



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE
MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

JUCIANE VIEIRA DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO DE SACOS DE QUITOSANA E CERA DE ABELHA PARA
MUDAS DE *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook**

MOSSORÓ/RN

2022

JUCIANE VIEIRA DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO DE SACOS DE QUITOSANA E CERA DE ABELHA PARA
MUDAS DE *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook**

Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, da Universidade Federal Rural do Semiárido, como requisito para obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais no Semiárido

Orientador: Prof Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite

Coorientadores: Profa. Dra. Elis Regina Costa de Moraes e Prof. Dr. Rafael Rodolfo de Melo

MOSSORÓ/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A848d Assis, Juciane Vieira de.
Desenvolvimento de sacos de quitosana e cera
de abelha para mudas de *Tabebuia aurea* (Manso)
Benth. & Hook / Juciane Vieira de Assis. - 2022.
56 f. : il.

Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite.
Coorientadora: Elís Regina Costa de Moraes.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2022.

1. bioplástico. 2. biodegradável. 3.
tensoativo. 4. filme. I. Leite, Ricardo Henrique
de Lima, orient. II. Moraes, Elís Regina Costa
de, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JUCIANE VIEIRA DE ASSIS

**DESENVOLVIMENTO DE SACOS DE QUITOSANA E CERA DE ABELHA PARA
MUDAS DE *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, da Universidade Federal Rural do Semiárido, como requisito para obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias sustentáveis e recursos naturais no semiárido

Defendida em: 31/01/2022

BANCA EXAMINADORA

**RICARDO HENRIQUE
DE LIMA**
LEITE:52264343400

Assinado de forma digital por
RICARDO HENRIQUE DE LIMA
LEITE:52264343400
Dados: 2022.02.02 16:37:16 -03'00'

Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite
(Presidente e orientador - UFERSA)

**Francisco Klebson
Gomes dos Santos**

Assinado de forma digital por
Francisco Klebson Gomes dos
Santos
Dados: 2022.02.02 16:48:56 -03'00'

Dr. Francisco Klebson Gomes dos Santos
(Examinador interno – UFERSA)



Dr. Thiago Azevedo de Oliveira
(Examinador externo – IFRN)

DEDICATÓRIA

Dedico a minha mãe e ao meu marido, que são as minhas maiores fontes de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de realizar mais um projeto em minha vida, mesmo passando por momentos tão adversos, consegui concluir mais esta fase na minha vida. Quero também agradecer a todas as pessoas que estiveram ao meu lado.

A minha mãe, Maria de Fatima, e a minha irmã, Juliane Vieira, e também a minhas outras mães de coração, Maria Aldenia e Ione Maria, obrigada por todo o apoio em todos os momentos.

Ao meu maior incentivador, meu marido, Thiago Henrique. Meu companheiro de vida, minha maior inspiração acadêmica e de dedicação, obrigada por tudo!

Aos amigos que levarei no coração e para vida, em especial Mariza Cláudia que sempre esteve comigo em todos os momentos, apoiando uma à outra, se tornou uma irmã.

Aos professores que contribuíram cada um do seu jeito para a minha formação acadêmica e profissional. Também aos técnicos dos laboratórios que me auxiliaram em cada momento desta pesquisa, em especial Francisco Leonardo e José Gustavo.

A toda a equipe do setor de mudas que me auxiliaram e não medindo esforços para realização deste trabalho.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado, à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), e ao Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, o qual tenho orgulho de ter feito parte.

E por fim, agradeço ao meu orientador a professor Dr. Ricardo Leite pelo incentivo e pela motivação para encarar mais esta etapa e por nunca medir esforços e sempre estando presente em cada momento desta pesquisa. Agradeço também aos meus coorientadores, professor Dr. Rafael Melo e a professora Dra. Elis Regina, pela orientação e pela dedicação, sempre que precisei vocês estavam ali para me auxiliar.

RESUMO

O setor agrícola utiliza diversos polímeros derivados de petróleo, como o polietileno e polipropileno. Esses materiais são usados principalmente na confecção de sacos para mudas, cobertura de solo, estufas, transporte e conservação de produtos agrícolas, entre outros. No entanto, quando esses materiais são descartados de maneira inadequada, podem causar diversos impactos ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes à base de quitosana com diferentes concentrações de cera de abelha e óleo de canola saponificado (tensoativo) e determinar qual apresenta melhores propriedades para a produção de sacos de mudas. Os filmes de quitosana foram produzidos com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8 e 15%) e tensoativo (10, 30 e 50%). Em seguida, foram realizadas as análises da solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água (PVA), cor, opacidade, propriedades mecânicas e análise morfológica dos filmes produzidos. Após se determinar a melhor concentração de cera de abelha (15 %) e tensoativo (30 %), foram produzidos os sacos biodegradáveis à base de quitosana, cera de abelha e tensoativo. Posteriormente, sementes de *Tabebuia aurea* foram colocadas para germinar em três tipos de sacos (polietileno - controle, quitosana e quitosana/cera de abelha/óleo de canola saponificado) contendo fibra de coco como substrato, e encaminhados para a casa de vegetação. Os fatores empregados no estudo foram o tipo do saco (polietileno, quitosana e quitosana/cera de abelha/óleo de canola saponificado) e o tempo após a semeadura (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias). As análises realizadas nos sacos foram: avaliação visual da degradação e a perda da massa seca dos sacos; e as análises realizadas nas mudas foram: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e massa seca total. Em seguida, os dados foram submetidos a análise estatística que consistiu de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey à 5% de nível de significância. Os resultados mostram que o material contendo 15% de cera e 30% de tensoativo é o que apresenta as menores solubilidade em água (25,20 %) e PVA (28,18 g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻²). Em relação à cor, os filmes apresentaram uma tonalidade amarelada, devido à cor natural da cera de abelha e da quitosana. Quanto às propriedades mecânicas, ocorreu uma diminuição na resistência à tração, no alongamento na ruptura e no módulo de elasticidade quando se aumentou o teor de cera e de tensoativo nos filmes, em comparação com os filmes de controle. Na análise da morfologia de superfície por microscopia eletrônica de varredura somente o tratamento controle apresentou homogeneidade na superfície, com ausência de partículas insolúveis a olho nu, poros ou defeitos aparentes. A partir das propriedades dos filmes, foi selecionada a melhor composição do material utilizado na produção de sacos para mudas: filmes de quitosana contendo 15% de cera e 30% de tensoativo. Os resultados mostraram que os sacos biodegradáveis não resistiram completamente durante o período de avaliação, e que os danos ocorrem sobretudo na parte inferior dos sacos. Em todo período de avaliação (30 dias) somente 18,2% dos sacos de quitosana e 25 % dos sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo não apresentaram alteração. Já em relação as mudas, os sacos biodegradáveis, mesmo danificados, permitiram que as mudas germinassem e se desenvolvessem durante todo o período de avaliação (30 dias).

Palavras-Chave: bioplástico, biodegradável, tensoativo, filme.

