Macedo
Tubetes biodegradáveis produzidos a partir do
reaproveitamento de resíduos de serragem de madeira e
bagaço de cana-de-açúcar / Angela Macedo Moreira. –
Frutal. – 2023.
71 f. : il., gráf., tab.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado
de Minas Gerais - Unidade Frutal, 2023.
Orientadora: Stefânia Lima Oliveira Metzker.

1. Biopolímeros. 2. Resíduos vegetais. 3. Recipientes. 4.
Resíduos da agroindústria. 5. Plantio. I. Metzker, Stefânia
Lima Oliveira. II. Universidade do Estado de Minas Gerais
- Unidade Frutal. III. Título.

CDU 636.084.4

Catálogo na fonte

Bibliotecária: Gesiane Patrícia de Souza CRB-6/1894



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Universidade do Estado de Minas Gerais

Coordenação de Pós Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais UEMG Frutal

Declaração - UEMG/FRUTAL/MESTRADOCA - 2023

Belo Horizonte, 13 de dezembro de 2023.

ANGELA MACEDO MOREIRA

TUBETES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE MADEIRA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Tecnologia, Ambiente e Sociedade, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31/08/2023

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes - UFLA -Lavras -MG

Prof. Dr. Gustavo Henrique Gravatim Costa -UEMG- Frutal-MG

PROFª DRª STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA METZKER

ORIENTADORA



Documento assinado eletronicamente por Stefânia Lima Oliveira, Professora de Educação Superior, em 13/12/2023, às 17:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por RAFAEL FARINASSI MENDES, Usuário Externo, em 14/12/2023, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por Gustavo Henrique Gravatim Costa, Professor de Educação Superior, em 14/12/2023, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 78763403 e o código CRC C0BDFC7E.

*“O Senhor estabeleceu o seu trono nos céus,
e como rei domina sobre tudo o que existe.”*

(Salmos 103:19)

AGRADECIMENTOS

A Deus, suprema força deste universo pelo milagre da vida, a Jesus Cristo pelo prazer de segui-lo e ao Espírito Santo pela paz e amor que excedem todo entendimento.

A minha mãe Nelci pelo amor, apoio incondicional, amizade e parceria.

A minha tia Josy pelo apoio e carinho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, pelo aprendizado e oportunidade concedida.

A minha orientadora professora Dra. Stefânia por todo apoio, paciência, generosidade, ensinamentos e incentivo.

Aos professores Drs. Gustavo, Rodrigo, Alan, pela compreensão, apoio, orientação.

Ao professor Me. Divino Levi da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia por todo apoio, incentivo e ensinamentos.

Ao professor Dr. Rafael da Universidade Federal de Lavras pela generosidade e apoio.

A familiares e amigos.

Aos integrantes do laboratório de química do solo da UESB por toda a ajuda.

A Universidade Estado de Minas Gerais por ter me recebido e pela bolsa de estudos fornecida (PROBPG – UEMG).

RESUMO

O gerenciamento e a reciclagem adequada de resíduos ainda se mantem como um desafio ambiental. Frente a isso, os resíduos vegetais têm ganhado cada vez mais espaço devido a sua melhor biodegradabilidade e disponibilidade, além de uma oportunidade para a agroindústria reaproveitar os seus resíduos e produzir novos produtos, e ao mesmo tempo, em diminuir a utilização de materiais de origem não renovável como o plástico. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver tubetes biodegradáveis e caracterizá-los quanto as suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e de biodegradação. Os tubetes foram fabricados a partir de resíduos de serragem de madeira e bagaço de cana, utilizando diferentes granulometrias de partículas adicionadas a uma matriz polimérica de amido de milho e glicerol como plastificantes. Fatores como densidade, tipo e granulometrias de partículas foram fatores que influenciaram as propriedades químicas e mecânicas do material do material compósito. Partículas lignocelulósicas com baixa densidade, como o bagaço de cana, possuem uma capacidade de absorção alta de água, o que favorece o processo de biodegradação, contudo, tem sua resistência estrutural e mecânica diminuídas, principalmente na formulação com 100% desse material como reforço, o que compromete o uso dos tubetes. Todas as formulações utilizadas para os tubetes caracterizam-se como materiais capazes de se degradar no solo. A maioria das formulações é classificada como plantáveis, como BC, (BC-MA-GR3), (BC-MA-GR2), (MA-GR3), (BC-MA-GR2), o que permite o plantio desses tubetes com a muda no solo. O tubete (MA-GR2) contendo resíduo de madeira, apresentou uma degradação mais lenta se comparada com as demais, esse material requer um tempo superior a 60 dias para completa degradação, portanto recomenda-se que após o plantio o tubete seja descartado em sistema de compostagem para acelerar o processo biodegradativo. Contudo essa característica não impede o seu uso para o plantio de mudas, pois dentre os testados esse material oferece uma resistência mecânica maior o que demonstra uma melhor durabilidade. Dentre as formulações que combinam bagaço de cana e madeira a que apresentou melhores resultados foi a (BC-MA-GR3) com granulometria de (0,5 – 2,5mm) por atenderem melhor os parâmetros de resistência física, leveza, boa capacidade de reter água e melhor biodegradação, podendo ser plantado diretamente com a muda no solo.

Palavras-chave: Biopolímeros. Resíduos vegetais. Recipientes. Resíduos da agroindústria. Plantio.

BIODEGRADABLE TUBES PRODUCED FROM THE REUSE OF WASTE WOOD SAWING AND SUGAR CANE BAGASSA

ABSTRACT

ABSTRACT

Proper waste management and recycling still remains an environmental challenge. In view of this, plant residues have gained more and more space due to their better biodegradability and availability, as well as an opportunity for the agroindustry to reuse their waste and produce new products and at the same time, to reduce the use of non-productive materials. renewable like plastic. The present work aims to develop biodegradable tubes and characterize them in terms of their physical, chemical, mechanical and biodegradation properties. The tubes were manufactured from waste wood sawdust and sugarcane bagasse, using different particle sizes added to a polymeric matrix of corn starch and glycerol as plasticizers. Factors such as density, type and particle size were factors that influenced the chemical and mechanical properties of the composite material. Lignocellulosic particles with low density, such as sugarcane bagasse, have a high-water absorption capacity, which favors the biodegradation process, however, their structural and mechanical resistance is reduced, especially in the formulation with 100% of this material as reinforcement, which compromises the use of tubes. All formulations used for the tubes are characterized as materials capable of degrading in the soil. Most formulations are classified as plantable, such as BC, (BC-MA-GR3), (BC-MA-GR2), (MA-GR3), (BC-MA-GR2), which allows the planting of these tubes with the seedling in the soil. The tube (MA-GR2) containing wood residue showed slower degradation compared to the others, this material requires more than 60 days for complete degradation, therefore it is recommended that after planting the tube is discarded in a system composting to accelerate the biodegradation process. However, this characteristic doesn't prevent its use for planting seedlings, as among those tested, this material offers greater mechanical resistance, which demonstrates better durability. Among the formulations that combine sugarcane bagasse and wood, the one that presented the best results was (BC-MA-GR3) with a granulometry of (0.5 – 2.5mm) as it better meets the parameters of physical resistance, lightness, good capacity for retain water and better biodegradation, and can be planted directly with the seedling in the soil.

Keywords: Biopolymers. Vegetable wastes. Containers. Waste from agroindustry. Planting.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1.INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1. Resíduos florestais	16
4.4. Biopolímeros	22
4.5. Plastificantes	24
4.6. Tubetes biodegradáveis	25
4.7. Biodegradação	27
5. MATERIAL E MÉTODOS	28
5.1. Coleta e peneiramento dos resíduos de serragem de madeira	28
5.2. Coleta e peneiramento do bagaço da cana de açúcar	29
5.3. Caracterização das propriedades tecnológicas dos resíduos: partículas de serragem de madeira e bagaço da cana de açúcar	29
5.3.1. Propriedade física: Teor de umidade	30
5.3.2. Propriedade física: Densidade	30
5.3.3. Composição química elementar (CHN) das partículas de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar	31
5.4. Massa adesiva de biopolímero	31
5.5. Formação do material compósito e moldagem	32
5.6. Características físicas	33
5.6.1. Densidade aparente dos corpos de prova	33
5.6.2. Teste de absorção de água	34
5.6.3. Teste de Solubilidade em água	34
5.7. Teste de biodegradação: enterramento dos tubetes em solo e monitoramento	34
5.8. Ensaio mecânico	36
5.9. Delineamento experimental e análise estatística	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1. Propriedades físicas das fibras de madeira e bagaço de cana: Teor de umidade	38
6.2. Propriedades físicas: Densidade a granel das fibras e densidade aparente dos corpos de prova	39
6.3. Produção de tubetes biodegradáveis	41

6.4. Absorção de água e solubilidade (%) pelos tubetes	43
6.5. Análise química elementar.....	47
6.6. Ensaio mecânico de flexão estática.....	48
6.7. Ensaio mecânico de Tração	51
6.8. Teste de biodegradação: enterramento dos tubetes em solo e monitoramento	52
7. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma com a classificação dos materiais compósitos.	21
Figura 2 – Tipos de compósitos reforçados com partículas (a) Partículas grandes (b) Reforçados por Dispersão.	22
Figura 3 – Resíduos de serragem de madeira coletados e peneirados, sendo:	29
Figura 4 – Partículas do bagaço de cana peneiradas para compor o material de reforço dos tubetes	29
Figura 5 – Moldes utilizados para a fabricação dos tubetes e dimensões após moldagem.....	33
Figura 6 – Teste de biodegradação dos tubetes em substrato	35
Figura 7 – Corpos de prova para teste de resistência à tração e à flexão.	36
Figura 8 – Tubetes biodegradáveis a partir de resíduos de serragem de madeira e bagaço de cana	42
Figura 9 – Rachaduras nos tubetes dos tratamentos 4 e 5.....	42
Figura 10 – Tubetes antes e após o enterramento no período de 60 dias	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso tradicional dos resíduos de madeira no Brasil.....	17
Tabela 2 – Barreiras de sustentabilidade da indústria de cana – de – açúcar e aplicação dos 10R da agenda 2030 para sustentabilidade, para destinação adequada dos resíduos.	19
Tabela 3 – Tratamentos utilizados para fabricação dos tubetes biodegradáveis	32
Tabela 4 – Descrição do composto orgânico utilizado no substrato dos vasos.....	35
Tabela 5 – Teor médio e desvio padrão da umidade (%) do bagaço da cana de açúcar	38
Tabela 6 – Biodegradação por perda de massa dos tubetes em 30 e 60 dias.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Densidade a granel (D_g) média e desvio padrão das partículas lignocelulósicas.	40
Gráfico 2 – Densidade aparente (D_a) dos corpos de prova para teste de tração e flexão.	41
Gráfico 3 – Testes de absorção de água pelos tubetes por 24h.	44
Gráfico 4 – Testes de absorção e solubilidade dos tubetes em água por 24h	46
Gráfico 5 – (a) Valores médios do MOE (b) MOR obtidos à flexão estática.	49
Gráfico 6 – Resistência a tração (MPa) dos corpos de prova das formulações testadas.	51

1. INTRODUÇÃO

A cadeia agroindustrial brasileira gera cerca de 291 milhões/toneladas/ano de resíduos, que, se destinados de forma inadequada, poderão originar riscos sociais e ambientais. Há uma necessidade crescente da utilização de matérias-primas alternativas em substituição às provenientes de recursos fósseis na indústria brasileira. Os materiais renováveis desempenham um papel importante na sustentabilidade dos ecossistemas e na circularidade dos materiais que trazem a importância das aplicações potenciais de desenvolvimento de agrofibras de base biológica (Siqueira *et al.*, 2022).

Dentre esses destaca-se a cana-de-açúcar que ocupa posição de destaque pelo Brasil com 40% da produção mundial, tal combinação permitiu ao país ser o primeiro a utilizar grandes volumes de biocombustíveis em sua matriz energética. O desafio agora é manter a produção sustentável e, ao mesmo tempo, aumentar e manter os rendimentos dentro dos limites dos recursos do solo, da água, da atmosfera e da biodiversidade, ações têm sido tomadas para incentivar o uso de práticas mais conservacionistas desde o plantio até a colheita, e uma maior reciclagem de resíduos (Rossetto *et al.*, 2022).

O setor produtivo de madeira também é outra fonte geradora de resíduos em todas as suas etapas produtivas, desde o plantio, até as consecutivas transformações que dão origem ao produto final. Devido ao alto volume de resíduos, torna-se indispensável introduzir uma logística reversa para que esses materiais sejam reinseridos no ciclo econômico da madeira (Silva *et al.*, 2018). Esse tipo de produção, fomentado pela demanda de matéria-prima, eleva a geração de resíduos oriundos do processo de transformação mecânica da madeira bruta. Dados da Indústria Brasileira de Árvores (Ibá, 2019) apontam que, em 2018, o setor gerou 52,0 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que, desse total, 36,9 milhões (71%) foram gerados pelas atividades florestais e 15,1 milhões (29,1%) pelas operações industriais.

Boa parte dos resíduos de madeira se originam devido a necessidade de eliminação dos “defeitos” encontrados na matéria-prima (Soares *et al.*, 2012). Do mesmo modo, problemas operacionais, referente aos maquinários obsoletos, juntamente com o desperdício gerados no processamento primário, são algumas das grandes fontes produtoras de resíduos das indústrias de base florestal (Minillo, 2017).

Ao mesmo tempo, para suprir essa grande demanda de madeira, os grandes plantios florestais, habitualmente, utilizam tubetes, bandejas ou sacos de materiais poliméricos de origem não renovável, como o plástico, sem descarte inadequado e

utilizados em larga escala e, como resultado, se tem uma nova fonte poluidora, no qual o plástico de origem petrolífera constituído nas embalagens leva séculos para se degradar (Haase *et al.*, 2021).

Uma das abordagens sustentáveis de gestão desses resíduos é utilizá-los no desenvolvimento de biocompósitos, que são materiais ecológicos devido à sua sustentabilidade e benefícios ambientais e possuem propriedades de desempenho comparáveis às dos equivalentes sintéticos, podendo ser desenvolvidos a partir de resíduos renováveis e industriais, tornando-os eficientes e sustentáveis devido ao seu baixo peso e alta resistência (Das *et al.*, 2022).

Em comparação a esses recipientes tradicionais, os tubetes biodegradáveis se mostram substitutos eficientes, uma vez que, podem diminuir custos com a mão de obra e materiais, tanto no viveiro, quanto no campo, e sem a obrigatoriedade de retirada das mudas antes do plantio, de modo que, o viveiro tem uma menor geração de resíduos. Contudo, ainda requer adaptações ao tempo de produção e condições de manejo que cada espécie necessita (Wendling; Dutra; 2017).

Os recipientes biodegradáveis que utilizam resíduos de fibras vegetais são favoráveis a produção de compósitos poliméricos devido a sua abundância, baixo custo, baixa densidade, facilidade de obtenção e manuseio, baixa abrasão de equipamentos e moldes, biodegradabilidade e renovabilidade (Venkatarajan; Athijayaman, 2021). Esses materiais, geralmente, são mais baratos e, muitas vezes, podem ser obtidos do aproveitamento de resíduos fabris, como a serragem, que é um subproduto da indústria madeireira (Lauxen, 2021).

Resíduos que oferecem essas características possuem potencial para serem transformados em novos produtos e, possibilitam a diminuição por fontes não renováveis de matéria-prima, principalmente, na produção de recipientes de plantios para mudas, onde é observado o uso de plástico em sua composição.

Frente a isso, o presente trabalho teve como objetivo de propor uma fonte alternativa de reaproveitamento de resíduos, na confecção de tubetes biodegradáveis, utilizando materiais como resíduos da serragem de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar, em uma matriz polimérica de amido de milho e glicerol como plastificantes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Desenvolver tubetes biodegradáveis, como forma alternativa de reaproveitamento de resíduos, utilizando materiais provenientes da serragem de madeira e da moagem do bagaço de cana-de-açúcar, em uma matriz polimérica de amido de milho e glicerol como plastificantes.

2.2. Objetivos específicos

- Desenvolver tubetes biodegradáveis, utilizando diferentes granulometrias de resíduos de madeira serrada e bagaço de cana, amido de milho e glicerol, comparando com uma formulação controle com bagaço de cana-de-açúcar como reforço, bem como a mistura dessas fibras com as de madeira;
- Identificar as propriedades tecnológicas: físicas e químicas, das fibras de madeira e bagaço de cana, e das mecânicas dos tubetes, para avaliar o seu potencial de uso para o plantio de mudas florestais;
- Determinar a durabilidade e a capacidade de biodegradação do material compósito dos tubetes;
- Identificar proporções de equilíbrio entre material de reforço e matriz, para obter melhor qualidade, resistência, aparência e eficiência dos tubetes biodegradáveis.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Resíduos florestais

Os resíduos sólidos são definidos, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, artigo 3º inciso XVI, como:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010).

De acordo com a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados como: a) resíduos classe I - Perigosos; b) resíduos classe II – Não perigosos; Resíduos classe II A – Não inertes; Resíduos classe II B – Inertes.

Essa classificação inclui o processo ou atividade, com objetivo de identificar os seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Resíduos de madeira também estão incluídos nessa classificação, sendo identificados como resíduos II A (não perigosos), com biodegradabilidade e combustibilidade como características a serem observadas (ABNT 2004).

Dentre estes, destaca-se a serragem, que é o resíduo obtido nos processos de corte e usinagem das peças de madeira (desdobro primário e secundário). Estes materiais podem causar impactos ambientais, pois são combustíveis e possuem alta biodegradabilidade, ocasionando problemas quando estiverem estocados de maneira inadequada, próximos a aglomerações urbanas (Wildner, 2015).

A serragem é, particularmente, aquele resíduo que tem maior rigor da fiscalização ambiental, por sua fácil disseminação pelo vento. Mesmo assim, pelas dificuldades em encontrar-lhe uma utilidade, muitas serrarias, mesmo ilegalmente, ainda realizam a queima e deposição irregular dos resíduos (Fagundes, 2003). A destinação errônea da serragem causa impactos sobre o meio físico, biológico e socioeconômico (Preilipper *et al.*, 2016).

Segundo Fontes (1994), de acordo com suas características morfológicas, os resíduos da indústria de serragem de madeira são classificados como: cavacos - partículas

com dimensões máximas de 50 × 20 mm, em geral, provenientes do uso de picadores; maravalhas - resíduo com menos de 2,5 mm; serragem - partículas de madeira com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, provenientes do uso de serras; pó - resíduos menores que 0,5 mm; lenha - resíduos de maiores dimensões, compostos por costaneiras, aparas e resíduo de topo de tora. De acordo com Dobrovolski (1999), os resíduos de madeira também podem ser identificados com o nome de cepilho que é um resíduo encontrado geralmente em indústrias beneficiadoras da madeira como, por exemplo, a indústria de móveis, gerado pelo processamento em plainas.