ABSTRACT

The agricultural sector uses several petroleum-derived polymers, such as polyethylene and polypropylene. These materials are mainly used in the manufacture of bags for seedlings, ground cover, greenhouses, transport and conservation of agricultural products, among others. However, when these materials are improperly disposed of, they can cause several impacts to the environment. The objective of this work was to develop chitosan-based films with different concentrations of beeswax and saponified canola oil (surfactant) and to determine which one has the best properties for the production of seedling bags. The chitosan films were produced with different concentrations of beeswax (1, 8 and 15%) and surfactant (10, 30 and 50%). Then, analyzes of water solubility, water vapor permeability (PVA), color, opacity, mechanical properties and morphological analysis of the produced films were performed. After determining the best concentration of beeswax (15%) and surfactant (30%), biodegradable bags based on chitosan, beeswax and surfactant were produced. Subsequently, *Tabebuia aurea* seeds were placed to germinate in three types of bags (polyethylene - control, chitosan and chitosan/beeswax/saponified canola oil) containing coconut fiber as substrate, and sent to the greenhouse. The factors used in the study were the type of bag (polyethylene, chitosan and chitosan/beeswax/saponified canola oil) and the time after sowing (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days). The analyzes carried out in the bags were: visual evaluation of the degradation and the loss of the dry mass of the bags; and the analyzes performed on the seedlings were: plant height, stem diameter, number of leaves and total dry mass. Then, the data were submitted to statistical analysis that consisted of analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at 5% significance level. The results show that the material containing 15% wax and 30% surfactant has the lowest solubility in water (25.20%) and PVA (28.18 g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻²). Regarding color, the films showed a yellowish hue, due to the natural color of beeswax and chitosan. For mechanical properties, there was a decrease in tensile strength, elongation at break and modulus of elasticity when the wax and surfactant content in the films was increased, compared to the control films. In the analysis of surface morphology by scanning electron microscopy, only the control treatment showed homogeneity on the surface, with the absence of insoluble particles to the naked eye, pores or apparent defects. Based on the properties of the films, the best composition of the material used in the production of bags for seedlings was selected: chitosan films containing 15% wax and 30% surfactant. The results showed that the biodegradable bags did not completely resist during the evaluation period, and that the damage occurs mainly at the bottom of the bags. In the entire evaluation period (30 days) only 18.2% of the chitosan bags and 25% of the chitosan/beeswax/surfactant bags showed no change. As for the seedlings, the biodegradable bags, even when damaged, allowed the seedlings to germinate and develop throughout the evaluation period (30 days).

Keywords: bioplastic, biodegradable, surfactant, film.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1: Estrutura química da (A) quitina e da (B) quitosana 19

Capítulo II

Figura 1: Planejamento experimental das concentrações de cera de abelha e tensoativo..... 29

Figura 2: Microscopia Eletrônica de Varredura dos filmes a base de quitosana, cera de abelha, e óleo de canola saponificada com dimensões de 50 μm e magnitude de 1Kx.....37

Capítulo III

Figura 1: Sacos biodegradáveis de (A) quitosana e (B) quitosana/cera de abelha/tensoativo44

Figura 2: Teste de germinação das mudas de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. 45

Figura 3: Sacos após o uso: P, polietileno; Q, quitosana; QCA, quitosana/cera de abelha/tensoativo46

Figura 4: Mudas de *Tabebuia aurea*: saco de quitosana (A); quitosana/cera de abelha/tensoativo (B) e polietileno (C).....49

Figura 5: Valores de altura de planta (AP) e taxa de crescimento absoluta para altura de planta (TCA) para sacos de quitosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)..... 51

Figura 6: Valores de diâmetro do caule (AP) e taxa de crescimento absoluta para diâmetro do caule (TCA) para sacos de quitosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)..... 52

Figura 7: Valores da taxa de crescimento relativo para altura de planta (TCR AP) e diâmetro do caule (TCR DC) para sacos de quitosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)..... 53

Figura 8: Valores obtidos dos números de folhas das mudas de *Tabebuia aurea* 54

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 1: Valores obtidos da solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes	32
Tabela 2: Valores obtidos da cor e opacidade dos filmes	34
Tabela 3: Valores obtidos da tensão de ruptura, alongamento de ruptura e módulo de Young dos filmes	35

Capítulo III

Tabela 1: Valores obtidos dos danos nos sacos biodegradáveis de quitosana em 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias	48
Tabela 2: Valores obtidos dos danos nos sacos biodegradáveis de quitosana/cera de abelha/tensioativo em 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias	49
Tabela 3: Valores obtidos de massa dos sacos biodegradáveis e de polietileno após 30 dias	50
Tabela 4: Valores obtidos da massa seca total das mudas de <i>Tabebuia aurea</i>	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP - Altura da planta

DAS - Dias após a semeadura

DC- Diâmetro do caule

IVE- Índice de velocidade de emergência

pH - Potencial hidrogeniônico

PVA – Permeabilidade ao vapor de água

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

TCA - Taxa de crescimento absoluto

TCR - Taxa de crescimento relativo

TCR AP - Taxa de crescimento relativo para altura de planta

TCR DC - Taxa de crescimento relativo do diâmetro do caule

TME - Tempo média de emergência

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 PRODUÇÃO DE MUDAS	15
3.2. PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS PLÁSTICOS NO SISTEMA AGRÍCOLA	16
3.3. POLÍMEROS.....	17
3.3.1. Biopolímeros	18
3.3.2. Quitosana	18
3.4. LIPÍDIOS.....	19
3.5. TENSOATIVO	20
3.5 PROPRIEDADES DE BARREIRA, ÓPTICAS, MECÂNICAS E MORFOLÓGICA DOS FILMES PRODUZIDOS.....	21
3.5.1. Permeabilidade ao vapor de água e solubilidade	21
3.5.2. Propriedades Ópticas	21
3.5.3. Propriedades Mecânicas	22
3.5.4. Análise morfológica	22
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CERA DE ABELHA NAS PROPRIEDADE DE FILMES A BASE DE QUITOSANA	26
RESUMO	26
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DE SACOS BIODEGRADÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Tabebuia aurea</i> (Manso) Benth. & Hook.....	42
RESUMO	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3. RESULTADOS E DISCURSSÃO	48

4. CONCLUSÃO.....	SUMÁRIO.....	54
REFERÊNCIAS.....		55

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO GERAL

O plástico é um dos materiais mais presentes no nosso dia a dia, sendo encontrado em brinquedos, peças de celulares e computador, utensílios de cozinha, embalagens, entre outros. Não se pode negar que os plásticos trouxeram vários benefícios para a sociedade e economia, porém os mesmos se tornaram um problema quando são descartados de maneira incorreta, por apresentarem elevado tempo de residência no ambiente e poluírem água, solo e ar (GEYER et al., 2017).

Um setor que é pouco citado na literatura em relação à contaminação que causa no meio ambiente através dos plásticos é o setor agrícola. Filmes plásticos convencionais como os de polietileno e polipropileno (derivados do petróleo) são utilizados na agricultura para a confecção de vários produtos como sacos para mudas, na cobertura de solo (mulch film), estufas, transporte e conservação de produtos agrícolas, entre outros. Estes filmes utilizados na agricultura produzem sérios impactos negativos no meio ambiente, pois devido ao seu elevado peso molecular e propriedades hidrofóbicas, possuem alta estabilidade química, podendo levar centenas de anos para se decompor completamente. Outro problema é que parte desses filmes utilizados na agricultura são de difícil reciclagem devido à grande quantidade de matéria orgânica presa ao material (BILCK et al., 2014; ZHANG et al., 2020a).

Porém, existem alguns materiais alternativos potencialmente mais sustentáveis que podem substituir os plásticos derivados de petróleo. Plásticos biodegradáveis derivados de biopolímeros podem minimizar os problemas ambientais e de descarte, mas sua aplicação sustentável em sistemas agrícolas precisa ser avaliada.

Diante disto, vários estudos (como por exemplos, Xavier et al. 2020 e Santos et al. 2017, que produziram filmes à base de biopolímeros) já estão sendo desenvolvidos com o intuito de produzir plásticos biodegradáveis à base de polímeros naturais ou biopolímeros que possam substituir, ainda que parcialmente, os sintéticos. Os biopolímeros mais utilizados são quitosana, alginato, gelatina e amidos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver filmes à base de quitosana com diferentes concentrações de cera de abelha e óleo de canola saponificada (tensoativo) e utilizá-los na produção de sacos para o plantio de mudas.

2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver filmes a partir de quitosana, cera de abelha e tensoativo utilizando-os na produção de sacos para o plantio de mudas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir filmes biodegradáveis à base de biopolímeros;
- Determinar a melhor composição dos filmes para obter propriedades adequadas (solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, propriedades ópticas, mecânicas e morfológicas) para a produção de sacos de mudas;
- Avaliar a utilização dos sacos de quitosana e cera de abelha como suporte de mudas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PRODUÇÃO DE MUDAS

Para produzir mudas de alta qualidade, várias tecnologias e técnicas são utilizadas, tais como: sementes selecionadas e vigorosas, substratos adequados, recipientes e ambientes protegidos compatíveis, controle da irrigação e adubação suplementar, entre outras (GUERRA et al., 2017).

Na escolha de recipientes, por exemplo, deve-se levar em consideração o tamanho inicial e final da muda, durabilidade, custo de aquisição, facilidade de manuseio e armazenamento. O tamanho dos recipientes também deve ser levado em consideração, pois o mesmo deve proporcionar o maior volume possível de solo às raízes, mas possuindo o menor peso possível para ser facilmente transportável (MARCEDO, 1993; EMBRAPA, 2016).

Os principais tipos de recipientes para produção de mudas são: tubetes, sacos plásticos, bandejas plásticas; sendo os mais utilizados os sacos plásticos de polietileno negro, tubetes de polipropileno reutilizáveis e vasos de polipropileno, que podem ser comprados no comércio. Além destes, também são encontrados no mercado, recipientes biodegradáveis como tubetes e vasos produzidos com fibras celulósicas recicladas de embalagens “longa vida”. No entanto, apesar da sua vantagem de ter um menor potencial poluidor, recipientes biodegradáveis possuem custo mais elevado (EMBRAPA, 2016).

Várias espécies de plantas, principalmente as arbóreas, são produzidas em sacos plásticos ou tubetes, como o angico branco (*Anadenanthera colubrina*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), aroeira (*Schinus terebinthifolia*), pau-pombo (*Tapirira guianensis*), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), craibeira (*Tabebuia aurea*), entre outros. Sendo esta última (craibeira) escolhida para ser utilizada nesta pesquisa por se tratar de uma espécie nativa do bioma Caatinga que possui grande importância na economia e na sociedade (EMBRAPA, 2016).

A craibeira é planta arbórea cujo nome científico é *Tabebuia aurea* (Silva Manso), Benth. & Hook. f. ex S. Moore, pertencente à família Bignoniaceae, sendo conhecida no Brasil como craibeira, para-tudo, caribeira ou ipê-da-caatinga, craiba, cinco-de-rama entre outros nomes (LIMA et al., 2018). A craibeira é uma árvore de porte médio a alto, variando entre 5 a 20 m de altura. Seu caule tem aproximadamente 1,0 metro de diâmetro, com casca espessa e acinzentada. As folhas são subsésseis, opostas, compostas, digitadas, oblongas, folíolos de 5 a 7. Suas flores são de cor amarelo-ouro. Possui frutos tipo síliqua, com sementes aladas (LORENZI, 2008; LIMA et al., 2018). É encontrada no Brasil nas regiões Norte (Amazonas, Amapá, Pará, Tocantins), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Minas Gerais, São Paulo) e Sul (Paraná) (LOHMANN, 2017).

A espécie *Tabebuia aurea* é bastante usada na arborização, devido ao seu porte alto, floração vistosa e sombra que proporciona. Sua madeira é utilizada na construção civil, na carpintaria e produção de carvão (LORENZI, 2008). Além disso, a entrecasca do caule é utilizada na medicina popular para tratamento de vitiligo, manchas na pele e antisséptico (MACEDO; FERREIRA, 2004).

3.2. PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS PLÁSTICOS NO SISTEMA AGRÍCOLA

Segundo Costa et al. (2014), nas últimas décadas, tem-se notado o uso extensivo e em constante expansão dos plásticos na agricultura, principalmente os de polietileno de baixa densidade, devido ao seu fácil manuseio, baixo custo e propriedades elásticas. Dos 6 milhões de toneladas de materiais plásticos consumidos na agricultura todos os anos, mais de 10% são filmes de plástico para cobertura do solo. Mas, o plástico também é utilizado para outras finalidades na agricultura, como em túneis baixos, estufas, túneis altos, impermeabilização dos reservatórios e canais de irrigação, sacos para mudas, que estão dentre as muitas formas de utilizar o plástico nas diferentes atividades dos produtores agrícolas (COSTA et al. 2014).

Apesar das inúmeras vantagens, existem várias limitações ao uso dos plásticos, como os custos de remoção, a eliminação/reciclagem dos plásticos utilizados e sobretudo as questões relacionadas aos impactos ambientais, sendo o principal causador da poluição da água e solo. A poluição causada pelos resíduos plásticos nos oceanos se dá por meio de escoamento através dos cursos de água, tempestades ou descarga direta em águas costeiras (LI; TSE; FOK, 2016). Com o tempo, os resíduos plásticos que estão nos mares e oceanos se fragmentam pela ação do sol, da água salgada e das ondas, gerando os macros e microplásticos, que afetam amplamente o ambiente marinho. Já a poluição que os resíduos plásticos causam no solo, ocorre principalmente pelo seu acúmulo em locais inadequados (lixões, aterros controlados) e sua super lotação em aterros sanitários, gerando diversos problemas socioambientais, como entupimento de bueiros, que geram alagamento de vias públicas (desabrigam pessoas), influência na alimentação da vida selvagem, aumento de larvas de mosquitos transmissores de doenças (como dengue e malária), poluição visual, entre outros (SILVA et al, 2019). Todos esses problemas ocorrem pelo amplo uso de produtos plásticos e gerenciamento ineficiente de resíduos, fazendo com que a questão dos resíduos plásticos no solo seja uma preocupação global (BLAESING; AMELUNG, 2018).

Por essa razão, alguns estudos estão sendo desenvolvidos na produção de filmes plásticos biodegradáveis a base de biopolímeros. Essa parece ser uma alternativa promissora, uma vez que esses podem se biodegradar no solo, minimizando os custos de remoção e eliminação (BILCK et al., 2014; ZHANG et al., 2020). Porém, a utilização de biopolímeros em sistemas agrícolas ainda é pouco habitual, pois é necessário produzir filmes que sejam resistentes, mas que se degradem por completo após o uso, visto que os filmes utilizados neste setor são de difícil reciclagem devido à grande quantidade de matéria orgânica presa ao material.

3.3. POLÍMEROS

O termo polímero significa “muitas unidades de repetição” (poli: muitos; mero: unidades de repetição), assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligações covalentes, produzida a partir dos monômeros (matéria-prima dos polímeros) (RUDIN; CHOI, 2015).

Atualmente, existem inúmeros polímeros no mercado, classificados de acordo com sua composição e natureza, bem como a disposição espacial de suas moléculas, e o número de meros que integram o polímero (LIMA; SOUZA, 2011).