Araújo *et al.* (2019) descrevem que a cadeia produtiva de madeira serrada explora seus recursos de forma demasiada, especialmente, as florestas nativas, tanto na aquisição, como no descarte. O resíduo é inevitável, e o desperdício de matéria-prima é o principal fator dessa problemática. No Brasil, esses resíduos, tradicionalmente, são aproveitados na forma de adubo, cama de frango, carvão, combustíveis, energia elétrica, energia térmica, extração de óleos, resinas, como reforço para madeira reconstituída, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Uso tradicional dos resíduos de madeira no Brasil

Uso	Resíduo	Descrição
Adubo	Serragem em geral e madeira sólida picada.	Usada in natura ou após etapas de compostagem para proteção do solo e como adubo no processo de compostagem. Inclui a cama de frango usada.
Cama de galinha	Serragem em geral.	Serragem macia para contato com animais. Após o uso, a serragem suja com dejetos pode servir de adubo.
Carvão e combustíveis	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos.	Processos industriais para produção de carvão, álcool, metanol e gás combustível.
Energia elétrica	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos. Briquetes de serragem prensada.	Usado como lenha em usinas termoeletricas para obtenção de energia elétricas. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera.
Energia térmica	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos (briquetes de serragem prensada).	Queima para obtenção de calor. Usado em fornos de padarias, pizzaria, olarias e em caldeiras industriais. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera.
Extração de óleos e resinas	Serragem em geral.	Extração industrial de óleos e resinas para uso como combustível e resinas plásticas, colas e essências.
Madeira reconstituída	Serragem em geral.	Fabricação de chapas de madeira reconstituída.

Fonte: Araújo *et al.*, (2019).

O último relatório do IBA (2020) aponta que, o uso de resíduos como matéria-prima para fabricação de novos produtos, agrega valor, além de criar oportunidades por meio da inovação, reduzindo a pressão por novos recursos e estimula o

empreendedorismo. No setor industrial, destaca-se a destinação de resíduos de origem biogênica para a cogeração de energia, que gera ganhos econômicos, sociais e ambientais para indústria e a outras esferas da economia. No ano de 2020, 57,2% dos resíduos industriais e florestais de origem biogênica foram destinados para geração de energia renovável. O setor tem um histórico bastante positivo em logística reversa, visando à redução de resíduos secos recicláveis nos aterros sanitários, com fortes investimentos em práticas sustentáveis, algo que impacta toda a cadeia produtiva.

4.2. Resíduos da indústria canavieira

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2023), o Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, a produção dessa cultura, deve chegar a 652,9 milhões de toneladas na safra 2023/24, com uma produtividade acima de 78mil kg/ha, com 42,1 milhões de toneladas colhidas a mais que na temporada passada e esse incremento é esperado devido à melhora no desempenho das lavouras.

A indústria canavieira inclui muitas possibilidades, a começar pelo fato de a cana-de-açúcar ser fonte de energia para o homem e para a produção de biocombustíveis por diferentes vias. A partir do que se faz hoje, com a produção de açúcar e etanol a partir do caldo, e de energia elétrica a partir do bagaço, muitas outras possibilidades se abrem para o futuro com a produção de etanol de segunda geração com mais energia elétrica, aumentando a cogeração nas suas centrais, o biogás, assim aproveitando (Palacios-Bereche *et al.*, 2022).

Aguilar-Rivera (2022) em um estudo sobre os quadros de sustentabilidade, indicadores, restrições e barreiras enfrentadas pela indústria canavieira para alcançar a sustentabilidade os principais desafios estão em: medir os objetivos da (Economia circular) EC em todas as dimensões da sustentabilidade, (2) avaliar a escassez de materiais usados, e (3) sub-representar as complexidades de múltiplos ciclos (multifuncionalidade) e as consequências do downcycling de materiais. A EC baseia-se no triplo P (Pessoas, Planeta, Prosperidade) como base analítica para analisar as trocas imperativas existentes dos 10-R além do fornecimento de recursos e da geração de resíduos, para avaliar os processos sociais e ambientais são definidos pela tabela abaixo:

Tabela 2 – Barreiras de sustentabilidade da indústria de cana-de-açúcar e aplicação dos 10R da agenda 2030 para sustentabilidade, para destinação adequada dos resíduos

Princípio	Medida	Proposta de destinação adequada
R1	(R0: Recuso)	(diversificar a sacarose em qualidade e apresentações ao mercado como granulada, sólida e líquida)
R2	(R1: Reduzir)	(aumentar o uso de subprodutos regionais para fertilização e recuperação de solo de cana).
R3	(R2: Revenda, Reutilização)	(aumentar o uso de lama de filtro, vinhaça e melaço na usina).
R4	(R3: Reparo)	(Evitar através de reparo e manutenção correta do vazamento de vapor, perda de água, sacarose e otimização de insumos).
R5	(R4: Remodelar Referente)	(aumentar a produção de açúcar não centrifugado com novas opções como o granulado orgânico e combinar sua produção com o ecoturismo e bioprodutos como aguardente, xarope, papel artesanal de cana-de-açúcar, etc.).
R6	(R5: Remanufatura)	(compostagem combinada de resíduo e lama de filtro para recuperação do solo e redução de fertilizantes químicos).
R7	(R6: Reaproveitamento)	(utilizar sacarose não vendida para mercados na produção de açúcar líquido ou sucroquímica).
R8	(R7: Reciclagem)	(aproveitar o bagaço para produção de briquetes e pellets com finalidade energética facilitando armazenamento e transporte).
R9	(R8: Recuperação)	(aproveitamento de resíduo na alimentação do gado, produção de energia ou compostagem para recuperação de nutrientes, fibras e componentes químicos).
R10	(R9: Repensar)	(uso de colmos de cana, palha, sacarose, bagaço, lama de filtro, melaço, vinhaça, cinzas, etc., em biorrefinarias para alimentos, rações, biocombustíveis, bioquímicos, biomateriais, farmacêuticos, bioplásticos, etc., incorporando novas abordagens e tecnologias emergentes na Indústria 4.0 e na Agricultura 5.0)

Fonte: Aguilar-Rivera (2022)

Na prática, a maioria das indústrias do setor sucroenergético utilizam atualmente resíduos de melaço como recurso para a produção de bioetanol, além do melaço, outros resíduos como bagaço, lama de prensagem, água de lavagem e vinhaça também são descartados nas diversas etapas do processamento do açúcar, esses resíduos podem ser

utilizados por vários processos biológicos e químicos para a síntese de múltiplos produtos, como por exemplo, celulose microcristalina (CMC), celulose nanocristalina (CNN), xilitol, hidrogênio, metano, hifano, fertilizantes fosfatados (estruvita) (Katakojwala *et al.*, 2019).

Madhu *et al.* (2023) define o bagaço de cana como uma biomassa de valor agregado proveniente de resíduos agrícolas obtidos no processamento da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) dessa forma vários pesquisadores têm conectado o bagaço de cana para muitas aplicações de sustentabilidade ambiental e energética devido à sua disponibilidade abundante. O bagaço da cana-de-açúcar é uma fonte rica em celulose (32–45%), hemicelulose (20–32%) e lignina (17–32%), 1,0–9,0% de cinzas e alguns extrativos. A enorme quantidade de geração desse resíduo tem sido um grande desafio para as indústrias e o meio ambiente em nível global há muitos anos (Kumar *et al.*, 2021).

O alto teor de celulose no bagaço de cana é bastante atrativo na fabricação de materiais compósitos devido à abundância de matéria-prima e ao baixo custo de processamento, por suas características, esses compósitos apresentam vantagens de serem mais flexíveis, de alta resistência, alta resistência à tração, fáceis de moldar e ajustar, além de serem mais baratos o que torna seu uso útil na fabricação de materiais ecologicamente corretos (Kusuma *et al.*, 2023). Entre os resíduos agrícolas, o bagaço de cana-de-açúcar tem se destacado devido ao fato de sua composição química mostrar similaridade com a de madeiras macias, de baixa densidade (Silva *et al.*, 2018).

A grande produção desses resíduos também permite amplas alternativas de recuperação, como bagaço e a palha da cana que, geralmente, são queimados nas usinas para produzir calor e energia. Esses excedentes podem ser utilizados em outras aplicações, por exemplo, como reforço em materiais compósitos (Luz *et al.*, 2006). O desenvolvimento de novas alternativas de reaproveitamento amplia as opções de agregação de valor, contribuindo para a redução dos impactos negativos gerados ao ambiente (Vallejos *et al.*, 2015).

4.3. Compósitos

Os materiais compósitos são estruturas que existem desde os tempos remotos. Registros do surgimento desses materiais remontam a civilização egípcia, com a introdução de uma estrutura, denominada de contraplacado, e a utilização de um

composto de palha com lama, para o reforço de tijolos, e na construção de sarcófagos (Badr *et al.*, 2018).

Os materiais biocompósitos têm uma função significativa na preservação do meio ambiente, substituindo materiais plásticos artificiais por substâncias naturais. Eles foram inscritos em muitas aplicações, como habitação, componentes de motores automotivos, produtos aeroespaciais e militares, componentes eletrônicos e de placas de circuito e equipamentos de petróleo e gás. Portanto, estudos contínuos têm sido empregados para melhorar suas propriedades mecânicas, térmicas e físicas (Mohammed *et al.*, 2022).

Para formar um compósito, é preciso introduzir duas ou mais fases com componentes distintos entre si, conhecido como fase matriz e, a outra, fase reforço ou carga, com composições, estruturas e propriedades singulares, separadas por uma interface entre os diferentes materiais (Dias *et al.*, 2019).

Os materiais compósitos conforme Singh (2022) também podem ser classificados em quatro categorias tendo como base o tipo de: matriz, reforço, escala, (compósitos naturais), como mostra a figura 1.

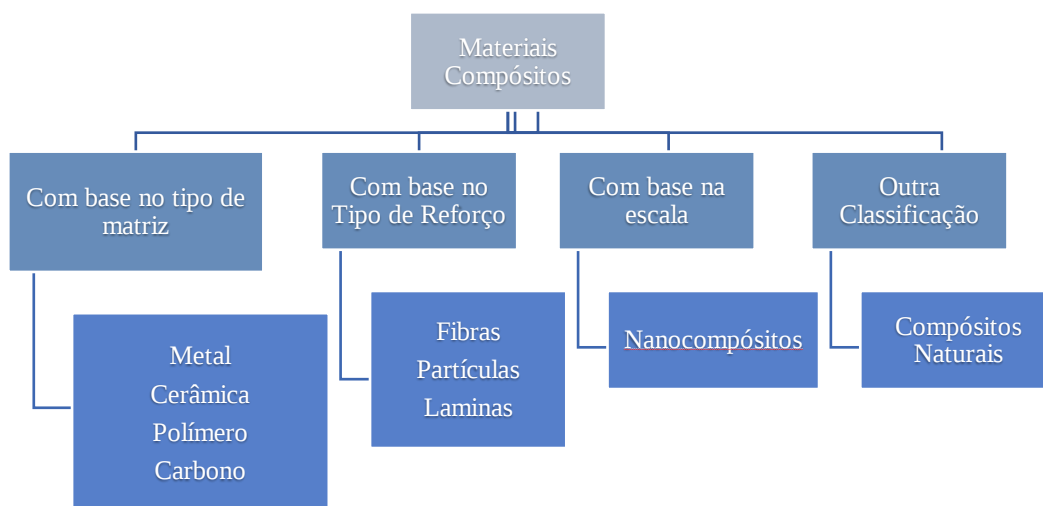


Figura 1 – Fluxograma com a classificação dos materiais compósitos.
Fonte: Singh (2022)

Egbo (2021) descreve que no caso de compósitos reforçados com partículas, estes podem ser classificados como compósitos com partículas grandes e compósitos reforçados por dispersão. No primeiro caso Figura 2 (a), as partículas grandes, com tamanhos milimétricos ou mais, são os principais portadores de carga e tendem a restringir a deformação da matriz em torno de suas superfícies compartilhadas e os compósitos de reforço de dispersão figura 2 (b), por outro lado, fazem uso de nanômetros partículas de tamanho grande e a matriz suporta a maior parte da carga quando submetida

a uma tensão mecânica. O mecanismo de fortalecimento neste caso acontece em nível atômico e envolve a obstrução da propagação das linhas de discordância ao longo da matriz pelas partículas dispersas.

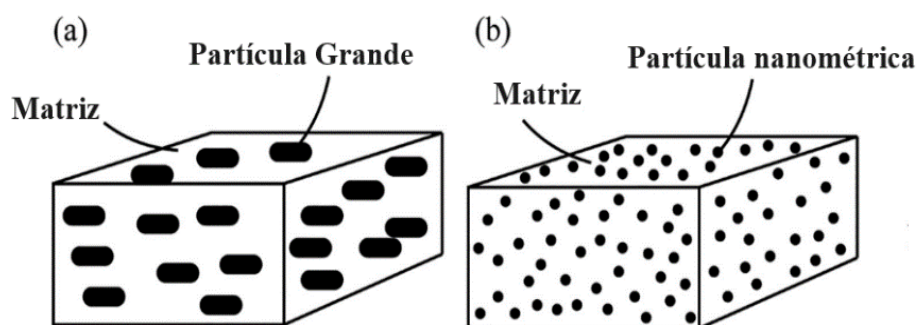


Figura 2 – Tipos de compósitos reforçados com partículas (a) Partículas grandes (b) Reforçados por Dispersão.

Fonte: Egbo, 2021

As partículas podem ter uma grande variedade de geometrias, porém elas devem possuir aproximadamente as mesmas dimensões em todas as direções (eixos iguais). Para que ocorra um reforço eficaz, as partículas devem ser pequenas e devem estar distribuídas por igual ao longo da matriz, além disso a fração volumétrica das duas fases influencia o comportamento e as propriedades mecânicas são melhoradas com o aumento do teor do material particulado (Callister Jr, 2002).

O desenvolvimento de compósitos poliméricos, reforçados com materiais vegetais, tem recebido grande destaque como tecnologia alternativa para o processamento de novos materiais, que proporcionem um menor impacto ambiental (Wearn; Montagna; Passador, 2020). As fibras vegetais lignocelulósicas oferecem uma alta relação resistência/peso, são porosas, não são abrasivas, possuem viscoelasticidade, são biodegradáveis, além de serem obtidas de fontes renováveis (Knuth *et al.*, 2017).

4.4. Biopolímeros

A cada dia, a geração e o descarte de polímeros sintéticos vão chegando a níveis insustentáveis em todo mundo, causando graves questões ambientais e econômicas. Soluções sustentáveis vêm surgindo para substituir o plástico de origem fóssil por fontes renováveis (Hong; Chen, 2019). De acordo com o relatório do Fórum Econômico Mundial em parceria com a Ellen MacArthur Foundation (2017), a previsão é que, até 2050, essa produção global de plásticos ultrapassará os 500 milhões de toneladas. A

produção crescente, combinada com o rápido descarte, leva à previsão de que, até 2050, haverá mais plásticos do que peixes no mar.

Entre os materiais menos agressivos ao meio ambiente, encontram-se os polímeros biodegradáveis, que vem sendo, cada vez mais, consumidos em escala mundial, devido à preocupação com o desenvolvimento sustentável. Dentre os polímeros biodegradáveis, temos o amido, que é uma fonte natural renovável, e tem sido uma matéria-prima muito estudada para construção de materiais biodegradáveis (Leal; Moita, 2013).

Com o objetivo de substituir filmes de embalagens sintéticas, a utilização de polímeros obtidos a partir de fontes naturais e renováveis, vem crescendo nas mais diversas áreas. Dentre os polímeros naturais, o amido destaca-se como uma alternativa sustentável, uma vez que é biodegradável, de grau alimentício e independente de recursos fósseis, como o petróleo (Molavi *et al.*, 2015).

O amido é considerado um dos polissacarídeos mais abundantes do reino vegetal, sendo usado pelas plantas para armazenar energia. É encontrado em uma grande variedade de espécies, tais como cereais, leguminosas, tubérculos e alguns frutos fisiologicamente imaturos (Li *et al.*, 2014).

Comercialmente, é considerado um polímero renovável, biodegradável, com alta disponibilidade e baixo custo. Possui aplicações industriais como estabilizador de coloides, agente espessante, gelificante e formador de volume, e material de colagem como colas e pastas (Ortiz-Fernández *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2003;).

Conforme Azevêdo *et al.* (2018), uma das propriedades mais importantes do amido é a gelatinização, que ocorre quando o amido é aquecido em meio aquoso resultando em uma transformação irreversível do amido granular para uma pasta viscoelástica. Esse processo ocorre pelo rompimento de algumas ligações internas de hidrogênio, que são responsáveis pela estabilização da estrutura cristalina do grânulo, dando entrada a água em sua estrutura molecular. Após a gelatinização, um gel é formado, o qual, conforme a concentração de amido, pode variar de um gel opaco a uma pasta viscoelástica. Entre os polímeros naturais, o grupo da fécula e do amido, em especial de mandioca e milho, têm sido considerados como candidatos promissores em diversos estudos na área, principalmente porque aliam alta disponibilidade, preço baixo e bom desempenho (Oliveira, 2018; Gutiérrez, 2015; Díaz, 2017).

Em escala industrial, os filmes de amido são obtidos via processamento térmico, onde ocorre a fusão do amido; processos de injeção, compressão, extrusão/sopro e

extrusão/calandragem, onde são geralmente usados. No entanto, em escala laboratorial, a técnica mais utilizada corresponde ao espalhamento da solução filmogênica, denominado *casting*. Na técnica do tipo *casting*, após a gelatinização térmica dos grânulos de amido em excesso de água, a amilose e a amilopectina se dispersam na solução aquosa e, durante a secagem, se reorganizam, formando uma matriz contínua que dá origem aos filmes (Mali *et al.*, 2010).

Outro fator que causa influência nas propriedades de materiais à base de amido é a relação amilose/amilopectina. Resistências mecânicas superiores podem ser alcançadas nestes tipos de polímeros, quando o teor de amilose é maior. Tanto o módulo de tensão, como o limite de elasticidade do amido, também pode ser melhorado com o aumento do teor de amilose no amido (Sudharsan *et al.*, 2016).

4.5. Plastificantes

Os plastificantes são definidos como substâncias com alto ponto de fusão e baixa volatilidade que, quando adicionados a outro material, provocam mudanças nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (Krochta, 1994; McHugh;).

Os plastificantes atuam diminuindo as forças intermoleculares entre cadeias de amido, provocando uma redução da temperatura de transição vítrea da solução e, de modo geral, a resistência mecânica diminui e a flexibilidade aumenta com o incremento da concentração do plastificante. Contudo, vale ressaltar que os plastificantes influenciam todas as propriedades funcionais dos filmes, não somente as propriedades mecânicas (Mali *et al.*, 2010).

Plastificantes como glicerol são capazes de garantir boa qualidade no plástico biodegradável a ser produzido. O plastificante é uma molécula pequena, de baixa volatilidade e de natureza química similar à do polímero usado na constituição do filme. Quando adicionado à solução filmogênica, modifica a organização molecular da rede amilácea, aumentando o volume livre na molécula. Essa ação do plastificante causa alterações no plástico biodegradável, como o aumento de flexibilidade, extensibilidade e distensibilidade, seguido por diminuição na resistência mecânica, temperatura de transição vítrea e barreira a gases e vapor de água, isso devido à higroscopicidade do plastificante e sua ação na quebra da rede amilácea, aumentando, assim, as interações amido-plastificante, que diminuem a densidade das interações e, consequentemente, a

coesão da molécula, além do aumento do volume livre (Shimazu; Mali; Grossmann; 2007).