Segundo Andrade-Molina et al. (2013), a variedade de polímeros sintéticos foi aumentando com o crescimento das indústrias. Consequentemente, o consumo desses produtos também cresceu, fazendo com que os problemas ambientais causados pelos polímeros sintéticos também aumentassem. Tendo como principal matéria prima o petróleo, polímeros sintéticos levam inúmeros anos para decomposição, sendo prejudiciais ao meio ambiente e potencialmente nocivos à sustentabilidade, tornando-se um grave problema ambiental.

No entanto, existem materiais alternativos mais sustentáveis e que podem substituir, ainda que parcialmente, os plásticos derivados de petróleo, como é o caso dos biopolímeros.

3.3.1. Biopolímeros

De acordo com Ahmed e Ikram (2016), os biopolímeros são polímeros obtidos a partir de origens biológicas e usados em várias aplicações biológicas e industriais. Nas últimas décadas, os biopolímeros estão sendo mais estudados com a finalidade de minimizar o impacto ambiental causado por polímeros sintéticos, podendo ser utilizados em diversas áreas e com inúmeras finalidades. As principais aplicações são na área alimentícia, na área médica, na área farmacêutica e na indústria automotiva. Também podem ser utilizados na agricultura para o recobrimento de plantações e o encapsulamento de sementes (SCHMITT et al., 2015).

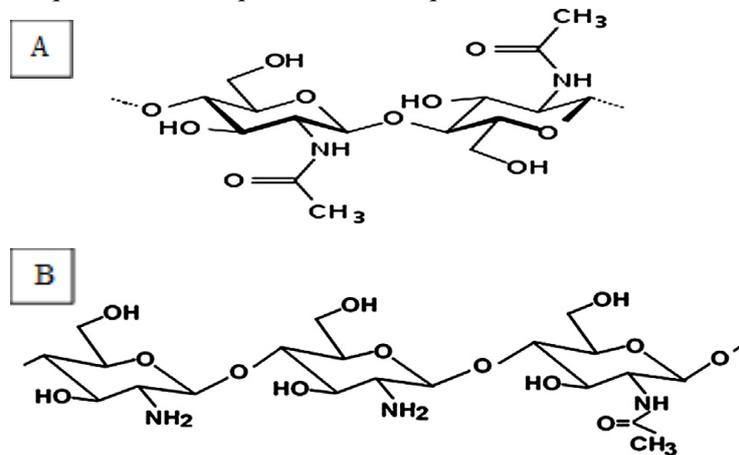
Os polissacarídeos, proteínas e lipídios são os materiais mais comuns na formulação de filmes biodegradáveis e a combinação destes permite a produção de misturas com características melhoradas. Os biopolímeros podem vir a substituir os polímeros sintéticos nas indústrias plásticas devido a sua não toxicidade, biodegradabilidade e disponibilidade (ATARÉS; CHIRALT, 2016; MENDES et al., 2016).

3.3.2. Quitosana

A quitosana é um polieletrólito catiônico que pode ser obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina. A quitina é o segundo biopolímero mais abundante no mundo, ficando atrás apenas da celulose, sendo bastante encontrada na carapaça de crustáceos como lagostas, caranguejos e camarões, sendo um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza é encontrado também na parede celular de fungos (PHILIBERT; LEE; FABIEN, 2017). A quitina e a quitosana são biopolímeros atóxicos, biodegradáveis e biocompatíveis, ambas as estruturas são constituídas por unidades de 2-acetamido-2-deoxi-D-glicopiranosose e 2-amino-2-deoxi-D-glicopiranosose unidas por ligações glicosídicas $\beta(1-4)$ (Figura 1), entretanto, os polímeros

diferem quanto à solubilidade e quanto à proporção relativa dessas unidades (DARBASI et al., 2017).

Figura 1: Estrutura química da (A) quitina e da (B) quitosana



Fonte: Adaptado de ELGADIR et al., 2015

A utilização da quitina e da quitosana tem atraído bastante atenção por causa de suas propriedades biológicas e novas aplicações, como no setor agrícola e indústria de alimentos, mais especialmente na indústria farmacêutica, isto se dar por ser um polímero não-tóxico, biodegradável, biocompatível, com propriedades funcionais, potencial antimicrobiano e antioxidante (ELGADIR et al., 2015).

Em função da sua estrutura química a quitosana se torna uma excelente alternativa para ser utilizada como base na produção de nanopartículas, micropartículas, hidrogéis, embalagens e filmes biodegradáveis (YUAN; CHEN; LI, 2016).

3.4. LIPÍDIOS

Os lipídios são definidos como qualquer molécula biológica solúvel num solvente orgânico. Os principais constituintes das moléculas lipídicas neutras e polares, são os ácidos graxos. A fase lipídica se constitui de óleos, gorduras e ceras, além destes, são encontrados nas emulsões outros constituintes lipossolúveis, como as vitaminas A, D, E, K, ácidos graxos livres, esteróis, mono e diacilgliceróis (ATARÉS et al, 2011; MUBARAK; SHAIJA; SUCHITHRA, 2015; SALAM; VELASQUEZ-ORTA; HARVEY, 2016).

A cera de abelha é um lipídio que possui alta hidrofobicidade e excelente resistência à umidade, apresentando barreiras eficazes à umidade, mas baixa resistência estrutural. A cera de abelha vem sendo amplamente pesquisada e aplicada em diversos ramos da indústria

(cosmética, farmacêutica e alimentícia), e, na obtenção de coberturas (KLANGMUANG; SOTHORNVIT, 2016).

A composição química da cera de abelha consiste em hidrocarbonetos, ácidos graxos livres, monoésteres, diésteres, triésteres, hidroximonoésteres, hidroxipoliésteres e poliésteres de ácidos graxos. Existem diferenças entre as ceras produzidas por diferentes espécies de abelhas, no entanto essa diferença também irá depender da idade da cera, e das condições climáticas da sua produção (BARROS; NUNES; COSTA 2013; VELICKOVA et al., 2015). A cera possui características físicas estáveis, ela é quebradiça quando fria e torna-se plástica acima de 30 °C, podendo ser moldada (ZIEGLER; SINIGAGLIA; MICHELS, 2016).

Para avaliar a eficiência da cera de abelha em filmes de quitosana, Zhang, Xiao & Qian (2014) estudaram o uso de cera de abelha em filmes de quitosana em variadas temperaturas de secagem com intuito de melhorar a permeabilidade ao vapor de água para cobertura em papéis. Os resultados mostraram que o conteúdo de sólidos da cera de abelha e a temperatura de secagem influenciaram fortemente nas propriedades de barreira à água e ao vapor de água, pois as partículas de cera de abelha derreteram e resolidificaram após a secagem em alta temperatura.

3.5. TENSOATIVO

Tensoativos ou surfactantes são moléculas anfifílicas cuja propriedade mais relevante é a de estabilizar misturas bifásicas por meio de sua ação interfacial. Isso ocorre pelo fato de que suas moléculas contêm uma parte polar (hidrofílica) e outra apolar (lipofílica) (ZHU; FREE; YI, 2015; ZHU et al., 2017).