A concentração de plastificantes é um fator importante que interfere diretamente na plasticidade e resistência, onde são geralmente adicionados na proporção de 10 a 60g/100g matéria seca, dependendo do grau de rigidez do material (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993). Contudo, Lourdin *et al.*, (1997) afirmam que concentrações > 20g/100 amido promovem um efeito contrário, ou seja, antiplastificante, no qual o glicerol ou sorbitol interage com a matriz polimérica, mas não está em quantidade suficiente para aumentar a mobilidade molecular e causa um efeito antiplastificante, diminuindo a flexibilidade e a hidrofília.

4.6. Tubetes biodegradáveis

Rezende (2001) relata que os tubetes começaram a surgir nos Estados Unidos por volta de 1975, para propagação de espécies florestais, tais como Eucalipto e Pinus, na tentativa de melhorar a qualidade das mudas e contornar os inconvenientes causados pelos saquinhos plásticos. Diante das perspectivas de sustentabilidade, os recipientes biodegradáveis surgem como uma alternativa na produção de mudas. A busca por opções aparece para reduzir a dependência pelo uso de recipientes derivados do petróleo, como o plástico, que contribuiu fortemente para a problemática ambiental (Henrique, 2002).

Ao contrário dos tubetes plásticos, os tubetes biodegradáveis ainda são pouco estudados, sendo que, as poucas publicações e patentes acerca do tema utilizam, principalmente, resíduos da agroindústria como material de reforço, como o bagaço de cana-de-açúcar, que é produzido em abundância nas indústrias. Ribeiro (2017) utilizou o resíduo de bagaço de cana juntamente com amido modificado, com adição de outras matérias orgânicas em sua fabricação para o incremento de nutrientes no solo após a sua decomposição. O autor cita inúmeras vantagens como: melhor nutrição de plantas e condicionamento do solo, eliminação da etapa de retirada da muda do tubete para o plantio, aproveitamento de resíduos dentro da indústria sucroenergética, como um subproduto para produção de mudas de cana.

Ponce *et al.* (2017) desenvolveram essa tecnologia e trouxeram para o mercado tubetes e vasos fabricados a partir de bagaço da cana e amido de mandioca, e obtiveram excelentes resultados de biodegradação após 60 dias. Trabalhos com diferentes fibras,

como a madeira também são estudados como, fécula de mandioca e rasps de MDF (Ferraz *et al.*, 2015) e resíduo de erva mate (Rosa, 2020).

Outros métodos foram estudados a partir do reaproveitamento de materiais provenientes do agronegócio e da indústria, tais como cama de aves, suínos, biodigestato sólido de bovinos e bagaço de malte (Bastos, 2022). Sementeira biodegradável produzida a partir das fibras de *Agave sisalana* (sisal) (Svierszcz, 2021).

Junior *et al.* (2011) obtiveram tubetes biodegradáveis ao aglutinar produtos naturais orgânicos tais como, bagaço de cana, madeira e minerais como saibro, areia e terra para formar essas embalagens.

Fabricações caseiras de tubetes, a partir de papel de jornal, rolos internos de papel-toalha e papel higiênico, aproveitamento de cascas de ovo, cascas de coco como recipientes para hortifruticultura e jardinagem, são mencionadas em muitos sites eletrônicos com apelos mercadológicos desses produtos, focando nas vantagens de seu uso como embalagens biodegradáveis (Brant *et al.*, 2011).

Brant *et al.* (2011) apontam que vários tipos de embalagens vêm sendo utilizadas com o bagaço de cana-de-açúcar como material de reforço, sendo o material mais utilizado, depois da fibra de coco, por exemplo, principalmente no que diz respeito a vasos e tubetes biodegradáveis. Esse tipo de tecnologia vem surgindo no mercado devido a necessidade de uma degradação mais rápida, baixo custo e melhor descarte.

Outro cenário de pesquisa importante, quanto à produção de embalagens biodegradáveis de amido, seria quanto a aplicação no sistema de fibras provenientes de resíduos agroindustriais, como serragem de madeira, para reforçar a estrutura do material (Debiagi *et al.*, 2012). Essa junção amido/fibras resulta no desenvolvimento de compósitos poliméricos, os quais apresentam inúmeras vantagens, tais como: melhores propriedades mecânicas; maior resistência à umidade; diminuição de custos e aumento da biodegradabilidade.

Esta melhora nas propriedades mecânicas se dá devido à compatibilidade entre as fibras de celulose da madeira com o amido, o que possibilita maior adesão entre a matriz polimérica do amido e o material de reforço que é a fibra vegetal (Franco; Faria; Bilick, 2019).

Atualmente no Brasil o sistema de produção de mudas com embalagens biodegradáveis que se destaca, é proposto pela Ellegaard, conhecida como Ellepot A/S de origem dinamarquesa é um sistema criado há 30 anos disseminado em 120 países, que vem sendo adotado pelas indústrias de base florestal, essa tecnologia possui todas as

utilidades de um tubete convencional, mas com grande diferencial que é a menor emissão de carbono devido à extinção da logística reversa, necessária ao tubete plástico (Diniz *et al.*, 2022).

Os Ellepots são recipientes que se degradam naturalmente pois são feitos de papel ecológico feito a partir de fibras de madeira, alguns modelos também levam mistura de poliéster como reforço, sua estrutura conta com uma estrutura de teia de fibras que oferecem condições adequadas para o desenvolvimento das raízes devido a permeabilidade o que garante um desenvolvimento melhor para a planta (Ellepot, 2023).

4.7. Biodegradação

A degradação do plástico sintético é muito lenta e pode levar até 500 anos. A degradação destes polímeros gera resíduos menores que, apesar de não serem evidentes, se acumulam nos ecossistemas em grandes quantidades (Farias *et al.*, 2016).

Os polímeros biodegradáveis, se comparados com os polímeros sintéticos, se degradam com menos tempo pela ação de microrganismos, possuindo propriedades semelhantes entre si. De maneira geral, os polímeros biodegradáveis naturais possuem uma alta taxa de renovabilidade e podem ser utilizados, tanto na área médica, como na área ambiental, pois, após o descarte, são biodegradados por microrganismos presentes no meio ambiente, em um curto espaço de tempo, cerca de 60 dias, se comparados com os materiais poliméricos tradicionais (Araujo *et al.*, 2021).

A biodegradação de um polímero pode ser definida como um processo de biofragmentação (incluindo mudanças em sua estrutura química e propriedades) seguido de assimilação por microrganismos (fungos, algas ou bactérias), através de sua atividade metabólica em condições específicas (Luyt; Malik, 2019). Neste processo, os microrganismos excretam enzimas, ocorrendo a deterioração do material, resultando em biomassa do polímero, gás (geralmente dióxido de carbono) e água (Paoli, 2008; Kurusu, 2011).

O interesse nesses polímeros tem crescido nos últimos anos, uma vez que, eles têm sido considerados uma alternativa aos polímeros convencionais, por exemplo, na agricultura. A biodegradação é uma solução promissora, uma vez que é menos agressiva ao meio ambiente, além de participar o ciclo de carbono e do nitrogênio. Quando o polímero biodegradável é submetido à compostagem, obtém-se um material rico em carbono e que pode retornar ao solo com efeitos benéficos (Rosa; Pantano Filho, 2003).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Coleta e peneiramento dos resíduos de serragem de madeira

A coleta dos resíduos foi realizada em uma madeireira, localizada no município de Vitória da Conquista – BA, que vende peças de madeira para construção civil como: vigas, caibros, ripas, tábuas e fabrica janelas e portas. Para realizar o beneficiamento dessas peças, a empresa utiliza máquinas de corte, como serra de fita, plaina e desgrossadeira, que geram uma grande quantidade de resíduos na forma de serragem, pó, lascas, retalhos, que ficam dispostos no pátio da serraria. A empresa relata que o resíduo produzido pelo corte de madeira, como a serragem, é destinado a queima e a maravalha é vendida para cama de animais.

Dentre as espécies trabalhadas são mencionados *Eucalyptus* sp. (Eucalipto), *Peltogyne* spp. (Roxinho), *Euplassa* spp. (Louro) e *Erismia uncinatum* (Cedrinho). As amostras de resíduos coletadas foram na forma de pó, serragem, maravalha e cepilho, por serem os mais abundantes e adequados a formulação de compósitos. O material continha partículas de várias espécies misturadas, pois eram depositas no local do corte, sem necessidade de separação para serem descartados sendo considerado resíduos.

A amostra coletada dos resíduos foi acondicionada em saco plástico transparente, fechado e seguiu para separação granulométrica no Laboratório de Química do Solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, para determinação do teor de umidade das partículas de madeira.

A coleta do material foi realizada utilizando o critério de granulometria das partículas da madeira. As partículas foram separadas em peneira de 2,5 mm de diâmetro. Foram classificadas como maravalhas os resíduos com dimensões < 2,5 mm; serragem, as partículas de madeira com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, provenientes do uso de serras; pó, os resíduos menores que 0,5 mm;

As classificadas para uso como reforço foram: as partículas de madeira com dimensões entre (0,5 e 2,5 mm) serragem, provenientes do uso de serras; partículas médias com dimensões entre (3 – 10 mm); e partículas maiores com dimensões entre (5 – 20mm), conforme observado na Figura 3.

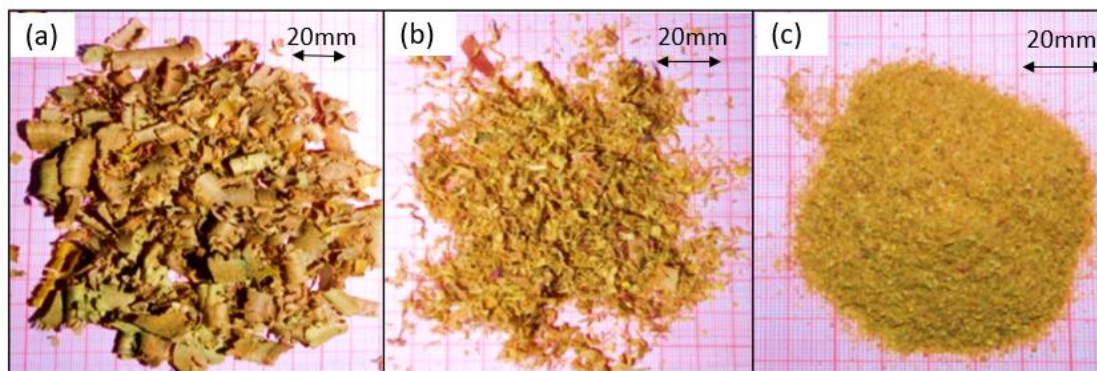


Figura 3 – Resíduos de serragem de madeira coletados e peneirados, sendo: (a) Resíduos com granulometria: GR3 (5 – 20mm); (b) Granulometria: GR2 (3 – 10 mm); (c) Granulometria: GR1: serragem com (0,5 – 2,5mm).
Fonte: Autora (2022).

5.2. Coleta e peneiramento do bagaço da cana de açúcar

O resíduo de bagaço de cana foi concedido por meio de doação por um estabelecimento que comercializa caldo de cana e que produz esse resíduo como resultado da moagem. O material coletado foi seco ao ar livre, triturado em liquidificador (Figura 4a) e peneirado obtendo partículas com as seguintes dimensões de 0,5 – 2,5 mm (Figura 4b) e dimensões de 3 – 10 mm (Figura 4c).

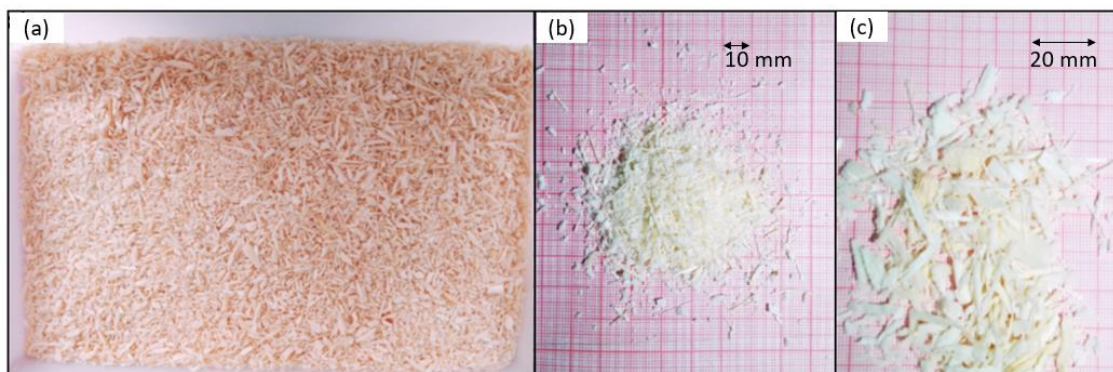


Figura 4 – Partículas do bagaço de cana peneiradas para compor o material de reforço dos tubetes
(a) Resíduos coletados (b) Granulometria: GR1: (0,5 – 2,5mm); (C) Granulometria: GR2 (3 – 10 mm);
Fonte: Autora (2022)

5.3. Caracterização das propriedades tecnológicas dos resíduos: partículas de serragem de madeira e bagaço da cana de açúcar

Após a coleta e o peneiramento dos resíduos das partículas de madeira e do bagaço de cana, foram determinadas as seguintes propriedades: teor de umidade, densidade a granel e composição química elementar das partículas de bagaço de cana e de madeira.

5.3.1. Propriedade física: Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) e é dado pela diferença de massa antes e depois da secagem em estufa a 105 ± 2 °C de temperatura até obtenção de massa constante. Após a coleta dos resíduos de corte e serragem na madeireira, foi coletada uma amostra classificada na peneira de 40 mesh (abertura de 0,420mm) e coletado o material retido na peneira de 60 mesh.

Para determinar o teor de umidade inicial, a amostra foi pesada em balança analítica com precisão de quatro casas decimais, e foi subdividida em triplicata com 2g de material cada, em beakers de 50mL, a fim de reduzir o erro experimental.

Posteriormente, foram secas em estufa de circulação a temperatura de 105°C, por um período de 24 horas. Dentre esse período, com intervalo de 4 horas, a serragem foi pesada em balança analítica, até que a massa permanecesse constante. Após atingir massa constante, as amostras foram acondicionadas em dessecador por 20 minutos, para obter a massa final seca.

O teor de umidade do bagaço de cana foi determinado utilizando-se o método descrito por Rocha, Pereira e Vicente, (2019), sendo o modo tradicional de secagem do material em estufa a 105°C, até massa constante, utilizando uma amostra de 2g em triplicata, com granulometria $\leq 0,8\text{mm}$ (≥ 20 mesh), conforme a Figura 5.

O teor de umidade das amostras foi calculado utilizando a Equação 1.

$$TU_i = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

TU_i = teor de umidade (%);

M_1 = Massa inicial da amostra úmida (g);

M_2 = Massa final da amostra seca (g).

5.3.2. Propriedade física: Densidade

A densidade a granel (D_g) das partículas de serragem e do bagaço de cana foram determinadas em triplicata, a partir das recomendações da NBR 6922 (ABNT, 1981) modificada, pois foi utilizado o Becker de 500ml. A densidade a granel foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$D_g = \frac{Ma}{Vol} \quad (2)$$

Sendo:

Dg = densidade a granel da serragem (g.cm^{-3});

Ma = massa da serragem (g);

Vol = volume interno do recipiente (cm^3). $1\text{L} = 1000 \text{ cm}^3$.

5.3.3. Composição química elementar (CHN) das partículas de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar

Para essa análise, utilizou-se uma amostra de 2,5mg de partículas de madeira e do mesmo para de bagaço de cana, selecionadas em peneiras sobrepostas de 200 e 270 mesh, utilizando a fração retida na peneira de 270 mesh e, em seguida, levados ao aparelho Perkin Elmer 2400 series II para quantificar os elementos carbono (C), Hidrogênio (H), Nitrogênio (N) presentes nesses materiais.

Baseado no método de Pregl – Dumas (Dumas, 1831), na qual as amostras são sujeitas à combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, os gases resultantes dessa combustão foram quantificados em um detector TCD (Detector de Condutividade Térmica) (Patterson, 1973).

5.4. Massa adesiva de biopolímero

Para a produção dos tubetes biodegradáveis, foram utilizados resíduos das partículas do bagaço da cana-de-açúcar e serragem de madeira como material de reforço, acrescidos de uma massa composta de amido de milho solubilizado em água, glicerina como agentes plastificantes e sorbato de potássio como antifúngico.

O adesivo consiste em uma mistura formada pela adição 100g de amido solubilizado em 200 ml de água deionizada e 2g de sorbato de potássio. Essa mistura foi aquecida e conferida com termômetro digital, até alcançar em torno de 60°C , que é a faixa onde o amido de milho é gelatinizado, em agitação manual constante. Logo após esse processo, foram adicionados 20g de glicerina. Essa mistura alcançou uma textura de massa espessa, sendo misturada e sovada até homogeneização completa, com rendimento capaz de produzir quatro tubetes para cada tratamento.

5.5. Formação do material compósito e moldagem

Os tubetes foram formulados conforme o tipo de partícula, proporção e granulometria. Esse tipo de formulação consiste em um material compósito formado pelas partículas dos resíduos de madeira e bagaço da cana, onde a formulação controle (BC) utiliza apenas bagaço de cana como material de reforço, os tratamentos (MA-GR1), (MA-GR2), (MA-GR3), utilizam 100% de partículas de madeira e 0% de bagaço de cana em sua composição, ao passo que os tratamentos (BC – MA: GR1), (BC – MA: GR2), (BC – MA:GR3) contém uma proporção de 50% de partículas de bagaço da cana e 50% de partículas de madeira, conforme o Tabela 3.

Tabela 3 – Tratamentos utilizados para fabricação dos tubetes biodegradáveis

Formulação do material Compósito dos Tubetes			
Tratamentos	Granulometria (GR) (mm)	Proporção de material de reforço (Partículas) (%)	Tipos de resíduo
Controle (BC)	GR2: (3 - 10)	100	Bagaço da Cana de açúcar
MA – GR1	GR1: (0.5 - 2,5)	100	Madeira
MA – GR2	GR2: (3 -10)		
MA – GR3	GR3: (5 - 20)		
BC – MA – GR1	GR1: (0.5 - 2,5)	50	Bagaço da Cana de açúcar / madeira
BC – MA – GR2	GR2: (3 - 10,0)		
BC – MA – GR3	GR3: (5 - 20)		

BC: Bagaço de cana; MA: Madeira; GR: Granulometria

Fonte: Autora (2023)

As partículas foram incorporadas na massa de biopolímero e misturadas manualmente até atingir homogeneidade. Para construção dos tubetes biodegradáveis, foram utilizados tubetes acrílicos como moldes e a mistura foi preenchida e prensada manualmente pelo tubete de PVC, até formar a estrutura do tubete, por se tratar de uma produção manual não foi realizada prensagem a quente e a espessura foi maior que os tubetes convencionais para dar uma melhor estrutura. Foi utilizado óleo de girassol como agente desmoldante e a secagem foi realizada em circulação aberta por cinco dias, sem a necessidade de estufa. As dimensões dos moldes podem ser observadas na Figura 4a e as dimensões finais após moldagem Figura 5 a e b.