Os tensoativos podem ser classificados quanto à carga iônica da porção hidrofílica, em catiônicos, aniônicos, não iônicos e zwitteriônicos; e até quanto à fonte (naturais ou sintéticos). O polissorbato ou tweed (80, 60, 40 e 20), oleato de sorbitano ou spam (40, 60 e 80), lecitina e éster de sacarose são exemplos de surfactantes utilizados em revestimentos biodegradáveis (SAURABH et al., 2016; SANTACRUZ; RIVADENEIRA; CASTRO, 2015; LAMICHHANE; KRISHNA; SARUKKALIGE, 2017). No entanto, é possível obter tensoativos através do processo de saponificação a partir de óleos vegetais (óleos como o de coco, canola, girassol, mamona), sendo considerados de bom desempenho e baixo custo (SANTOS et al., 2007).

3.5 PROPRIEDADES DE BARREIRA, ÓPTICAS, MECÂNICAS E MORFOLÓGICA DOS FILMES PRODUZIDOS

Para alcançar bons resultados em qualquer aplicação de filmes biopoliméricos é interessante realizar algumas análises, como as morfológicas, físicas e mecânicas, pois os mesmos podem apresentar diferentes características e propriedades.

3.5.1. Permeabilidade ao vapor de água e solubilidade

Os filmes biopoliméricos podem apresentar diferentes características e propriedades, mas isso dependerá da formulação e do processo de produção empregados. A solubilidade em água e a taxa de permeabilidade ao vapor de água, por exemplo, são essenciais para avaliar a resistência do filme em ambiente úmido, e assim determinar a aplicabilidade dos filmes produzidos.

A solubilidade em água do filme é uma propriedade que deve ser levada em consideração, pois além de avaliar a resistência em meio aquoso, afeta a biodegradabilidade e pode servir como indicativo da presença de grupos hidrofílicos (MIR et al., 2018), ou seja, a solubilidade irá mostrar o quanto o filme pode se manter íntegro logo após ter contato com ambientes úmidos ou aquosos, e assim, direcionar a aplicação do filme biopolimérico.

O filme de quitosana, por exemplo, é insolúvel em meio aquoso, sendo solúvel em soluções diluídas de ácidos orgânicos (acético, fórmico, cítrico), devido à protonação de seus grupos amino; é também solúvel em soluções de ácidos inorgânicos, como o ácido clorídrico, no entanto, em ácidos fortes a quitosana é hidrolisada (FELIPE et al., 2017).

Já a permeabilidade ao vapor de água (PVA), de acordo com ASTM (2001), é definida como a taxa de transmissão de vapor de água por unidade de área de um material delgado, com espessura conhecida, induzida por uma diferença de pressão entre duas superfícies específicas, sobre condições de temperatura e umidade relativas especificadas. E a taxa de permeabilidade de vapor d'água (TPVA), que é a velocidade de transferência de vapor de água ou gás através de uma unidade de área, sob condições específicas de umidade e temperatura em um intervalo de tempo (ROMERA et al, 2012).

3.5.2. Propriedades Ópticas

A cor e a opacidade são os parâmetros mais importantes e utilizados para a caracterização das propriedades ópticas de filmes poliméricos. A cor é um parâmetro essencial a ser analisado nos filmes, pois está relacionada com a matéria-prima utilizada na elaboração dos mesmos. Já a opacidade dos filmes está associada com a capacidade do filme de absorver ou refletir a luz, utilizando um plano de fundo branco e um plano de fundo preto como referência. A opacidade informa quanto o objeto absorve ou reflete a luz incidente, impedindo a transmissão da luz (BELIBI et al., 2014; COSTA, 2018).

3.5.3. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas são importantes características dos materiais poliméricos, essas propriedades são caracterizadas pelo modo como estes materiais respondem às solicitações aplicadas (tensão ou deformação), ou seja, propriedades mecânicas determinam o comportamento do material quando esses são submetidos a esforços mecânicos. Existem vários tipos de instrumentos mecânicos e testes para a determinação das propriedades mecânicas dos polímeros, podendo ser estáticos, dinâmicos, de curta duração, não destrutivos, destrutivos, de longa duração, etc (CAZÓN et al, 2017; CHEN et al., 2019).

As propriedades mecânicas dos filmes poliméricos dependerão do processo de obtenção e, principalmente, da formulação (polímero, solvente e plastificante), sendo o plastificantes um importante fator capaz de alterar as propriedades mecânicas. Os plastificantes facilitam a organização da cadeia polimérica ao diminuir a rigidez da rede, produzindo uma estrutura menos ordenada e aumentando a flexibilidade dos filmes (VERSINO et al., 2016).

3.5.4. Análise morfológica

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica bastante utilizada para avaliar a microestrutura de filmes biodegradáveis, possibilita uma análise morfológica através da produção de imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. As imagens têm um foco de alta profundidade, isso permite distinguir os diferentes relevos da superfície. São imagens tridimensionais de alta resolução, que permitem a visualização do tamanho e do formato dos grânulos, permitindo a investigação de possíveis porosidades, imperfeições e separação dos componentes das blendas poliméricas (COSTA, 2018).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE-MOLINA, T. P. C.; SHIRAI, M. A.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Active biodegradable packaging for fresh pasta. **LWT- Food Science and Technology**. v. 54, p. 25-29. 2013
- AHMED, S.; IKRAM, S. Chitosan Based Scaffolds and Their Applications in Wound Healing. **Achievements in the Life Sciences**, v.10, p. 27–37, 2016.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Standard Designations: E96/E96M-05.** In Annual book of ASTM. p.406-413. 2001.
- ATARÉS, L.; PÉREZ-MASIÁ, R.; CHIRALT, A. The role of some antioxidants in the HPMC film properties and lipid protection in coated toasted almonds. **Journal of Food Engineering**. v.104 (4), p. 649–656. 2011.
- ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oil as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, v. 48, p. 51-62, 2016.
- BILCK, A. P.; OLIVATO, B. J.; YAMASHIT, F.; SOUZA, J. R. P. Biodegradable Bags for the Production of Plant Seedlings. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 547-553, 2014.
- BELIBI, P. C.; DAOU, T. J.; NDJAKA, J. M. B.; NSOM, D.; MICHELIN, L.; DURAND, B. A comparative study of some properties of cassava and tree cassava starch films. **Physics Procedia**, v. 55, p. 220–226, 2014.
- BLAESING, M., AMELUNG W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. **Science of The Total Environment**. v. 612, p. 422-435, 2018.
- CAZÓN, P., VELAZQUEZ, G., RAMÍREZ, J. A., & VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, 2017.
- CHEN, O.; SHI, Y.; CHEN, C.; CAI, M. Enhanced mechanical and hydrophobic properties of composite cassava starch films with stearic acid modified MCC (microcrystalline cellulose)/NCC (nanocellulose) as strength agent. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 142, p. 846-854, 2019.
- COSTA, R; SARAIVA, A.; CARVALHO, L.; DUARTE, E. The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. **Scientia Horticulturae**, v. 173, p. 65-70, 2014.
- COSTA, T. L. E. **Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimentos em frutos.** Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFERSA, Mossoró, 2018. 75p.
- DARBASI, M., ASKARI, G., KIANI, H., & KHODAIYAN, F. Development of chitosan based extended-release antioxidant films by control of fabrication variables. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 303–310, 2017.

ELGADIR, M. A.; UDDIN, M. S.; FERDOSH, S.; ADAM, A.; CHOWDHURY, A. J. K.; SARKER, Z. I. Impact of chitosan composites and chitosan nanoparticle composites on various drug delivery systems: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 4, p.619-629, 2015.

FELIPE, L. O.; RABELLO, L. A.; JÚNIOR, Ê. N. O; SANTOS, I. J. B. Quitosana: da química básica à bioengenharia. **Química Nova na escola**. v. 39, n. 4, p. 312-320, 2017.