Figura 5 – Moldes utilizados para a fabricação dos tubetes e dimensões após moldagem.

a) Dimensões do molde acrílico de enchimento e tubete de polietileno como prensa; b) Modelo de tubete moldado.

Fonte: Autora (2022)

5.6. Características físicas

5.6.1. Densidade aparente dos corpos de prova

A densidade aparente (D_a) dos corpos de prova foi calculada pela relação entre massa/volume. Esses biocompósitos foram formados usando moldes de 5 cm x 2,5 cm ($A \times L$) para o ensaio de tração e 12 cm x 2,5 cm ($A \times L$) para o ensaio de flexão. Após a moldagem, o biocompósito foi removido do molde e seco a $23 \pm 3^\circ\text{C}$ e $50 \pm 10\%$ UR, em temperatura ambiente, do mesmo modo que os tubetes. Foram analisados cinco corpos de prova para cada tratamento. A massa foi determinada gravimetricamente usando uma balança analítica (0,01 g), enquanto o volume foi calculado a partir das dimensões da amostra medidas com um paquímetro ($\pm 0,01$ mm). Foram considerados os valores médios de densidade e a densidade aparente foi calculada por meio da equação 3.

$$D_a = \frac{M_a}{Vol} \quad (3)$$

Sendo:

D_a : Densidade aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);

M_a : Massa do corpo de prova (g);

Vol : Volume do corpo de prova (cm^3).

5.6.2. Teste de absorção de água

Para o ensaio de absorção de água, foram obtidas as massas dos tubetes, antes e após imersão em água por um período de 24 horas, com base na norma ASTM D570 (1998). A absorção de água foi determinada de acordo com a Equação 4.

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (4)$$

Sendo:

A_m : absorção (%);

m_1 : massa inicial seca sem imersão em água(g);

m_2 : massa final úmida (g).

5.6.3. Teste de Solubilidade em água

As mesmas amostras utilizadas para o teste de absorção foram analisadas quanto a solubilidade, seguindo a norma ASTM E104 (1991). Após o período de imersão em água por 24 horas, as amostras foram extraídas da água e o seu excesso de água foi removido. Em seguida, os tubetes foram encaminhados para estufa a 105°C até massa constante. A solubilidade foi dada conforme a equação 5.

$$S(\%) = ((M_i - M_s)/M_i) * 100 \quad (5)$$

Sendo:

$S(\%)$: Solubilidade em água por 24 horas;

M_s : Massa seca em estufa a 105°C;

M_i : Massa inicial sem imersão em água.

5.7. Teste de biodegradação: enterramento dos tubetes em solo e monitoramento

O ensaio de biodegradação foi realizado conforme as normas ASTM D6003 (1996) e ASTM G160 (2003) adaptadas. Foram utilizadas 4 repetições para cada tratamento, onde os corpos de prova foram inseridos em redes de polietileno para facilitar a retirada do tubete no solo, bem como na aferição da perda de massa.

Os tubetes corpos de prova foram enterrados em solo, formado por um composto orgânico a base de esterco de aves e casca de pinus, fabricado pela empresa Nutriplan Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas, conforme as especificações informadas pelo fabricante, apresentados na Tabela 4. Foram adicionados a mistura partes iguais de solo fértil, com baixo teor de argila, com um total de 6 kg de solo. Os vasos com capacidade de 1,7 L foram utilizados para o enterramento dos tubetes e o substrato foi mantido úmido, de acordo com a capacidade de retenção de água.

Tabela 4 – Descrição do composto orgânico utilizado no substrato dos vasos.

Capacidade de retenção de água (CRA)	Capacidade de troca catiônica (CTC)	Umidade máxima
60%	200 mmol.c	60%

O teste de biodegradação consiste no monitoramento de corpos de prova através da medição da perda de massa do compósito em exposição ao solo simulado e controlados, em que o tubete é envolto em rede de polietileno, com o objetivo de proteger o biocompósito, conforme a Figura 6.

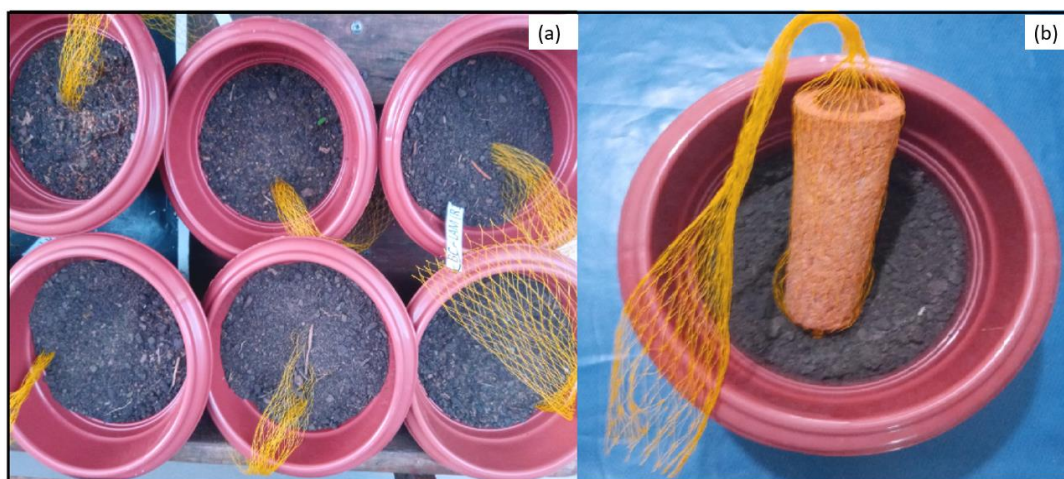


Figura 6 – Teste de biodegradação dos tubetes em substrato

(a) Tubetes enterrados para teste de biodegradação; (b) Tubete envolto por rede de polietileno.

Fonte: Autora (2023)

As amostras enterradas foram submetidas a pesagem inicial e após enterramento conforme as normas ASTM D6003 (1996) e ASTM G160 (2003) adaptadas, e monitoradas nos períodos de 30 e 60 dias, para acompanhar a decomposição desse material compósito. A perda de massa foi dada pela equação 6:

$$BR(\%) = ((Mi - Mf)/(Mi - Ms)) * 100 \quad (6)$$

Sendo:

BR (%): Biodegradação por perda de massa

M_i : Massa do corpo de prova mais a massa do saco antes de ser enterrado

M_f : Massa da amostra mais a massa do saco após ser retirado do substrato

M_s : Massa do saco

5.8. Ensaio mecânico

Os corpos de prova do biocompósito foram formados usando moldes de 5 cm x 2,5 cm (Altura x Largura) e 12 cm x 2,5 cm (A x L) para testes de resistência à tração e resistência à flexão, respectivamente, conforme a metodologia de Juanga-Labayen e Yuan (2021) (Figura 7). Após a moldagem, o biocompósito foi removido do molde e seco em temperatura ambiente, do mesmo modo que os tubetes. Foram testados, quanto a resistência à tração e flexão, com cinco corpos de prova para cada tratamento, totalizando 70 amostras.

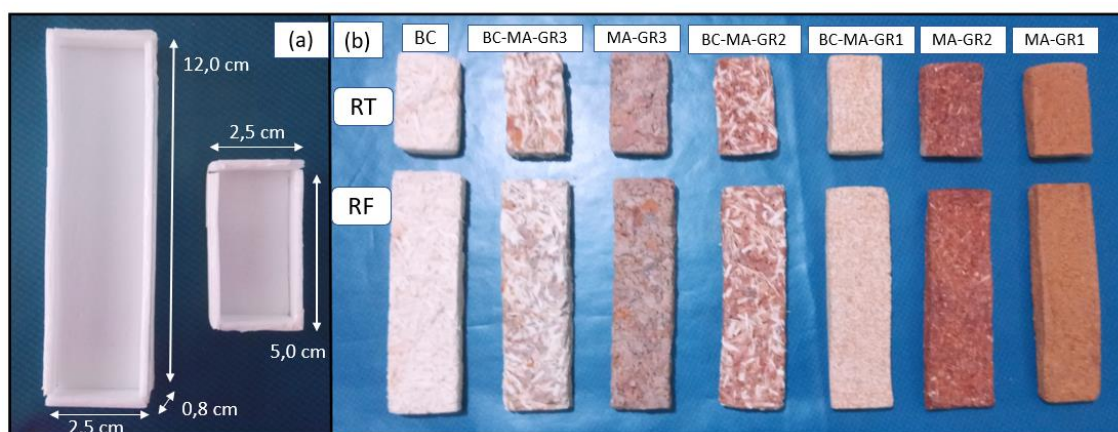


Figura 7 – Corpos de prova para teste de resistência à tração e à flexão.

(a) Moldes e dimensões dos corpos de prova; (b) Corpos de prova de cada tratamento para os Ensaios de (RT) Resistencia a tração e (RF) Resistencia a Flexão; (RT): Resistencia a tração; (RF): existência a flexão; BC: Tratamento com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20mm);

Fonte: Autora (2023).

O ensaio de tração é o ensaio mais utilizado na caracterização mecânica dos polímeros. O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente à amostra, ao mesmo tempo em que são medidas as variações na sua dimensão.

Uma máquina de teste universal equipada com célula de carga de 5 kN foi utilizada para determinar a resistência à tração e à flexão das folhas de biocompósito preparadas. As amostras foram testadas no Centro de Inovações em Materiais Sustentáveis da Universidade Federal de Lavras - MG. Para a resistência à flexão, um teste de flexão de três pontos foi usado. O teste foi realizado a uma velocidade de ensaio

de 2 mm/min e foi definido para parar quando a amostra se rompesse. Foram descartados os resultados dos ensaios onde ocorreu a fratura em algum defeito, ou para o qual os valores obtidos foram muito diferentes dos valores adquiridos na maioria dos ensaios realizados para cada amostra.

5.9. Delineamento experimental e análise estatística

Foi definido um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e uma formulação controle, com quatro repetições cada. Para os testes mecânicos (flexão e tração) foram utilizadas cinco repetições a cada tratamento.

Para todos os tratamentos, foi fixado um teor de 20g de glicerol a cada 100g de amido de milho na composição da massa adesiva. Dentre os tratamentos, a formulação controle contém como reforço partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro Wilk), variância dos erros e homogeneidade dos erros (Bartlett); posteriormente, aplicada a análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, a fim de verificar diferenças entre as médias dos resultados dos tratamentos para as propriedades de densidade aparente, absorção e solubilidade em água, tração e flexão, Taxa de biodegradação por perda de massa. As análises foram realizadas com o auxílio do programa computacional Sisvar versão 5.6 (Ferreira, 2019).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Propriedades físicas das fibras de madeira e bagaço de cana: Teor de umidade

A Tabela 5 apresenta o teor médio de umidade das amostras coletadas. As amostras tiveram média de 14,75% em base úmida. Pereira *et al.* (2020) observaram que esse teor de umidade, de cerca de 15%, apresenta resultados satisfatórios em termos de durabilidade do material, e que madeiras com menor teor de umidade apresentam também maior resistência.

Tabela 5 – Teor médio e desvio padrão da umidade (%) do bagaço da cana de açúcar

Fibras	Teor de umidade (%)	
	Base úmida	Absolutamente seco (%)
Madeira	14,75 ^(0,22)	85,24 ^(0,22)
Bagaço de cana-de-açúcar	50,33 ^(0,47)	49,67 ^(0,41)

Fonte: Autora (2022)

Materiais de origem vegetal apresentam característica hidrofílica, uma vez que a água é um dos principais condutores de nutrientes para o desenvolvimento das árvores de onde esses materiais são extraídos, fazendo necessário o controle desta umidade para obter produtos com melhores propriedades. Portanto, observa-se que a simples presença de umidade e, principalmente, o excesso no material de origem vegetal, faz com que o desempenho deste fique comprometido quando submetido a esforços mecânicos, tendo suas propriedades reduzidas (Rossino *et al.*, 2019), tendo um maior impacto sobre as fibras, resultando em menores propriedades mecânicas de tração e flexão do compósito (Nóbrega *et al.*, 2021).

Para o bagaço de cana, foi obtido o teor de umidade médio de 50% (Tabela 2), sendo este valor maior em relação ao teor de serragem de madeira. Esses resultados estão em concordância com trabalhos realizados por Nogueira; Garcia (2013), em que resíduos do bagaço da cana-de-açúcar, proveniente da moagem da cana para extração do caldo, contém teor de umidade de, aproximadamente, 50%, sendo essa fibra rica em polissacarídeos (açúcares complexos), como a celulose e a hemicelulose, além da lignina, mais conhecida por biomassa lignocelulósica e baixa densidade. O bagaço de cana é um material que contém muita água, sendo que o teor de umidade encontrado nesse tipo de

fibra é alto e, metade desse conteúdo, é perdido na secagem, quando seco em estufa a 105°C (Silva; Lima, 2020).

Segundo Orellana *et al.* (2020), outro ponto a ser considerado em relação ao teor de umidade é quanto ao armazenamento do material. Esse deve ser armazenado seco e em locais arejados, para que se tenha um melhor controle da umidade e, assim, evitar a proliferação de microrganismos, como fungos. O mesmo modo deve ser realizado nos tubetes, o excesso de umidade não é desejável, haja visto que o armazenamento requer secagem completa, para garantir a integridade dos tubetes até o plantio das mudas.

Fica evidenciado que a umidade, assim como a granulometria dessas partículas de fibras naturais, tem impacto importante no tipo de tecnologia de adensamento, visto que, parte da água presente no material é evaporada durante esse processo a ser utilizado, o que implica diretamente na durabilidade mecânica do produto adensado. Partículas maiores favorecem a ocorrência de pontos de ruptura e a escolha da melhor configuração de parâmetros de processo e das características necessárias na preparação da biomassa a ser adensada, são fatores determinantes para a viabilização técnica e econômica do uso desse tipo de material (Silva; Contri; Faria; Moraes, 2021).

6.2. Propriedades físicas: Densidade a granel das fibras e densidade aparente dos corpos de prova

O tratamento contendo partículas de madeira (MA-GR3) apresentou a menor densidade a granel (0,09 gcm⁻³), dentre as formulações, sendo que, essa menor densidade se dá em razão da granulometria das fibras utilizadas que, dentre as estudadas, foi a maior, com dimensões entre 5 – 20 mm, provocando mais espaços vazios dentro do recipiente.

Outro ponto importante é que esse efeito de menor densidade ocorre, à medida que a granulometria aumenta, tanto em fibras de madeira, quanto nas fibras de bagaço de cana, como mostra o gráfico 1.

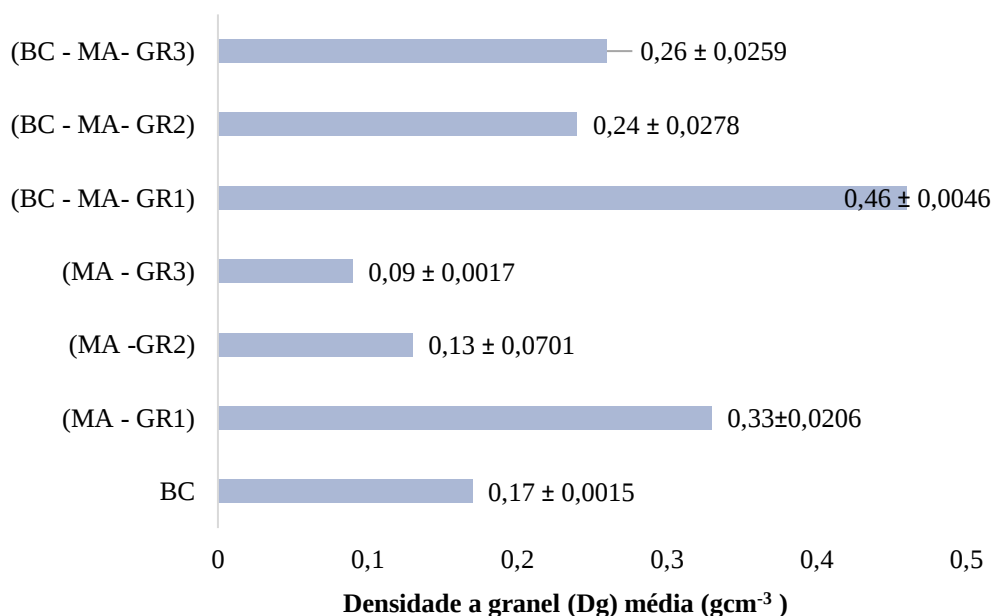


Gráfico 1 – Densidade a granel (Dg) média e desvio padrão das partículas lignocelulósicas.

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20mm);

Fonte: Autora (2023).

A menor granulometria testada (0,5 – 2,5 mm) e utilizada nos tubetes com (BC – MA-GR1) e (MA-GR1) tem como característica a maior densidade a granel média observada. As menores partículas conseguem ocupar uma maior massa por unidade de volume e, conseqüentemente, promovem maior densidade a granel. Spohr, Sánchez e Marques (2021) relatam que os resíduos de madeira apresentam essa característica de variação muito grande na densidade, devido o tipo de madeira e de qual etapa produtiva ele é gerado, o que pode estar relacionado ao corte, originando uma gama de granulometrias. Essas, quando muito finas, são quimicamente polares e de superfície porosa, ou possuem macroporos, o que vai dificultar a afinidade com a matriz polimérica.

A densidade a granel é uma medida de fácil obtenção e, quando se trata de processamento industrial, em locais com grande produção de resíduos, como serrarias, se torna necessário uma medida rápida, que facilite a estocagem e descarte. Essa relação entre massa e volume conhecido, também permite visualizar a proporção ideal do material reforço que vai compatibilizar com a matriz polimérica.

Os resultados para densidade aparente (Da) dos corpos de prova mostraram diferença estatística significativa para todos os tratamentos, sendo que o (BC-MA-GR1) e o (MA-GR1) apresentaram a maior média de densidade aparente, sendo estatisticamente iguais gráfico 2.

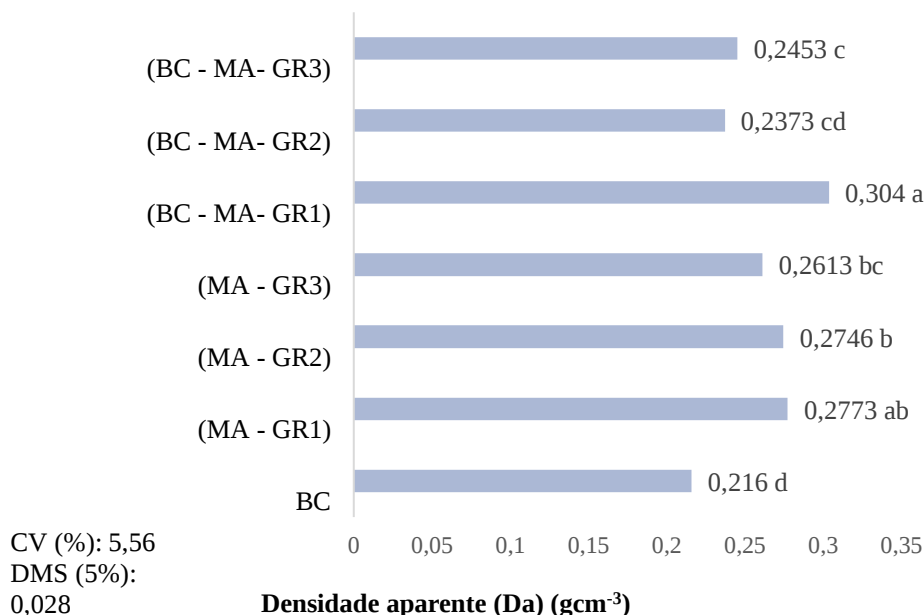


Gráfico 2 – Densidade aparente (Da) dos corpos de prova para teste de tração e flexão. Letras diferentes representam diferença significativa, pelo teste Tukey, com nível de 5% de significância. CV: Coeficiente de Variação. DMS: Desvio Mínimo Significativo. BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);
Fonte: Autora (2023).

A formulação controle BC e o tratamento (BC-MA-GR2) apresentaram baixa densidade aparente no Corpos de prova, com valores médios de 0,216 e 0,237 gcm⁻³, respectivamente, sendo estatisticamente iguais. Este fato ocorreu devido a presença do bagaço de cana, que é uma fibra de baixa densidade. Os menores valores médios obtidos foram para os tratamentos com BC, (BC-MA-GR2) e (BC-MA-GR3), sendo estatisticamente iguais. A menor densidade obtida para esses tratamentos favorece a absorção de água pelos tubetes e, conseqüentemente, torna o material de fácil decomposição pelos microrganismos (Fuentes, *et al.*, 2021).

6.3. Produção de tubetes biodegradáveis

Todos os tubetes sofreram alteração de cor após a secagem, sendo que essa mudança de coloração é um efeito esperado, devido a perda de umidade.

As formulações controle, (BC-MA-GR2) e (BC-MA-GR3) apresentaram uma textura áspera devido a porosidade das fibras vegetais inseridas na matriz, assim como nos tratamentos (MA-GR3) e (MA-GR2). Os tubetes (BC-MA-GR1) e (MA-GR1) apresentaram uma aspereza menor.

A presença do bagaço de cana conferiu uma leveza maior aos tubetes, em função da baixa densidade dessas partículas, entretanto, um peso maior foi observado nos tubetes de serragem (MA-GR1) e (MA-GR2), por conter partículas de madeira em uma granulometria que forma um material mais rígido, conforme pode ser observado na Figura 8.

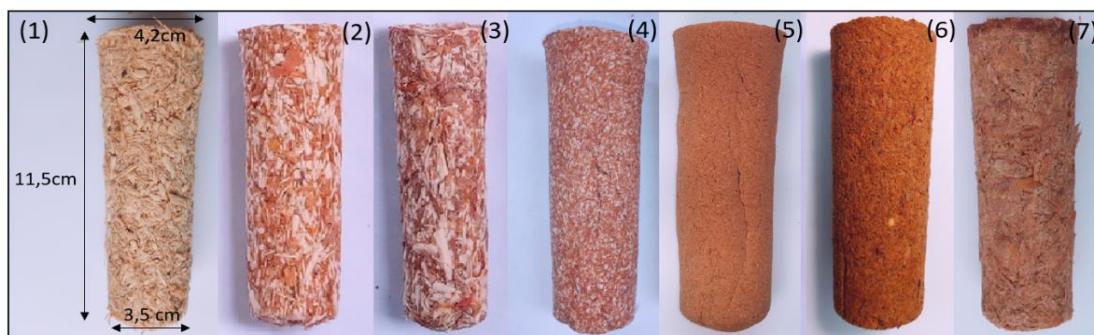


Figura 8 – Tubetes biodegradáveis a partir de resíduos de serragem de madeira e bagaço de cana

*(1) Controle: (BC) bagaço de cana; (2) (BC-MA-GR2); (3) (BC-MA-GR3); (4) (BC-MA-GR1); (5) (MA-GR1); (6) (MA-GR2); (7) (MA-GR3).

MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);

Fonte: Autora (2022).

Dentre as formulações, o tratamento com 100% de partículas de serragem (MA-GR1) apresentou rachaduras na repetição 2 e (BC/-GR1) nas repetições 1 e 2, o que, geralmente, ocorre no processo de secagem, sendo que os demais tratamentos se mantiveram livre de rachaduras. Mesmo com as partículas previamente secas, os adesivos contêm água em sua composição, o que faz com que as fibras absorvam e rachem ao secar, como mostra a Figura 9 a e b, indicada pelas setas em amarelo.

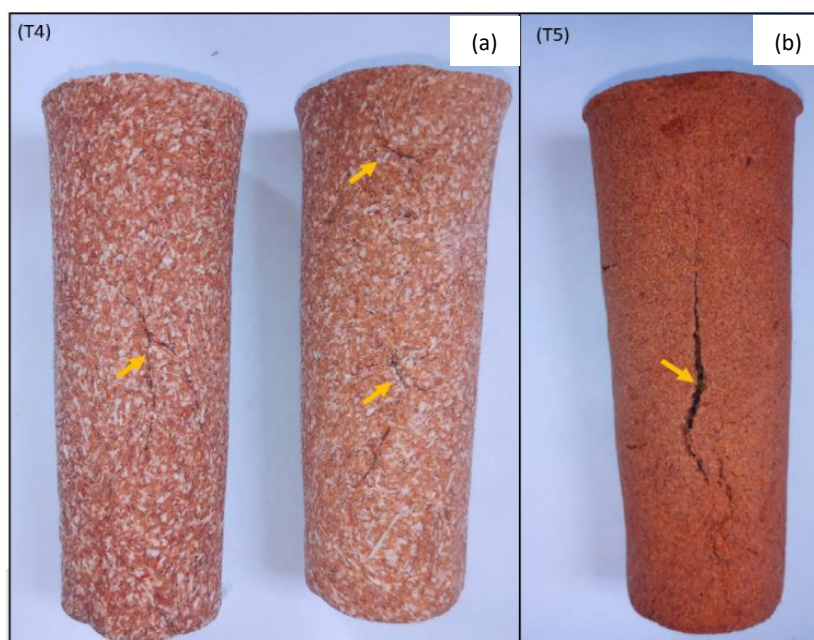


Figura 9 – Rachaduras nos tubetes dos tratamentos 4 e 5

(a)(T4) (BC-MA-GR1): fibra de cana com serragem de madeira; (b)(T5); (MA-GR1): serragem de madeira;

Fonte: Autora (2022).

Dentre os tratamentos utilizados, foi possível observar que as partículas com tamanhos menores, conhecidas como serragem, apresentaram esse tipo de rachaduras ao secar, onde foi possível notar que os tubetes apresentam rigidez em sua estrutura e não apresentaram esfarelamento ou desintegração. Essas rachaduras certamente irão comprometer a integridade desses tubetes que com o passar do tempo vão se desintegrar e fazer com que o substrato vaze e dessa forma a sua capacidade de uso seja restringida.

A umidade absorvida pela madeira cria um ambiente úmido local na interface madeira-polímero, ocasionando fenômenos semelhantes a fissuras e trincas localizadas por estresse ambiental, além de possível degradação hidrolítica e, eventualmente, afrouxamento da interface. Fornece um canal aberto adjacente à fibra de madeira após a degradação do polímero e quebra de estresse, e isso favorecerá a circulação de hifas fúngicas e a colonização por bactérias nessas fissuras e, conseqüentemente, melhora no processo de biodegradação (Chan *et al.*, 2019).

A proporção de serragem como material de reforço é um ponto a ser observado, pois essa granulometria é caracterizada por partículas menores que ocupam uma maior massa por unidade de volume e, conseqüentemente, formam um material mais denso ainda quando adicionado à matriz de amido, portanto, ao secar as partículas, essas se contraem e formam rachaduras, mesmo em proporções de 50%. Portanto, para reduzir esse efeito, recomenda-se uma dose menor dessa granulometria. Manafi-Dastjerdi *et al.* (2021), em testes de campo, mostraram que potes produzidos com 80% de esterco e 20% de serragem usando amido de milho para adesão de ligação, obtiveram melhor desempenho em termos de degradabilidade e propriedades físicas e mecânicas.

6.4. Absorção de água e solubilidade (%) pelos tubetes

Em relação a absorção de água, foi possível observar que, o tratamento controle obteve a maior absorção de água em relação aos demais, sendo que esse composto contém 100% de bagaço de cana. Este tratamento apresentou diferença significativa se comportando como mais absorvente do que a fibra de madeira e teve seu volume aumentado pela água gráfico 3. Líbano *et al.* (2020) também observaram que, em relação

à absorção de água, à medida que aumenta o tempo de absorção, ocorre um aumento de massa dos compósitos, independente do teor de (Bagaço de Cana-de-Açúcar).

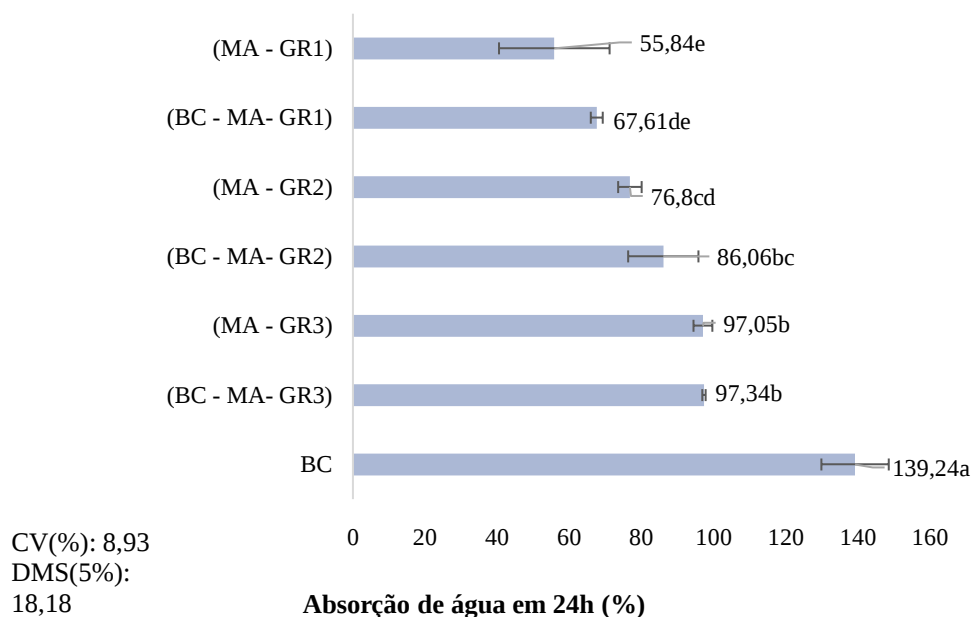


Gráfico 3 – Testes de absorção de água pelos tubetes por 24h.

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);

Lazarini e Marconcini (2021) utilizando bagaço de cana em compósitos com 50% e 60% de fibras, apresentaram uma morfologia composta tradicional, enquanto aqueles com 70% e 80% se assemelharam a compósitos aglomerados. A absorção de água variou entre 5% e 34%, aumentando com o teor de fibra, enquanto a densidade aparente permaneceu relativamente constante, próxima a 1 gcm^{-3} .

A absorção de água é um aspecto importante, considerando o uso do material compósito de polímero de fibra natural, em várias aplicações industriais com diferentes condições de local. Vários fatores afetam as porcentagens de absorção de água, como superfície de ligação fibra/matriz coberta, vazio, porosidade dos compósitos e estrutura da ligação interfacial da fibra (Ramlee *et al.*, 2019).

A granulometria das partículas foi um fator determinante na absorção de água em que, partículas maiores obtiveram uma capacidade de absorção de água maior, tanto de partículas de madeira, quanto as de cana, na seguinte ordem: (BC) > (BC-MA-GR3) > (MA-GR3) > (BC-MA-GR2) > (MA-GR2) > (BC-MA-GR1) > (MA-GR1). Dessa forma, os compósitos contendo a granulometria GR3(5 – 20 mm), obtiveram maior absorção, dentre as partículas de madeira como mostra o Gráfico 3.

Os tubetes contendo serragem de madeira (MA-GR1) e (BC-MA-GR1) apresentaram a menor absorção de água dentre as formulações. Isso se deve a uma maior adesão das fibras junto a matriz (Líbano *et al.*, 2020). Portanto, compósitos com maior capacidade de absorver água, se mostram menos eficientes para se tornarem tubetes para mudas, pois, com o passar do tempo, tendem a esfarelar e se desintegrar, portanto, são mais solúveis e menos resistentes a umidade do substrato e as regas, contudo, são mais fáceis de degradar pelo seu volume reduzido pela umidade.

As propriedades mecânicas também são afetadas pela absorção de água. Gomes *et al.* (2017), ao avaliarem a absorção de água e as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF, observaram que houve diminuição nessas propriedades em até 53%, no índice de cristalinidade em até 18%, e aumento no índice de absorção de água em quase cinco vezes, para o compósito de maior adição de resíduo (20%). Esse fato já é esperado, devido a ação capilar entre os feixes de fibras e o caráter hidrofílico das fibras. A ampla exposição dos compósitos reforçados com fibras naturais à umidade ocorre na degradação da interface fibra-matriz, o que explica uma queda significativa nas propriedades mecânicas (Prakash *et al.*, 2022).

Os testes de solubilidade em água indicaram que os tubetes produzidos com material de reforço de bagaço de cana com (BC - MA - GR2) apresentou diferença significativa, seguida da formulação controle (BC) sendo os mais solúveis dentre os tratamentos, onde pode se observar a influencia da presença do bagaço de cana e da granulometria, o bagaço exerceu influencia na solubilidade no tratamento (MA - GR2) que sem adição de partículas de cana apresenta-se o menos insolúvel dentre os tratamentos gráfico 4. Nunes, Nascimento e Serra (2021) apontam que esse efeito de maior solubilidade é explicado também pelo uso do glicerol, que tem grande influência na solubilidade dos filmes de amido, devido ao seu caráter hidrofílico.

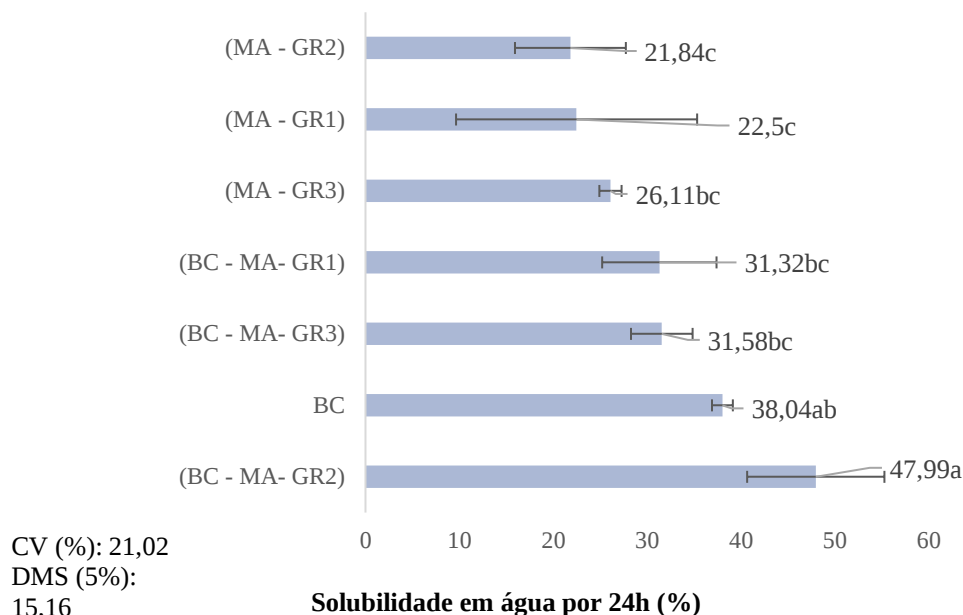


Gráfico 4 – Testes de absorção e solubilidade dos tubetes em água por 24h

Letras diferentes diferenciam significativamente pelo teste Tukey a 5% de significância. Barras de erro representam desvios padrão. DMS: Desvio Mínimo Significativo. CV: Coeficiente de Variação. BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);

Fonte: Autora (2023).

Da mesma forma, posteriormente aos ensaios, alguns dos filmes ficaram inteiros, no entanto, frágeis e quebráveis. Como resultado do teste de solubilidade, tem-se o esfarelamento, amolecimento, rompimento em alguns pontos (Figuras 10a e 10b) e rachaduras (Figura 9c), encontrados apenas no controle (BC), (MA-GR3) e (MA-GR1).

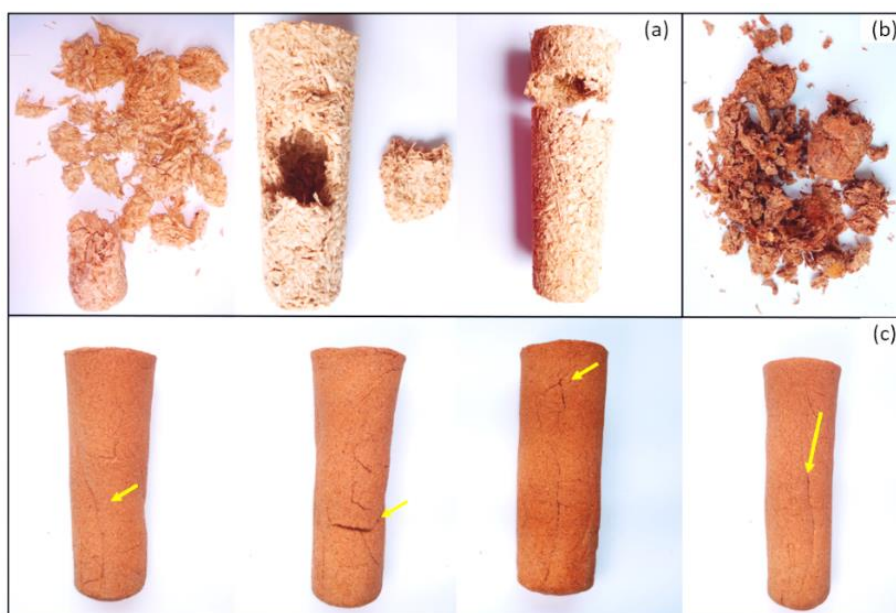


Figura 10 – Tubetes após teste de imersão em água por 24h

(a) Tubetes de bagaço de cana (BC) dissolvidos após imersão em água por 24h; (b) Tubete (MA-GR3) dissolvido em água; (c) Tubetes de serragem (MA-GR1) com rachaduras indicados pela seta amarela.