GEYER, R., JAMBECK, J. R., & LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3(7), 2017.

GIZ, A. S., BERBEROGLU, M., BENER, S., AYDELIK-AYAZOGLU, S., BAYRAKTAR, H., ALACA, B. E.; CATALGIL-GIZ, H. A detailed investigation of the effect of calcium crosslinking and glycerol plasticizing on the physical properties of alginate films. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 148, p. 49-55, 2020.

GUERRA, M. S.; BARBOSA, M. S.; COSTA, E.; VIEIRA, G. H. C. Recipiente biodegradável e substratos para mudas de maracujazeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 50-54. 2017.

LI, W. C.; TSE, H. F.; FOK, L. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. **Science of the Total Environment**, v. 566–567, p. 333–349, 2016.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v. 1. Ed. 5, 2008.

KLANGMUANG, P.; SOTHORNVIT, R. Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. **LWT - Food Science and Technology**. v. 65, p. 222–227, 2016.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; NETO, A. R. S.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 452–458, 2016.

MIR, S. A.; DAR, B. N.; WANI, A. A.; SHAH, M. A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 141–154, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.08.004.

ROMERA A, C. O.; DE MORAES, J. O.; ZOLDAN, V. C. PASA, A. A. LAURINDO, J. B. Use of transient and steady-state methods and AFM technique for investigating the water transfer through starch-based films. **Journal of Food Engineering**. v. 109, p. 62 – 68. 2012

RUDIN, A.; CHOI, P. *Ciência e engenharia de polímeros*. 3. ed. –Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SANTACRUZ, E.; RIVADENEIRA, C.; CASTRO, M. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food Hydrocolloids**. v. 49, p. 89–94. 2015.

SCHMITT, H.; GUIDEZ, A.; PRASHANTHA, K.; SOULESTIN, J.; LACRAMPE, M. F.; KRAWCZAK, P. Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 115, p. 364-372, 2015

SILVA, M. R. F.; SILVA, L. F.; SANTOS, E. L. B. Produção, consumo e destinação de resíduos: a percepção dos discentes do curso de gestão ambiental da UERN sobre sacolas plásticas. **Periódico técnico e científico cidades verdes**, v. 7, p. 98-109, 2019.

SAURABH, C. K.; GUPTA, S.; VARIYAR, P.; SHARMA, A. Effect of addition of nanoclay, beeswax, tween-80 and glycerol on physicochemical properties of guar gum films. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p.109-118, 2016.

SANTOS, F. K. G.; ALVES, J. V. A.; DANTAS, T. N. C.; DANTAS NETO, A. A.; DUTRA JUNIOR, T. V.; BARROS NETO, E. L. **Determinação da concentração micelar crítica de tensoativos obtidos a partir de óleos vegetais para uso na recuperação avançada de petróleo**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4., 2007.

VELICKOVA, E. Characterization of multilayered and composite edible films from chitosan and beeswax. **Food Science and Technology International**, v. 21, n. 2, p. 83–93, 2015.

VERSINO, F.; LOPEZ, O. V.; GARCIA, M. A.; ZARITZKY, N. E. Starch-based films and food coatings: An overview. **Starch - Stärke**, v. 68, n. 11-12, p. 1026–1037. 2016.

YUAN, G.; CHEN, X.; LI, D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. **Food Research International**, v. 89, n. 1, p. 117-128. 2016.

ZHANG, W.; XIAO, H.; QIAN, L. Beeswax–chitosan emulsion coated paper with enhanced water vapor barrier efficiency. **Applied Surface Science**. v. 300, p. 80–85. 2014b.

ZHANG, X. F.; LUO, C. L.; REN, H. X.; DAI, R.Z.; MBURU, D.; KAVAGI, L.; WESLY, K.; NYENDE, A. B.; BATOOL, A.; XIONG, Y. C. Fully biodegradable film to boost rainfed maize (*Zea mays* L.) production in semiarid Kenya: An environmentally friendly perspective. **European Journal of Agronomy**. v. 119, p. 126 - 124, 2020.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology And Technology**, v. 107, p.23-32, 2015.

ZHU, Y.; FREE, M. L.; WOOLLAM, R.; DURNIE, W. A review of surfactants as corrosion inhibitors and associated modeling. **Progress In Materials Science**, v. 90, p.159-223, 2017.

CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CERA DE ABELHA E TENSOATIVO NAS PROPRIEDADE DE FILMES A BASE DE QUITOSANA

RESUMO

A utilização de lipídios em filmes biopolímeros vem aumentando nos últimos anos, devido a sua alta hidrofobicidade e excelente resistência à umidade. Neste trabalho foram avaliadas diferentes concentrações de cera de abelha e óleo de canola saponificado (tensoativo) nas propriedades físico-química de filmes à base de quitosana. Os filmes de quitosana foram produzidos a partir do método *casting* com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8 e 15%) e tensoativo (10, 30 e 50%). Em seguida, foram realizadas as análises da solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água (PVA), cor, opacidade, propriedades mecânicas e microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos filmes produzidos. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise estatística que consistiu de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey à 5% de nível de significância. Os resultados mostram que o filme contendo 15% de cera de abelha e 30% de tensoativo foi o que obteve menores valores de solubilidade em água (25,20 %) e PVA (28,18 g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻²). Em relação à cor, os filmes apresentaram uma tonalidade amarelada, devido a cor natural dos materiais utilizados. Quanto às propriedades mecânicas, ocorreu uma diminuição na resistência à tração, no alongamento na ruptura e no módulo de elasticidade quando se aumentou o teor de cera e de tensoativo nos filmes, em comparação com os filmes de controle. Na análise da morfologia de superfície por microscopia eletrônica de varredura somente o tratamento controle apresentou homogeneidade na superfície, com ausência de partículas insolúveis a olho nu, poros ou defeitos aparentes.

Palavras-chave: bioplástico, óleo de canola saponificado, lipídio, propriedades.

ABSTRACT

The use of lipids in biopolymer films has increased in recent years, due to their high hydrophobicity and excellent resistance to moisture. In this work, different concentrations of beeswax and saponified canola oil (surfactant) were evaluated on the physicochemical properties of chitosan-based films. The chitosan films were produced using the casting method with different concentrations of beeswax (1, 8 and 15%) and surfactant (10, 30 and 50%). Then, analyzes of water solubility, water vapor permeability (PVA), color, opacity, mechanical properties and scanning electron microscopy (SEM) of the produced films were performed. Subsequently, the data were submitted to statistical analysis that consisted of analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at 5% significance level. The results show that the film containing 15% beeswax and 30% surfactant was the one with the lowest solubility values in water (25.20%) and PVA (28.18 g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻²). Regarding color, the films showed a yellowish hue, due to the natural color of the materials used. Regarding mechanical properties, there was a decrease in tensile strength, elongation at break and modulus of elasticity when the wax and surfactant content in the films was increased, compared to the control films. In the analysis of surface morphology by scanning electron microscopy, only the control treatment showed homogeneity on the surface, with the absence of insoluble particles to the naked eye, pores or apparent defects.

Keywords: bioplastic, saponified canola oil, lipid, properties.

1. INTRODUÇÃO

Devido a suas propriedades biológicas e diversas aplicações, a quitosana é um dos biopolímeros mais utilizados, principalmente na indústria de alimentos e farmacêutica, isto se dar por ser um polímero não-tóxico, biodegradável, biocompatível, com propriedades funcionais, potencial antimicrobiano e antioxidante (ELGADIR et al., 2015).