Fonte: Autora (2023).

No tubete de bagaço de cana, foi observada essa fragilidade devido a alta taxa de absorção de água, o que demonstra a falta de resistência desse material perante a água, o que pode fazer com que a umidade seja mantida para a muda quando plantada, mas, ao mesmo tempo, a integridade física pode ser diminuída, devido a irrigação. Portanto, o seu uso é indicado para mudas com um ciclo mais curto de desenvolvimento.

O problema de desintegração também foi encontrado na formulação de partículas de madeira (MA-GR3). Apenas um tubete, dentre as repetições, apresentou essa característica, o que também indica que o seu uso fica comprometido com excesso de água, devido a sua alta solubilidade.

Shafqat *et al.* (2021), avaliando a umidade de bioplásticos a base de amido e fibras, observou que os valores de absorção e solubilidade em água aumentaram na presença do glicerol, sendo que esse plastificante, juntamente com o amido, possui características que favorecem a absorção como, a presença de grupos hidroxila que tem afinidade com a água e, no caso do amido, que é insolúvel em água fria, o mesmo necessita do processo de gelatinização para romper os grânulos de amido e permitir a passagem de água, tornando a absorção de água diretamente proporcional a quantidade de amido. Contudo, os teores de glicerol devem ser ajustados ou substituídos pelo sorbitol, para obter um efeito mais plastificante e menos absoritivo.

6.5. Análise química elementar

Os resíduos lignocelulósicos, como madeira e bagaço de cana, possuem alta relação C/N (171,14%; 169,44% respectivamente), como indica a Tabela 6. A composição química dessas fibras é rica em lignina e celulose, moléculas de longa cadeia, conferindo uma resistência maior a fibra, o que dificulta o processo de biodegradação por microorganismos.

Tabela 6 – Análise química elementar das fibras lignocelulósicas utilizadas como material de reforço nos tubetes

Fibra lignocelulósica	C (%)	H (%)	N (%)	C/N (%)
Bagaço de cana	44,05	5,78	0,26	169,44/1
Serragem de madeira	41,93	5,66	0,24	171,14/1

Fonte: Autora (2023)

Grotto *et al.* (2021), ao caracterizarem a biomassa de bagaço de cana-de-açúcar, identificaram o carbono como o maior componente (44,25%). O valor obtido de 44,05% de carbono para o bagaço de cana, conforme a Tabela 5, está de acordo com o observado pelos autores. Essa característica se deve a presença de moléculas orgânicas nos principais componentes da biomassa (lignina, celulose e hemicelulose). Para a serragem de madeira, foi observado o valor de 41,93% para o carbono e 5,66% para hidrogênio, sendo estes valores aproximados aos valores obtidos para o bagaço de cana.

Rafee *et al.* (2019) observaram uma biodegradação por perda de massa menor no período de 60 dias em biopotes feitos a partir da fibra de casca de banana devido à alta relação C/N com proporções de resíduo de 50%. Isso demonstra como a composição química do resíduo exerce influência direta na velocidade com que esses resíduos são decompostos, apesar da alta relação carbono e nitrogênio dos resíduos, eles possuem a capacidade de se decompor, porém requerem um tempo maior para isso.

Assim como a densidade está relacionada com a decomposição subterrânea, no qual a densidade de fibras baixa favorece a permeabilidade pela água acelerando a decomposição, a relação C/N tem um papel crucial, uma vez que, o carbono e o nitrogênio são essenciais na decomposição microbiana, em que esse carbono é uma fonte de energia, que se torna em um bloco básico que compõem cerca de 50% da massa de células microbianas e o nitrogênio compõe as proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas para função celular (Fuentes *et al.*, 2021).

Quanto maior a relação C/N desse resíduo utilizado na compostagem, maior o tempo de decomposição do material. Em geral, se considera alta a relação C/N dos resíduos acima de 50 e valores entre 30 e 40 mais adequados ao processo de compostagem (Inácio; Miller, 2009).

6.6. Ensaio mecânico de flexão estática

Os corpos de prova dos tratamentos submetidos ao teste de flexão estática mostraram, através do MOE e do MOR, que as formulações do tubete serragem (MA-GR1) (287,38MPa; 0,85MPa) e (MA - GR2) (264,84MPa; 0,83MPa), respectivamente, foram estatisticamente iguais entre si. Ainda apresentaram diferença estatística entre as formulações, o que mostra que esses materiais apresentam um nível maior de resistência quando comparado aos demais tratamentos, sugerindo que os tubetes com essas

formulações tiveram melhor desempenho a aplicação de esforços sobre o material compósito, como se observa no Gráfico 5(a) e 5(b).

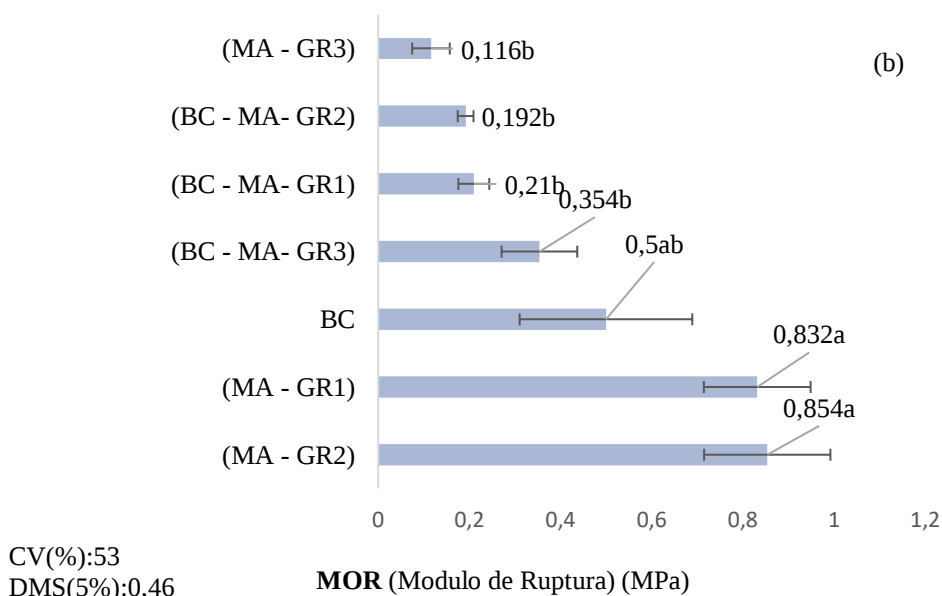
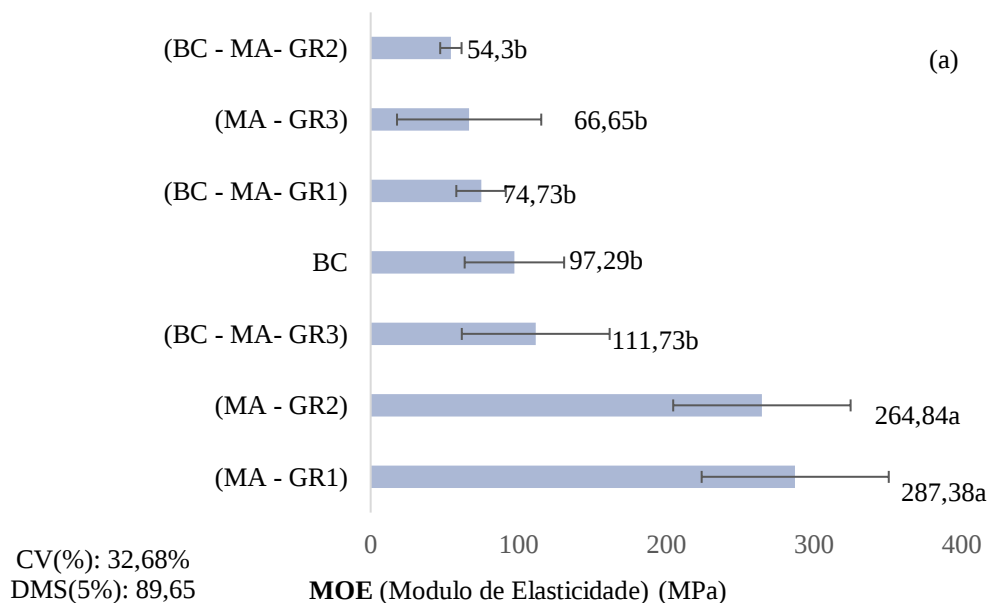


Gráfico 5 – (a) Valores médios do MOE; (b) MOR obtidos à flexão estática

Letras diferentes diferenciam significativamente pelo teste Tukey a 5% de significância. Barras de erro representam desvios padrão. DMS: Desvio Mínimo Significativo. CV: Coeficiente de Variação.

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);

Fonte: Autora (2023).

A densidade foi um fator que favoreceu essas formulações, sendo que esses corpos de prova apresentam alta densidade ($0,27 \text{ gcm}^{-3}$), permitindo maior aderência das partículas com a matriz de amido, formando um material mais rígido à flexão estática.

Mohammadabadi *et al.* (2020) descrevem que, para produtos à base de madeira, a variação na densidade pode afetar as propriedades do material. Observa-se que, uma maior densidade, promove um módulo de elasticidade maior e, conseqüentemente, maior resistência, sendo essa variação também esperada devido a heterogeneidade e anisotropia da madeira.

As formulações (BC-MA-GR3), BC, (BC-MA-GR1), (MA-GR3) e (BC-MA-GR2) foram estatisticamente iguais entre si, contudo, a formulação (BC-MA-GR2) apresentou menor MOE (54,3 MPa), o que permite observar que a presença de bagaço de cana, na mistura com madeira o (MA - GR2), diminui a resistência mecânica. Esse efeito também foi encontrado em outras formulações que contém essa fibra, como o (BC-MA-GR3) e o (BC-MA-GR1), e a formulação com 100% da fibra BC, devido à baixa densidade do bagaço de cana.

Vivian *et al.* (2022) explicam que os resultados de baixa densidade a granel pode ser esclarecidos pela heterogeneidade do material e as características dos resíduos, uma vez que, quanto maior a granulometria do material, maior serão os espaços vazios dentro do recipiente, ocasionado, assim, uma menor massa e, conseqüentemente, uma menor densidade. Além disso, o bagaço apresenta baixa densidade aparente, alto teor de cinzas e extrativos, baixo teor de lignina, e fibras com comprimento moderadamente longo, o que confere menor resistência, quando comparada a fibras de madeira.

A adição de fibras de bagaço de cana, seja nas proporções de 50 ou 100%, causam um efeito negativo no MOE desses compósitos, o que indica que a proporção deve ser ajustada até obter um equilíbrio que alcance melhor compatibilidade entre essas fibras. Embora os tubetes de bagaço de cana apresentem baixa resistência, eles demonstraram uma capacidade de biodegradação superior a todas as formulações, o que indica que a resistência mecânica é inversamente proporcional a capacidade de biodegradação.

Apenas o tratamento (MA-GR3) com 100% de fibra de madeira apresentou menor rigidez, o que pode ter ocorrido devido a granulometria, que foi a maior dentre as testadas. A área específica dessas partículas não ofereceu compatibilidade adequada com a matriz, gerando uma menor adesão, o que resultou em menor resistência.

O mesmo padrão de resistência também foi observado pelo MOR, em que o compósito (MA-GR2) e serragem (MA-GR1), tiveram os maiores limites de ruptura quando aplicada a força de flexão. A densidade e granulometria tiveram a mesma influência também no MOR, sendo que uma maior granulometria de fibra de madeira no tratamento (MA-GR3) pode ser um fator limitante na produção desses tubetes, pois o

mesmo resiste menos ao rompimento e apresenta alta solubilidade em água, tendo sua estrutura e durabilidade comprometidas, não sendo indicado para mudas com um ciclo maior e que tenham uma alta demanda hídrica.

6.7. Ensaio mecânico de Tração

Os corpos de prova submetidos ao teste de tração reproduziram os padrões de resistência encontrados para a flexão. Foi possível observar que apenas o material composto por (MA-GR2) e serragem (MA-GR1) foram estatisticamente iguais entre si, e apresentaram diferença estatística entre as demais formulações. O corpo com material de reforço (MA-GR2) apresentou a maior média dentre os tratamentos, suportando mais carga de força. A madeira, como material de reforço nesse trabalho apresentou uma característica de variação atrelada a granulometrias e densidade (Gráfico 6).

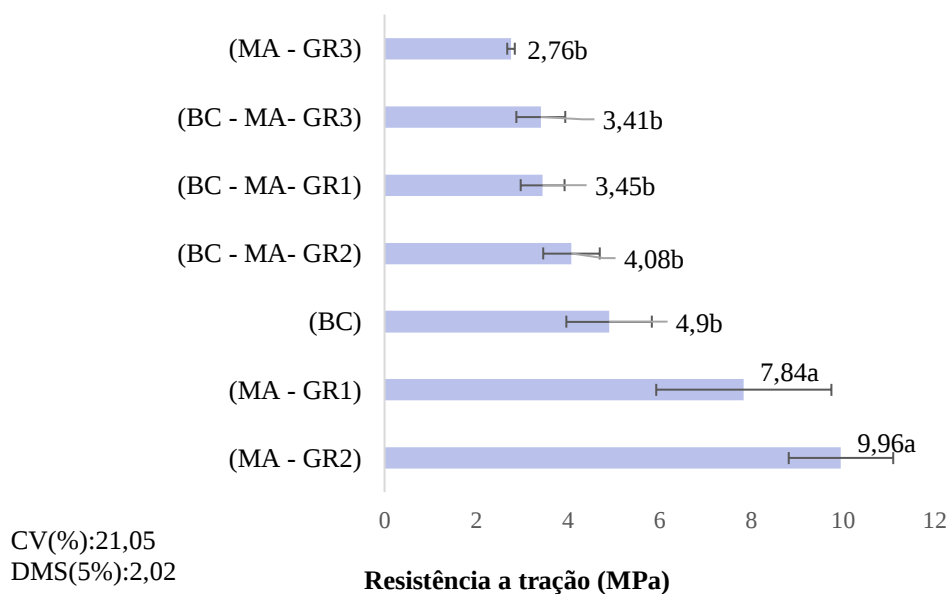


Gráfico 6 – Resistência a tração (MPa) dos corpos de prova das formulações testadas

Letras diferentes entre linhas na mesma coluna representam diferença significativa com nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm);

Fonte: Autora, 2023.

A resistência a flexão e a tração em recipientes biodegradáveis para mudas ainda é um parâmetro pouco estudado, contudo, com o que a literatura relata, é possível observar que os tubetes do presente estudo estão condizentes com alguns materiais, já avaliados. Juanga-Labayen e Yuan (2021), testando recipientes de resíduos com 20% de algodão; 40% de jornal; 40% de papelão, alcançaram resistências à tração e flexão de

5,40MPa e 11,34MPa, respectivamente. Ji *et al.* (2021) encontraram resultados semelhantes, com desempenho inferiores, utilizando fibra de sisal e matriz de amido de milho com 2,7MPa de tração, como visto no corpo de prova MAR (2,76 MPa).

Valores próximos a resistência a tração das formulações (BC-MA-GR2), (BC-MA-GR2) e (BC-MA-GR3) foram semelhantes aos obtidos por Paudel *et al.* (2022). Os autores testaram três tipos de vasos de mudas de papel, com 0%, 3% e 5% de aditivos, denominados N0, N3 e N5 apresentando maior resistência em N3 (3,9 MPa), seguido de N0 (3,8 MPa) e N5 (3,1 MPa).

Entretanto, quando comparado a outros recipientes de mudas, as formulações testadas foram superiores aos encontrados por Saepoo *et al.* (2023), sendo obtido 1,5MPa de tração com fibra de dendezeiro na forma de pó e amido de mandioca. Bandejas biodegradáveis da marca Wood Fiber (Fertil International, Boulogne Billancourt, França) composta por 80% de fibra de madeira e 20% de turfa apresentaram resultados inferiores, com resistência a tração de 1MPa (Zhang; Wang; Chen, 2019).

Em termos de resistência mecânica os tubetes de (MA - GR2) e serragem (MA - GR1) se destacaram como os mais resistentes o que mostra que esses materiais quando submetidos a condições de campo serão capazes de suportar cargas físicas maiores, como o impacto da irrigação, manipulação, transporte, contudo esses materiais requerem um tempo de degradação maior.

Os tubetes fabricados a partir de 100% de bagaço de cana e 50% de partículas de baço de cana com 50% de madeira (GR3) apresentaram uma resistência menor se comparada as anteriores. Outros testes como o de solubilidade em água mostraram que essas fibras possuem uma alta solubilidade que prejudica estrutura física e dessa maneira o seu uso está limitado pelo excesso de água e pela resistência.

As demais formulações apresentaram resistência mecânica inferiores contudo, possuem capacidade de biodegradação sendo indicado seu uso por um período menor como forma de solucionar essa condição.

6.8. Teste de biodegradação: enterramento dos tubetes em solo e monitoramento

O teste de biodegradação permitiu identificar a capacidade de degradação desse material compósito no solo onde, o tubete que sofreu algum ponto de ruptura e perda de massa, é considerado em processo de degradação.

Em todo o período analisado, observou-se que o tratamento com a granulometria em GR2 (3 – 10 mm), foi o único que apresentou resistência em todas as repetições analisadas, se mantendo íntegro e rígido, ao contrário dos demais, que sofreram algum tipo de ruptura, pequena ou total, e amolecimento.

Em um período de 30 dias, todos os tratamentos apresentaram algum tipo de alteração estrutural, exceto o (MA-GR2). Os tubetes de serragem se mostraram quebráveis, com 90% das observações apresentando rupturas. A formulação controle (BC) e as (MA-GR3) se mostraram mais esfareláveis e menos rígidas que as demais, e foram identificadas rupturas em todas, exceto no BC-R2, assim como no (MA-GR3) – R1e R4. Após os 60 dias, foram encontradas rupturas em todas as repetições desses tratamentos, exceto no (MA-GR1) - R1, onde foi encontrado um tubete intacto.

Os tratamentos com adição de partículas de cana, aos 30 dias após o enterramento, apresentaram um amolecimento e ruptura em sua estrutura, devido à alta absorção de água. A formulação (BC-MA-GR1) apresentou ruptura em apenas dois tubetes (R3 e R4). No tratamento (BC-MA-GR2), a desintegração não foi satisfatória nesse período, contudo, no próximo mês já se mostrou bem avançada. Para o (BC-MA-GR3), foi observado comportamento semelhante, onde foi encontrado apenas dois tubetes com rupturas (R2 e R3) e, aos 60 dias, o processo foi mais avançado. Observa-se que, a adição de partículas de cana, auxilia os tratamentos com (MA - GR2) a se desintegrarem melhor, portanto, essa combinação de diferentes partículas se mostra mais eficaz quanto a degradação (Figura 10).



Figura 10 – Tubetes antes e após o enterramento no período de 60 dias

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5 mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20 mm).

Fonte: Autora, 2023.

No período de 60 dias de biodegradação, a granulometria, densidade a granel e aparente foram novamente fatores que influenciaram diretamente na resistência estrutural dos tubetes, no qual foram identificados um número maior de rupturas e esfarelamento em tubetes fabricados com partículas de densidade mais baixa, como o bagaço de cana e a adição da mesma, promovendo um esfarelamento maior. O mesmo foi observado quando se relaciona a granulometria, sendo que, à medida em que se aumenta a granulometria nas formulações, tem - se um maior esfarelamento, e o contrário acontece com a granulometria menor, como a serragem, que promove tubetes mais rígidos e quebráveis.

Todas as formulações utilizadas para os tubetes caracterizam-se como materiais de fácil degradação estrutural quando enterrados, exceto o (MA-GR2). Portanto, a maioria das formulações são classificadas como plantáveis, por ter uma degradação mais rápida. Isso demonstra um resultado satisfatório no requisito desintegração estrutural, ao contrário do tubete (MA-GR2), que se encaixa como recipiente compostável, por não sofrer desintegração nesse período, o que demonstra a necessidade de um tempo maior comparado aos demais.

Tomadoni *et al.* (2020) classificam recipientes compostáveis como aqueles que não podem ser enterrados diretamente no solo, mas, uma vez realizado o transplante, podem ser colocados em uma composteira ou aterro sanitário, onde serão biodegradáveis. Os recipientes plantáveis têm a principal vantagem de poderem ser enterrados juntamente com plantas jovens ou mudas, diretamente no solo, tornando o processo de transplante e limpeza de campo mais rápido e fácil, pois não há descarte de potes (resíduos zero). Portanto, o uso de biopots plantáveis pode reduzir o esforço de trabalho agrícola, custo e contaminação ambiental.

A taxa de biodegradação por perda de massa corrobora com o que foi observado na degradação visual, onde os tratamentos com maior perda de massa foi o controle (BC) com 38,46%, onde apresentou diferença significativa nos primeiros 30 dias. O tubete (BC-MA-GR3) com 36,25% também apresentou uma maior perda de massa contudo não apresenta diferença significativa em ambos os períodos, essa maior perda de massa se deve a presença do bagaço de cana como material de reforço, tabela 6.

Tabela 6 – Biodegradação por perda de massa dos tubetes em 30 e 60 dias

Formulações dos tubetes	Período de enterramento	
	30 dias	60 Dias
	Taxa de biodegradação (%)	
BC	34,7a	38,46 a
(BC - MA- GR3)	33,31ab	36,25 a
(BC - MA- GR1)	28,08 ab	35,44 a
(MA - GR3)	25,60 ab	31,43 a
(BC - MA- GR2)	24,74 ab	30,74 a
(MA - GR1)	22,01ab	27,44 a
(MA - GR2)	18,34 b	20,01 a
CV (%)	28	33,13
DMS (5 %)	15,11	21,3

Fonte: Autora (2023)

BC: Tratamento controle com partículas de bagaço de cana; MA: partículas de madeira; Granulometrias: GR1: (0,5 – 2,5mm); GR2 (3 – 10 mm); GR3: (5 – 20mm);

Esse processo mais rápido ocorre devido a composição dos filmes, que contêm celulose, que tendem a diminuir o seu peso acentuadamente com o tempo de degradação. A celulose tem uma meia-vida de degradação ($t_{1/2}$) no solo a 10-20°C, entre 30 e 42 dias e, após 2 meses, a celulose é decomposta em CO₂ e água (Zhang *et al.*, 1996). Os polímeros sintéticos são geralmente resistentes ao ataque de fungos e bactérias, no entanto, os compósitos com fibras vegetais permanecem suscetíveis à degradação biológica que converte um material em CO₂ ou CH₄ (em condições anaeróbicas), água, vestígios de produtos inorgânicos e biomassa por microrganismos (bactérias, fungos, algas).

O tratamento BC controle apresentou diferença significativa com a maior média de perda de massa em 30 dias (34,7 %), quando comparado com as demais formulações, a presença de partículas de bagaço de cana combinadas com as de madeira promoveram um aumento positivo de perda de massa nos tratamentos, exceto para (BC-MA-GR2). A granulometria também exerce influência na taxa de biodegradação, os tubetes com as menores granulometrias (MA-GR2 e MA-GR1) apresentaram a menor biodegradação em ambos os períodos estudados.

A taxa de biodegradação pode ser observada na desintegração visual, em que coloca o tubete (MA-GR2) na condição de um tubete compostável, por ter uma resistência mecânica maior, com taxa de degradação de 18,34% e 20,01%, sendo muito baixa, comparada aos demais tratamentos. Portanto, as partículas de madeira (MA-GR2) sozinhas não tornam eficiente a degradação, sendo interessante adicionar partículas de bagaço de cana, como foi observado no tratamento (BC-MA-GR2), que conseguiu alcançar uma melhor biodegradação. De modo geral, a resistência mecânica dos polímeros é inversamente proporcional a sua biodegradabilidade, conferindo dificuldades para a aplicabilidade de polímeros biodegradáveis (Junior, 2017).

Com esses resultados, é possível concluir que, todas as formulações dos tubetes se apresentam como recipientes capazes de se biodegradar seja rápida ou lentamente, o tubete que apresentou melhor desempenho nesse aspecto foi o que contém bagaço de cana, contudo a alta absorção de água e solubilidade afetaram a estrutura desse material o que pode comprometer o seu uso, principalmente quando submetido as regas durante o período de viveiro onde a irrigação é constante.

Ponce, Naime e Brant (2017), ao utilizarem fibras de bagaço de cana para construção de tubetes, observaram também esse efeito de biodegradação melhor do que com outras fibras, alcançando a degradação total em 60 dias, em razão da baixa densidade

da fibra. Essa condição reflete na resistência mecânica que é diminuída, fato que foi observado nesse tubete, materiais menos resistentes tendem a sofrer rupturas na sua estrutura o que compromete a sua utilização.

A combinação das partículas de madeira com as de cana-de-açúcar que promoveram resultados promissores foi o (BC-MA-GR3), pois a biodegradação e a resistência mecânica foram satisfatórias, os demais tratamentos com essa mistura não apresentaram diferença significativa e tendo como pior desempenho o (BC-MA-GR2) na relação degradação e resistência mecânica.

Algumas combinações de resíduos podem promover diferenças no tempo de degradação em razão do tipo, quantidade e compatibilidade de reforço e matriz. Bastos (2022), utilizando resíduos da agroindústria como cama de aves, biodigestato sólido de bovinos e bagaço de malte na construção de tubetes, obteve um período de decomposição maior com 90/180 dias.

O tubete (MA-GR2) e (MA-GR1) apresentaram as menores taxas de biodegradação, em ambos os períodos observados, essa característica observada é em virtude da alta densidade ($0,27 \text{ gcm}^{-3}$) desses compósitos comparada aos demais tratamentos, o que forma um material mais rígido que não favorece a biodegradação, portanto esse material se degrada lentamente, necessitando de um período superior a dois meses para se degradar completamente, o que indica que o seu uso deve ser para períodos maiores de viveiro com ciclo de produção de mudas superior a 60 dias.

7. CONCLUSÃO

Os tubetes formulados se apresentam como uma forma viável de reaproveitamento de resíduos agroindustriais, uma vez que são feitos a partir de resíduos vegetais de fácil obtenção e de biopolímeros, com o amido de milho livres de plástico sintético e com capacidade de se biodegradar.

Partículas lignocelulósicas com baixa densidade, como o bagaço de cana, possuem uma capacidade de absorção alta de água, o que favorece o processo de biodegradação, contudo, tem sua resistência estrutural e mecânica diminuídas, principalmente na formulação com 100% desse material como reforço, o que compromete o uso dos tubetes.

Todas as formulações utilizadas para os tubetes caracterizam-se como materiais capazes de se degradar no solo. A maioria das formulações é classificada como plantáveis, como BC, (BC-MA-GR3), (BC-MA-GR2), (MA-GR3), (BC-MA-GR2), o que permite o plantio desses tubetes com a muda no solo.

O tubete (MA-GR2) apresentou uma degradação mais lenta se comparada com as demais, esse material requer um tempo superior a 60 dias para completa degradação, portanto recomenda-se que após o plantio o tubete seja descartado em sistema de compostagem para acelerar o processo biodegradativo. Contudo essa característica não impede o seu uso para o plantio de mudas, pois dentre os testados esse material oferece uma resistência mecânica maior o que demonstra uma melhor durabilidade.

Dentre as formulações que combinam bagaço de cana e madeira a que apresentou melhores resultados foi a (BC-MA-GR3) por atenderem melhor os parâmetros de resistência física, leveza, boa capacidade de reter água e melhor biodegradação, podendo ser plantado diretamente com a muda no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR-RIVERA, N. Bioindicators for the sustainability of sugar agro-industry. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3: 651-661, p. 651-661, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01105-z>. Acesso em: set. 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D570-98**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken, PA, United States, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E104**: Standard practice for maintaining constant humidity by means of aqueous solutions, Philadelphia, PA, United States, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G160 – 03**: Standard practice for Evaluating Microbial Susceptibility of Nonmetallic Materials By Laboratory Soil Burial, West Conshohocken, PA, United States, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6003-96**: Standard method for determining weight loss from plastic materials exposed to simulated municipal solid-wast (MSM) aerobic compost environment”. Philadelphia, PA, United States, 1996.

ARAUJO, B. A.; FREITAS, L. S. de; SARMENTO, K. K. F.; BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P. de; MEDEIROS, K. M. de. The application of biodegradable polymers as a sustainable alternative. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e49010918248, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.18248. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18248>. Acesso em: 26 set. 2023.

ARAÚJO, K. S.; FRAIHA, P. S.; VITOR, A. V. P. B.; VINENTE, R. M.; ELGRABLY, S. P. Potencial de aplicação de resíduos de madeira oriundos do pó de serragem como material de construção. *In*: ANDRADE, D. F. (ed.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia**, v. 2. 1 ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019, p. 27-35. Disponível em: 10.36229/978-85-7042-203-3. Acesso em: 15 mai. 2023.

DE ARAUJO, V. A.; BIAZZON, J. C.; CORTEZ-BARBOSA, J.; MORALES, E. A.; GAVA, M.; GARCIA, J. N. Timber housing production systems in Brazil. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry. **Agricultural Food Engineering**, p. 69-80, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.6>. Acesso em: 15 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**: Carvão vegetal - Ensaio físico determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro: ABNT, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AZEVEDO, L. C.; SÁ, A. S. C.; ROVANI, S.; FUNGARO, D. A. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, p. 351-358, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v11i2.23173>. Acesso em: set. 2022.

BADR, N. M.; ALI, M. F.; EL HADIDI, N. M. N.; NAEEM, G. A. Identification of materials used in a wooden coffin lid covered with composite layers dating back to the Ptolemaic period in Egypt. ARP - Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal. **Conservar Património**, v. 29, p. 11-24, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.6>. Acesso em: 21 abr.2022.

BASTOS, C. R. **Tubetes biodegradáveis e compostáveis produzidos a partir de resíduos agroindustriais**. Depositante: Claudio Rocha Bastos. BR 102020013631- 3 A2. Depósito: 2 jul. 2020. Concessão: 11 jan. 2022. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR202015015671U2/pt?q=tubetes+biodegradaveis&patents=false&oq=tubetes+biodegradaveis&page=2>.

BISSOLI-DALVI, M.; FERRES, S. C.; ALVAREZ, C. E.; FUICA, G.E.S. Avaliação da Sustentabilidade da Madeira por Meio da Ferramenta ISMAS. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.077214>. Acesso em: 25 mai. 2022.

BRANT, J. C.; NAIME, N.; LUGÃO, A. B.; PONCE, P. Tubetes biodegradáveis fabricados a partir de compósitos de Biopolímero e bagaço de cana-de-açúcar. **Anais...** 12º Congresso Brasileiro de Polímeros Florianópolis - SC. Anais. Out. 2011.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: jul. 2023.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.

CHAN, M. C.; VANDI, L. J.; PRATT, S.; HALLEY, P.; RICHARDSON, D.; WERKER, A.; LAYCOCK, B. Insights into the biodegradation of PHA/wood composites: Micro-and macroscopic changes. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 21, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00099>. Acesso em: jul. 2023.

Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). Acompanhamento da safra brasileira: **Cana- de-açúcar (2023)**. Brasília: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5124-producao-de-cana-de-acucar-e-estimada-em-652-9-milhoes-de-toneladas-influenciada-por-boa-produtividade>. Acesso em: 23 set. 2023.

DAS, O.; BABU, K.; SHANMUGAM, V.; SYKAM, K.; TEBYETEKERWA, M.; NEISIANY, R. E.; FÖRSTH, M.; SASÁ, G.; GONZÁLEZ-LIBREROS, J.; CAPEZZA, A. J.; HEDENQVIST, M. S.; BERTO, F.; RAMAKRISHNA, S. Natural and industrial wastes for sustainable and renewable polymer composites. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 158, p. 112054, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112054>. Acesso em: set. 2023.

DEBIAGI, F.; IVANO, L. R. P. F. M.; NASCIMENTO, P. H. A.; MALI, S. Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 2, p. 57 - 67, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2316-5200.2012v1n2p57>. Acesso em: jul. 2023.

DIAS, R. S. M.; ANDRADE, J. S.; SILVA, D. S.; SILVA, F. X. L.; ROCHA, T. O. S.; SILVA, E. P.; HONORATO, P. A.; SILVA, I. S.; GOMES, I. S.; MIRANDA, G. F.; NASCIMENTO, A. S.; FUJIYAMA, R. T. Metodologia de ensino didático no laboratório para fabricação de placas de poliéster reforçados por fibras naturais de juta de 5mm. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 1, p. 212-226, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34115/basr.v3i1.725>. Acesso em: jul. 2023.

DÍAZ, A. P.; LOURDIN, D.; VALLE, G. D. Thermomechanical characterization of an amylosefree starch extracted from cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). **Carbohydrate Polymers**, v.157, p. 1777– 1784, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.058>. Acesso em: jul. 2023.

DINIZ, P.; WERNECK, D.; FREITAS, A.; SANTOS, G.; VALVERDE, S.; NASCIMENTO, R. **Campo & Negócio**, Sistema Ellepot: Novo Paradigma para a silvicultura Mundial. Ano X, nº 60 – julho /agosto, ISSN 2316-6312, 38p. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Campo-e-Negocios-Florestas-202207-08.pdf>. Acesso em: set. 2023.

DOBROVOLSKI, E. G. **Problemas, destinação e volume dos resíduos da madeira na indústria de serrarias e laminadoras da região de Irati-PR**. Ponta Grossa, 1999. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

DUMAS, J. B. A. Procédés de l’analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique*, 47, p. 198-205, 1831.

EGBO, M. K. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 33, n. 8, p. 557-568, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>. Acesso em: set. 2023.

ELLEPOT, Grow Smarter. **Planting System**. Storstrømsvej, Denmark, 2023. Disponível em: <https://www.ellepot.com/pt/produtosellepot/#:~:text=Os%20Ellepot%20s%C3%A3o%20perme%C3%A1veis%20C3%A0,plantas%20da%20mais%20alta%20qualidade>

. Acesso: set. 2023.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4567>. Acesso em: fev. 2022.

FARIAS, S. S.; SIQUEIRA, S. M. C.; CRISTINO, J. H. S.; ROCHA, J. M. Biopolímeros: Uma Alternativa para Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, 61-77, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revistageonorte/article/view/2759/2495>. Acesso em: jul. 2023.

FERRAZ, M. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n1p74-83>. Acesso em: 05 jul. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 05 dez. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FONTES P. J. P. **Autossuficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos**. 1994. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

FRANCO, P. C. I.; FARIA, M. L.; BILICK, A. P. Preparo e caracterização de filmes biodegradáveis reforçados com fibras de cana-de-açúcar. In: FRANCO, Paula. **Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. p. 1-9. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqPics/1311430109P581.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FUENTES, R. A.; BERTHE, J. A.; BARBOSA, S. E.; CASTILLO, L. A. Development of biodegradable pots from different agroindustrial wastes and byproducts. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 30, p. e00338, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00338>. Acesso em: 02 mai. 2023.

GOMES, J. W.; GODOI, G. S.; SOUZA, L. G. M. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, [S. l.], v. 27, n. especial, p. 8-55, 16 mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1915>. Acesso em: 02 mai. 2023.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 1, p. 206-211, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x>. Acesso em: 10 out. 2022.

GUTIÉRREZ CARMONA, T. J.; MORALES MENDOZA, N. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E. Corn Starch 80:20 Waxy: regular, native and phosphated, as bio-matrixes for edible films. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 304-310, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.077>. Acesso em: out. 2022.

HAASE, D. L.; BOUZZA, K.; EMERTON, L.; FRIDAY, J. B.; LIEBERG, B.; ALDRETE, A.; DAVIS, A. S. The high cost of the low-cost polybag system: a review of nursery seedling production systems. **Land**, v. 10, n. 826, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land10080826>. Acesso em: 02 out. 2022.

HAASE, D. L.; DAVIS, A. S. Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. **Reforesta**, v. 4, p. 69-93, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21750/REFOR.4.06.45>. Acesso em: 15 out. 2022.

HENRIQUE, C. M. **Caracterização de filmes de féculas modificadas de mandioca como subsídio para aplicação em pós-colheita de hortícolas**. 2002. 142p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/c73d3f31-2b91-4988-8181-1706b63c7613>. Acesso em: 30 jun. 2022.

HONG, M.; CHEN, E. Y. X. Future directions for sustainable polymers. **Trends in Chemistry**, v.1, p.148. 2019.

INACIO, C. de T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663578>. Acesso em: jul.2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Estatístico 2019**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Estatístico 2020**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2020-final.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

JI, M.; LI, F.; LI, J.; LI, J.; ZHANG, C.; SUN, K.; GUO, Z. Enhanced mechanical properties, water resistance, thermal stability, and biodegradation of the starch-sisal fibre composites with various fillers. **Materials & Design**, [S. l.], v. 198, p. 109373, jan. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109373>. Acesso em: 10 out. 2022.

JUANGA-LABAYEN, J. P.; YUAN, Q. Making Biodegradable Seedling Pots from Textile and Paper Waste - Part B: development and evaluation of seedling pots. **International Journal o Environmental Research and Public Health**, [S. l.], v.

18, n. 14, p. 7609, 17 jul. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18147609>. Acesso em: mai. 2023.

JUNIOR, E. S.; SILVA, P. da.; KAULICH, R. L.; SILVA, V. C. da. **Processo para fabricação de produtos e artefatos a partir de compostos naturais e renováveis para uso na área agrícola, florestal, ornamental e outras**. Depositante: Elias Sahade Júnior, Percio da Silva, Ricardo Lopes Kaulich, Vitor Carlos da Silva. PI0802333-6 A2. Depósito: 30 jun. 2008. Concessão: 15 mar. 2011. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BRPI0802333A2/pt?q=tubetes+biodegradaveis&inventor=Elias+Sahade&patents=false&oq=tubetes+biodegradaveis+Elias+Sahade>

JUNIOR, I. T.; BOSCO, T. C. D.; BERTOZZI, J.; OLIVEIRA ROGER, S.M.O.; MICHELS, N. Compostabilidade de embalagens biodegradáveis. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: Resultados de Pesquisas Acadêmicas, 1st ed., T. C. Dal Bosco, Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2017, p. 266 p.