A quitosana é um polissacarídeo derivado por N-desacetilação com álcali forte da quitina, matéria prima abundante em resíduos de crustáceos, resíduos estes que na maioria das vezes são descartados por não serem totalmente comestíveis, sendo assim, utilizá-los é uma alternativa para diminuição do impacto ambiental. A quitina e a quitosana são constituídas por unidades de 2-acetamido-2-deoxi-D-glicopiranosose e 2-amino-2-deoxi-D-glicopiranosose unidas por ligações glicosídicas β -(1-4), entretanto os polímeros diferem quanto à solubilidade e quanto à proporção relativa dessas unidades (ELGADIR et al., 2015). Em função da sua estrutura química, a quitosana se torna uma excelente alternativa para ser utilizada como base na produção de nanopartículas, micropartículas, hidrogéis, embalagens e filmes biodegradáveis (ELGADIR et al., 2015; FRÁGUAS et al., 2015). No entanto, suas propriedades podem ser melhoradas ao se adicionar outro material em sua estrutura, sendo comum a formação de blendas poliméricas contendo a quitosana associada a outro biopolímero, ou lipídios (cera de abelha ou cera de carnaúba, por exemplo), ou, até mesmo, um processo de neutralização (SANTACRUZ; RIVADENEIRA; CASTRO, 2015).

A cera de abelha é um lipídio que possui alta hidrofobicidade e excelente resistência à umidade, apresentando-se como barreira eficaz à transmissão do vapor de água, mas valores baixos de resistência mecânica. A cera de abelha vem sendo amplamente pesquisada e aplicada em diversos ramos da indústria (de cosméticos, farmacêutica e de alimentos), e, na obtenção de coberturas associadas, ou não, a um biopolímero (KLANGMUANG; SOTHORNVIT, 2016). No entanto, para se obter uma mistura estável entre o biopolímero e a cera é preciso usar tensoativos. Os tensoativos são moléculas anfifílicas cuja propriedade mais significativa é a de formar emulsões e estabilizar misturas bifásicas por meio de sua ação interfacial, isso ocorre pelo fato de que suas moléculas contém uma parte polar (hidrofílica) e outra apolar (lipofílica) (ZHU; FREE; YI, 2015; ZHU et al., 2017).

Outro composto utilizado na produção de filmes são os plastificantes, que tem como finalidade aumentar a flexibilidade de um polímero e, conseqüentemente, melhorar sua processabilidade. No entanto, sua natureza hidrofílica, permite que suas moléculas atraiam a

água do sistema, ou seja, as propriedades de barreira diminuem deixando os filmes bipolímericos com baixa resistência ao meio úmido (ANTONIOU et al., 2014).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de cera de abelha e óleo de canola saponificado (tensoativo) nas propriedades de filmes a base de quitosana.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES À BASE DE QUITOSANA, CERA DE ABELHA E ÓLEO DE CANOLA SAPONIFICADO

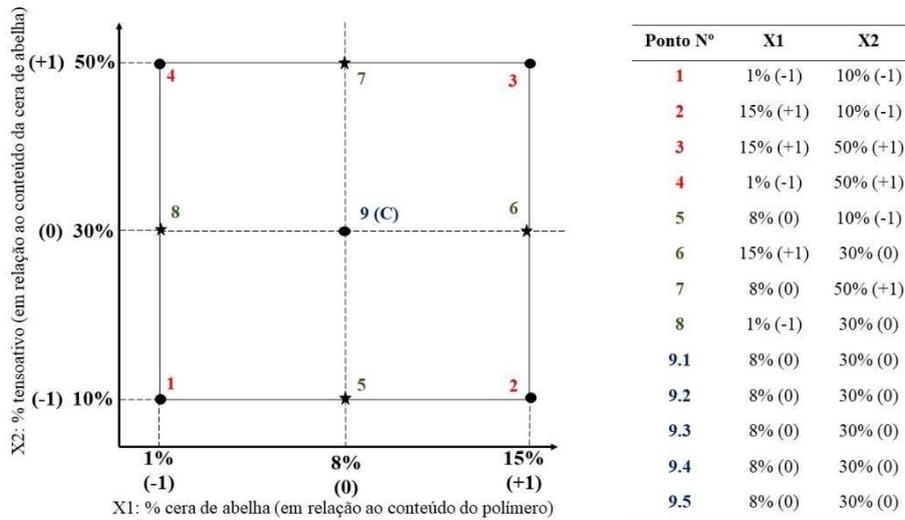
2.1.1. Preparo da solução de quitosana

Foram produzidos filmes de quitosana com composições diferentes de cera de abelha e óleo de canola saponificado (tensoativo aniônico). As misturas filmogênicas de quitosana foram produzidas com base na metodologia de Bonilla e Sobral (2016), com algumas modificações. As misturas foram preparadas contendo 2% de massa seca, incluindo a quitosana, cera de abelha e tensoativo. A quitosana foi dissolvida em ácido acético 1% (v/v), sendo mantida sob agitação por 24 horas. Posteriormente, em outro recipiente, misturas de cera de abelha e tensoativo com diferentes composições (cera de abelha: 1, 8 e 15%; tensoativo: 10, 30 e 50%) foram solubilizados a 85°C. A cera de abelha foi adicionada levando em consideração a massa seca do biopolímero e o tensoativo levando em consideração à concentração de cera de abelha. Em seguida, a cera de abelha com o tensoativo foram misturados à solução de quitosana, ambas mantidas a 85°C, sob agitação, por 10 minutos. Após obtenção das soluções, as mesmas foram distribuídas em bandejas de acrílico (15 cm x 15 cm x 1 cm) e submetidas à secagem na estufa a 50 °C, por 6 horas.

2.1.2. Preparo da mistura de cera de abelha com tensoativo

As misturas contendo cera de abelha e tensoativo foram preparadas em proporções variando entre 0% e 15% para cera de abelha (em relação ao conteúdo do polímero) e 0 a 50% para o tensoativo (em relação ao conteúdo da cera de abelha), conforme exibido na Figura 1.

Figura 1: Planejamento experimental das concentrações de cera de abelha e tensoativo



Fonte: autor, 2021.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE BARREIRA, ÓPTICAS, MECÂNICAS E MORFOLÓGICA DOS FILMES PRODUZIDOS

2.2.1. Espessuras

As medidas foram realizadas utilizando um micrômetro digital Mitutoyo. A determinação da espessura dos filmes ocorreu de acordo com a metodologia de Luchese et al. (2015) na qual medições foram realizadas em cinco pontos escolhidos aleatoriamente ao longo dos filmes.

2.2.2. Solubilidade em água

A determinação da solubilidade em água dos filmes foi realizada em triplicata, onde foram destacados quadrados de 2 cm dos filmes que foram secos a 105°C e pesados em uma balança de precisão para determinação de sua massa inicial. Em seguida, os filmes foram submetidos a agitação constante em água destilada por 24 horas a 26°C, etapa em que efetivamente os filmes foram expostos à solubilização. Após 24h, os filmes foram secos a 105°C e pesados para a determinação da massa final (OLIVEIRA et al., 2018b). A solubilidade em água pode ser determinada a partir da Equação 1.

$$S = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

S: solubilidade dos filmes (%);

m_i : massa inicial da amostra do filme (g);

m_f : massa final da amostra do filme (g).