KATAKOJWALA, R.; KUMAR, A. N.; CHAKRABORTY, D.; MOHAN, S. V. Valorization of sugarcane waste: prospects of a biorefinery. In: **Industrial and municipal sludge**. Butterworth-Heinemann, p. 47-60. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00003-9>. Acesso: set. 2023.

KNUTH, F. A.; GONÇALVES, M. R. F.; GATTO, D. A.; KNUTH, R. D. Feixes de fibras Lignocelulósicas refinadas mecanicamente em compósitos cimentícios para avaliação da resistência à tração. **TECNO-LÓGICA (UNISC)**, v. 21, p. 46 - 50, jul./dez. 2017. Disponível: <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v21i2.8784>. Acesso em: mai. 2022.

KUMAR, A.; KUMAR, V.; SINGH, B. Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: Potential, challenges and future perspective. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 169, p. 564 - 582, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.175>. Acesso em: 25 set. 2023.

KURUSU, R. S. **Efeito do tempo e do recozimento nas propriedades mecânicas de biodegradação de materiais baseados em poli (3-hidroxibutanoato) (PHB)**. 101f. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2011.tde-01112011-122640>. Acesso: ago.2022.

KUSUMA, H. S.; PERMATASARI, D.; UMR, W. K.; SHARMA, S. K. Sugarcane bagasse as an environmentally friendly composite material to face the sustainable development era. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03764-2>. Acesso em: set. 2023.

LAUXEN, S. D.; LUCCA SÁNCHEZ, F. A.; MARQUES, A. C. Estudo da viabilidade de fabricação de filamentos compósitos sustentáveis para impressão 3D a partir de uma matriz PLA reforçada com resíduos de fibras de madeira. **MIX Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 115 - 126, 2021. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4894>. Acesso em: 9 ago. 2022.

LAZARINI, R. G.; MARCONCINI, J. M. Sugarcane bagasse fibers at high contents in thermoplastic composites: A novel approach using agro-industrial residue via thermokinetic mixing. **Polymer Composites**, v. 42, n. 9, p. 4860-4871, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pc.26195>. Acesso em: jul.2023.

LEAL, R. C.; MOITA, N. J. M. Amido: Entre a ciência e a cultura. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 75-78, 2013.

LÍBANO, E. V. D. G.; PEREIRA, P. S. C.; BASTOS, D. C.; COELHO, K. V. S. Estudo da influência do teor de fibras e de compatibilizante na obtenção de compósitos de polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc) com fibras de bagaço de cana-de-açúcar (BCA). **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 43, p. 49-61, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v15.n43.3094>. Acesso em: jul. 2023.

LI, Z.; WANG, J.; CHENG, L.; GU, Z.; HONG, Y.; KOWALCZYK, A. Improving the performance of starch-based wood adhesive by using sodium dodecyl sulfate. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 579-583, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.062>. Acesso em: jun. 2023.

LOURDIN, D.; COIGNARD, L.; BIZOT, H.; COLONNA, P. Influence of equilibrium relative humidity and plasticizer concentration on the water content and glass transition of starch materials. **Polymer: The Chemistry, Physics and Technology of High Polymer**, London, v. 38, n. 21, p. 5401- 5406, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(97\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(97)00082-7). Acesso em: jun. 2023.

GROTTO, C. G. L; COSTA, A. M. F.; COLARES, C. J. G.; PEREIRA, D. H. Caracterização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar com vistas energéticas. **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 1, e00928, jan./jun. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e928>. Acesso em: jun. 2023.

LUZ, S. M. D.; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO JR, A. P. Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 11, p. 101-110, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762006000200004>. Acesso em: 23 mar. 2022.

LUYT, A. S.; MALIK, S. S. Can biodegradable plastics solve plastic solid waste accumulation?. In: **Plastics to Energy**. William Andrew Publishing, p. 403-423. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00016-9>. Acesso em: jun.2023.

MADHU, S.; DEVARAJAN, Y.; NATRAYAN, L. Effective utilization of waste sugarcane bagasse filler-reinforced glass fibre epoxy composites on its mechanical properties - waste to sustainable production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, p. 1 - 8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03792-y>. Acesso em: set. 2023.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Starch films: production, properties and potential of utilization. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, p. 137-156, 2010. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744095013>. Acesso em: mai. 2022.

MANAFI-DASTJERDI, M.; EBRAHIMI-NIK, M.; ROHANI, A.; LAWSON, S. Production of biodegradable pots from cattle manure and wood waste: effects of natural binders on mechanical performances and biodegradability. **Environmental Science And Pollution Research**, [S. l.], v. 29, n. 14, p. 20265-20278, nov. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-17235-6>. Acesso em: mai.2023.

McHUGH, T. H; KROCHTA, J. M. Sorbitol- vs glycerol – plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 4, p. 841-845, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf00040a001>. Acesso em:15 mai. 2022.

MINILLO, L. Q. **Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucroalcooleira para produção de painéis aglomerados**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/150031>. Acesso em: jul. 2021.

MOHAMMADABADI, M.; JARVIS, J.; YADAMA, V.; COFER, W. Predictive models for elastic bending behavior of a wood compósito sandwich panel. **Forest**, v. 11, n. 6, 624p. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f11060624>. Acesso em: jun. 2023.

MOHAMMED, A. A. B. A.; HASAN, Z.; OMRAN, A. A. B.; KUMAR, V. V.; ABDULHAFID M.; ILYAS, R. A.; SAPUAN, S. M. Corn: its structure, polymer, fiber, composite, properties, and applications. **Polymers**, [S. l.], v. 14, n. 20, p. 4396, 18 out. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/polym14204396>. Acesso em: jun. 2023.

MOLAVI, H.; BEHFAR, S.; SHARIATI ALI, M.; KAVIANI, M.; ATAROD, S. A Review on Biodegradable starch based film. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**. v. 4, n. 5, p. 456-461, 2015. Disponível em: doi: 10.15414/jmbfs.2015.4.5.456-461. Acesso em: set. 2022.

NÓBREGA, J. V. S.; LIMA, A. G. B.; MELO, G. B. C. A.; CARMONA, C. U. M.; CABRAL NETO, J. Estudo da absorção de água em compósitos com fibras vegetais: uma prática de gestão ambiental. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 294-310, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0023>. Acesso em: out. 2022.

NOGUEIRA, M. A. F. S.; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology**, v. 17, n. 17, p. 3275-3283, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117010444>. Acesso em: mai. 2023.

NUNES, R. S. B.; NASCIMENTO, A. A. do; SERRA, J. C. V. Obtenção e caracterização de compósitos poliméricos biodegradáveis produzidos com resíduos agroenergéticos (bagaço da cana-de-açúcar, amido de milho e glicerol). **Acta Ambiental Catarinense**, v. 1, n. 18, p. 156-169, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.24021/raac.v18i1.5466>. Acesso em: mai. 2023.

OLIVEIRA, V. R. L.; SANTOS, F. K. G.; LEITE, R. H. L. AROUCHA, E. M. M.; SILVA, K. N.O. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food chemistry**, v. 259, p. 55-64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.101>. Acesso em: mai. 2023.

ORELLANA, B. B. M. A.; VALE, A.T.; ORELLANA, J. B.P.; CHAVES, B. S.; MOREIRA, A. C. O. Caracterização de resíduos agroindustriais da região do distrito federal para fins energéticos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 1, p. 46-61, janeiro-março, 2020. ISSN 2359-6562 (ONLINE).

ORTIZ-FERNÁNDEZ, F. A.; CARRILLO-SÁNCHEZ, F. A; MAY-HERNÁNDEZ, L.H.; ESTRADA-LEÓN, R. J.; CARRILLO-ESCALANTE, H. J. F.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, F.; VALADEZ- GONZALEZ, A.; Design of experiments for optimization a biodegradable adhesive based on ramon starch (*Brosimum alicastrum* Sw.).

International Journal of Adhesion and Adhesives, v. 73, p. 28-37, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.11.004>. Acesso em: jun.2023.

PALACIOS-BERECHE, M. C.; PALACIOS-BERECHE, R.; ENSINAS, A. V.; GALLEGO, A. G.; MODESTO, M.; NEBRA, S. A. Brazilian sugar cane industry – A survey on future improvements in the process energy management. **Energia**, v. 259, p. 124, nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124903>. Acesso em: jun. 2023.

PATTERSON, R. K. Automated Pregl- Dumas Technique for Determining Total Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Atmospheric Aerosols. **Analytical Chemistry**, v. 45, n. 3, p. 5, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ac60325a050>. Acesso em: set.2023.

PAUDEL, B.; BASAK, J. K.; MADHAVI, B. G. K.; KIM, N.; LEE, G.; CHOI, G.; CHOI, Y.; KIM, H. T Properties of paper-based biodegradable pots for growing seedlings. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, [S. l.], v. 63, n. 6, p. 793-807, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13580-022-00457-z>. Acesso em: set. 2023.

PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2º versão online revisada, editada por João Carlos Andrade, 2008.

PEREIRA, A. C. O.; PÁDUA, F. A.; YAMAJI, F. M. Análise da influência da umidade do material na produção e resistência de briquetes, 6p. **Anais... Cibio** (Congresso Internacional de Biomassa), Curitiba /PR – Brasil, 2020.Disponível em:<https://doity.com.br/media/doity/submissoes/artigo-b3d995b9d6b252b7bdee76cafc90461eae2deb08-arquivo.pdf>>. Acesso em: set.2022.

PONCE, P.; NAIME, P.; BRANT, A. J. C. **Tubetes Biodegradáveis para germinação e plantio**. Depositante: Patrícia Ponce, Natália Naime, Antônio Jedson Caldeira Brant. BR 202017011927-6 U2. Depósito: 05 jun. 2017 Concessão: 17 out.2017. Disponível em:<https://patents.google.com/patent/BR202017011927U2/pt?q=tubetes+biodegradaveis&oq=tubetes+biodegradaveis>

PRAKASH, S. O. M.; SAHU, P.; MADHAN, M.; SANTHOSH, A. J. A Review on Natural Fibre-Reinforced Biopolymer Composites: Properties and Applications, **International Journal of Polymer Science**, vol. 2022, Article ID 7820731, 15 pages, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/7820731>. Acesso em: jul.2023.

PREILIPPER, U. E. M.; DALFOVO, W. C. T.; ZAPPAROLI, I. D.; MAROUBO, L. A.; MAINARDES, E. L. Aproveitamento do resíduo madeireiro na produção de energia termoelétrica no município de Marcelândia-MT. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Paraná, v. 36, p. 411- 428, 2016. Disponível em: 10.5380/dma.v.36, I0.39802. Acesso em: nov. 2022.

RAFEE, S. N. A. M.; LEE, Y. L.; JAMALLUDIN, M. R.; RAZAK, N. A.; MAKHTAR, N. L.; ISMAIL, R. I. Effect of different ratios of biomaterials to banana peels on the weight loss of biodegradable pots. **Acta Technologica Agriculturae**, v. 22, n. 1, p. 1 - 4, 2019. Disponível em: 10.2478/ata-2019-0001. Acesso em: jul. 2023.

RAMLEE, N. A.; MOHAMMAD, J.; ZAINUDIN, E. S.; YAMANI, S. A. K. Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 4, p. 3466-3474, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.016>. Acesso em: jul. 2023.

REZENDE, P. **Produção de mudas de café em saquinhos e tubetes**. Série Cafeicultura, Manual n. 299, p. 21-33, 2001.

RIBEIRO, C. E. **Tubete biodegradável para o cultivo e plantio direto ao solo de Mpb de cana-de-açúcar e outras variedades de plantas**. Depositante: Carlos Eduardo Ribeiro. BR 202015015671-0 U2. Depósito: 27 jun. 2015 Concessão: 27 jun.2017. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102020013631A2/pt?q=tubetes+biodegradaveis&oq=tubetes+biodegradáveis>

ROCHA, G. J. M.; PEREIRA, T. T.; VICENTE, V. M. N. (ed.). **Caracterização química de bagaço e palha de cana – de – açúcar**. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), nov. 2019. 19 p. Disponível em: https://lnbr.cnpem.br/wp-content/uploads/2020/12/Relatorio-Tecnico-Parcial-1_Apendice-2.pdf. Acesso em: jul.2023.

ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P.; DE MATOS PIRES, R. C.; XAVIER, M. A.; CANTARELLA, H.; GUIMARÃES, A. L. M. Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: Issues and way forward. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3, p. 941-966, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01170-y>. Disponível em: ago. 2023.

ROSSINO, L. S.; OLIVEIRA, R. C.; MORETO, J. A.; MANFRINATO, M. D.; PAIVA, J. M. F. Estudo comparativo da resistência à flexão da Madeira Plástica, Fibra de Madeira de Densidade Média, Pinus e Polipropileno submetidos aos condicionamentos de secagem, saturação de umidade e radiação UV. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos (REMAP)**, v. 14, n. 1, p. 11-18, 2019. Disponível

em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/658/477>. Acesso em: jul. 2023.

ROSA, D. S.; PANTANO FILHO, R. **Biodegradação: Um Ensaio com Polímeros**. São Paulo: Editora Moara, 2003.

ROSA, R. C. da. **Resíduos da indústria ervateira: caracterização e produção de briquetes e compósitos**. 2020. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19762/DIS_PPGEF_2020_ROSA_ROSSANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: out. 2022.

SAEPOO, T.; SARAK, S.; MAYAKUN, J.; EKSOMTRAMAGE, T.; KAEWTATIP, K. Thermoplastic starch composite with oil palm mesocarp fiber waste and its application as biodegradable seeding pot. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 299, p. 120221, jan. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120221>. Acesso em: jul. 2023.

SHAFQAT, A.; AL-ZAQRI, N.; TAHIR, A.; ALSALME, A. Synthesis and characterization of starch-based bioplastics using various plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 3, p. 1739-1749, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.015>. Acesso em: jul. 2023.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744083010>. Acesso em: jun.2022.

SILVA, C. P.; VIEIRA, R. S.; SILVA, I. C.; DORNELAS, A. S. P.; BARAÚNA, E. P. Quantificação de resíduos produzidos nas indústrias madeireiras de Gurupi, Tocantins. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00065613, 2018. Disponível em: 10.1590/2179-8087.065613. Acesso em: mai.2022.

SILVA, D. P.; CONTRI, M. A.; FARIA, S. C.; MORAES, S. L. Biomassa e tecnologias de adensamento para aplicação energética. **Revista Ipt | Tecnologia e Inovação**, [S. l.], v. 5, n. 16, p. 6-37, abr. 2021. Disponível em: <https://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/128>. Acesso em: mai. 2022.

SILVA, R. N.; LIMA, F. E. Estudo do impacto do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração. **Revista Geama – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, Recife, PE, v. 6, p. 25-33, ago. 2020. Quadrimestral. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3029/482483745>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, S. N.; GILL, B. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231, 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8). Acesso em: set. 2023.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, S. N.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v 81, p. 219-231, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8). Acesso em: ago. 2023.

SIQUEIRA, M. U.; CONTIN, B.; FERNANDES, P. R. B.; RUSCHEL-SOARES, R.; SIQUEIRA, P. U.; BARUQUE-RAMOS, J. Brazilian agro-industrial wastes as potential textile and other raw materials: a sustainable approach. **Materials Circular Economy**, v. 4, n. 1, p. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00050-2>. Acesso em: set. 2023.

SOARES, P. R.; MILAN, M.; JANKOWSKY, I. P.; KANIESKI, M. R.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Avaliação dos pontos críticos na manufatura de pisos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 407- 415, 2012. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr95/cap12.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.

SPOHR, D. L.; SÁNCHEZ, F. A. L.; MARQUES, A. C. Estudo da viabilidade de fabricação de filamentos compósitos sustentáveis para impressão 3D a partir de uma matriz PLA reforçada com resíduos de fibras de madeira. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 115-126, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n4.115-126>. Acesso em: jul.2022.

SUDHARSAN, K.; MOHAN, C. C.; BABU, P. A. S.; ARCHANA, G.; SABINA, K.; SIVARAJAN, M.; SUKUMAR, M. Production and characterization of cellulose reinforced starch (CRT) films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 83, p. 385-395, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.037>. Acesso em: jul. 2023.

SVIERSZCZ, P. R. O. **Sementeira tubete biodegradável de agave sisalana (sisal)**. Depositante: CBS ENERGIA LTDA - ME. Titular: PAULO RENATO OLIVEIRA SVIERSZCZ. BR 102020013631- 3 A2. Depósito: 6 jan. 2020. Concessão: 13 jul.2021.Disponívelem:<https://patents.google.com/patent/BR202020000248U2/pt?q=tubetes+biodegradaveis&patents=false&oq=tubetes+biodegradaveis&page=1>

THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics & Catalysing Action**. 2017. Disponível em: <https://rcbc.ca/wp-content/uploads/2022/08/EMF-The-New-Plastics-Economy-Rethinking-the-Future-of-Plastics-and-Catalysing-Action-2017.pdf>. Acesso em: mai. 2022.

TOMADONI, B.; MERINO, D.; ALVAREZ, V. A. Biodegradable materials for planting pots. **Advanced Application. Bio-Degrad. Green Composites. Materials Research Foundations**, v. 68, p. 85-103, 2020. Disponível em: 10.21741/9781644900659-4. Acesso em: 25 mai. 2023.

VALLEJOS, M. E.; FELISSIA, F. E.; KRUYENISKI, J.; AREA, M. C. Kinetic study of the extraction of hemicellulosic carbohydrates from sugarcane bagasse by hot water

treatment. **Industrial Crops and Products**, v. 67, p. 1- 6, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.058>. Acesso em: 23 mar.2022.

VENKATARAJAN, S.; ATHIJAYAMAN, A. **An overview on natural cellulose fiber reinforced polymer composites**. v. 37, Part 2, p. 3620 - 3624, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.773>. Acesso em: mai. 2023.

VIVIAN, M. A.; SANTOS, J. R. S. dos; SEGURA, T. E. S.; SILVA JÚNIOR, F. G.; BRITO, J. O. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e suas potencialidades para geração de energia e polpa celulósica. **Madera y Bosques**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 1-11, 2022. Semestral. Instituto de Ecologia, A.C. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2022.2812376>. Acesso em: mai. 2023.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0873>. Acesso em: nov. 2022.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto por sementes**. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). Produção de mudas de eucalipto. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 13-46.

WILDNER, M. V. **Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário**. 2015. Monografia (Graduação em Design) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, jun. 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/867>. Acesso em: abr.2023.

ZHANG, X.; WANG, C.; CHEN, Y.; Properties of selected biodegradable seedling plug-trays, **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 177-184, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.055>. Acesso em: abr. 2023.

ZHANG, L.; LIU, H.; ZHENG, L.; ZHANG, J.; DU, Y.; FENG, H. Biodegradability of regenerated cellulose films in soil. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 35, n. 12, p. 4682 - 4685, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie950624r>. Acesso em: ago. 2023.