2.2.3. Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada de acordo a norma ASTM E96-95, com adaptações. Amostras circulares do filme foram separadas e colocadas sobre a abertura de cápsulas de permeação, feitas de policloreto de vinila (PVC), e com diâmetro interno de cerca de 1 cm, contendo 6 mL de água destilada. As amostras dos filmes foram depositadas no orifício interno das cápsulas de permeação e selados com anéis de borracha; em seguida as células foram fechadas, de modo que a perda de água do sistema ocorresse através do filme. As cápsulas de permeação contendo água e filmes recobrimo o orifício foram colocadas dentro de um dessecador com umidade relativa de 10% e temperatura de 29°C. Nove medições de massa dos conjuntos, bem como da temperatura do dessecador foram feitas de hora em hora, de modo a determinar a taxa de perda de água de cada um dos filmes; as análises foram realizadas em triplicada. A PVA foi determinada a partir do estado estacionário de acordo com a Equação 2.

$$PVA = \frac{W}{A \cdot t} \quad (2)$$

Onde:

PVA: permeabilidade ao vapor de água ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$);

W: peso da água que permeou através do filme (g);

A: área de permeação exposta (m^2);

t: intervalo de tempo de permeação (h).

2.2.4. Cor e opacidade

As determinações da cor e da opacidade dos filmes foram realizadas utilizando a metodologia de Fakhouri et al. (2015), com o auxílio do colorímetro, CR 10 Minolta, calibrado

contra um fundo branco padrão e um fundo preto padrão. Cada amostra foi analisada em triplicata. Os valores de opacidade foram calculados de acordo com a Equação 3.

$$O_p = \frac{O_{pb}}{O_{pw}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

O_p : opacidade dos filmes;

O_{pb} : opacidade do filme contra um fundo preto padrão;

O_{pw} : opacidade do filme contra um fundo branco padrão.

2.2.5. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas utilizando uma máquina universal de ensaios (DL 10000, da Série EMIC), que opera de acordo com a norma ASTM D882-83, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min com aplicação de força total de 5 kN. Os corpos seguiram o mesmo padrão e foram avaliados com as dimensões de comprimento útil de 50 mm e largura de 5 mm. Foram avaliadas a tensão na ruptura, o alongamento na ruptura e o módulo de elasticidade. Os ensaios foram realizados em quintuplicata.

2.2.6. Análise morfológica

As microestruturas da superfície e da seção transversal dos filmes foram avaliadas utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (Modelo VEGA 3), onde foi aplicada a tensão e a magnitude de 15 kV e 1 kx, respectivamente. Para realização da análise, as amostras foram fixadas em suportes (stubs) de alumínio com auxílio de fitas de carbono. Para conferir condutividade aos filmes, os mesmos foram recobertos com uma camada de ouro de 5nm, em metalizador a vácuo, modelo Q150R, por 360 segundos, a 20 mA.

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística consistiu de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey à 5% de nível de significância, através do software SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. SOLUBILIDADE EM ÁGUA E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Após a produção dos filmes de quitosana com cera de abelha e tensoativo (óleo de canola saponificado), os mesmos foram submetidos à caracterização da solubilidade em água e PVA. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos dos filmes de quitosana com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8 e 15%) e tensoativo (10, 30 e 50%), além dos filmes controle.

Tabela 1: Valores obtidos da solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes

Tratamentos	Solubilidade (%)	PVA
		(g.mm.kPa ⁻¹ .h ⁻¹ .m ⁻²)
T0	43,17 ± 2,58 ^f	31,68 ± 2,57 ^{abc}
T1	36,16 ± 0,94 ^{cd}	32,06 ± 1,12 ^{bc}
T2	32,72 ± 2,01 ^{bc}	27,77 ± 1,94 ^{ab}
T3	30,00 ± 0,73 ^{ab}	34,71 ± 2,77 ^{cd}
T4	41,94 ± 0,66 ^{ef}	27,36 ± 1,11 ^{ab}
T5	37,93 ± 2,01 ^{de}	26,79 ± 1,30 ^a
T6	27,76 ± 2,41 ^a	28,18 ± 1,74 ^{ab}
T7	33,05 ± 0,33 ^{bc}	39,55 ± 2,47 ^d
T8	43,95 ± 0,70 ^f	27,50 ± 0,55 ^{ab}
T9	36,66 ± 0,13 ^{cd}	30,36 ± 1,16 ^{abc}

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

Na Tabela 1, é possível se observar que a quantidade de cera de abelha influenciou na solubilidade em água dos filmes. A solubilidade diminuiu com o aumento da concentração de cera de abelha, em comparação com o controle, sendo que para os tratamentos T2, T3 e T6, foram os que apresentaram menores valores de solubilidade: 32,72 ± 2,01%, 30,00 ± 0,73% e 27,76 ± 2,41%, respectivamente; observando-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre eles. Essa redução ocorreu devido à natureza hidrofóbica da cera de abelha que tornou os filmes mais

resistentes à água. Por outro lado, o aumento da concentração de tensoativo foi capaz de aumentar ligeiramente a solubilidade dos filmes contendo cera.

Diferente deste trabalho, Santos et al. (2017) avaliaram somente o efeito da adição de cera de carnaúba com diferentes concentrações (0, 15, 30, 40 e 50%) nas propriedades de filmes de quitosana. O tensoativo utilizado foi o tweed 20. Os resultados mostraram que a solubilidade em água dos filmes de quitosana pura e com adição de 15% de cera foram de 12,31%, ou seja, não havendo diferença entre 0 e 15% de cera. Um comportamento diferente na solubilidade dos filmes foi detectado após a incorporação de 30% da cera, o que ocasionou uma redução da solubilidade em 60%. Já os filmes com 40 e 50% de cera apresentaram maior solubilidade do que os demais filmes.

Hromiš et al. (2015), utilizaram cera de abelha em filmes de quitosana, no entanto, o tensoativo utilizado foi tweed 20, além de usar óleo essencial de cominho. As concentrações de cera de abelha foram 0, 18, 36, 54, 72 e 90 kg/m³. Os resultados mostraram que a solubilidade em água dos filmes diminuiu com o aumento da quantidade de cera de abelha (CW), passando de $13,92 \pm 5,75$ (quitosana pura) para $1,86 \pm 0,4$ (CW: 72 kg/m³) e $2,21 \pm 1,47$ (CW: 90 kg/m³).

Assim como a solubilidade, a PVA diminuiu quando a quantidade de cera de abelha aumentou, porém, essa diminuição ocorreu quando a concentração de tensoativo (óleo de canola saponificado) foi inferior a 30%, como observado nos tratamentos T2 e T6, $27,77 \pm 1,94$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻² e $28,18 \pm 1,74$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻², respectivamente. Isso ocorreu devido à cera conter ésteres de cadeia longa, alcanos, ácidos graxos de cadeia longa e álcoois com grupos não polares, podendo impedir que o vapor de água passe através do filme (ZHANG et al., 20210). No entanto, quando a concentração de tensoativo foi superior a 30%, a PVA aumentou em comparação ao controle ($31,68 \pm 2,57$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻²) e demais tratamentos, como observado nos tratamentos T3 e T7, $34,71 \pm 2,77$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻² e $39,55 \pm 2,47$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻², respectivamente.

Liu et al (2021), desenvolveram filmes de quitosana e cera de abelha para embalagem para monitorar a maturação de kiwis, com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 2, 3, 4 e 5%) para avaliar a influência da mesma no aumento ou na diminuição da PVA. Os resultados mostraram que o aumento na quantidade de cera diminuiu a PVA dos filmes produzidos, passando de $12,18$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻² para $9,74$ g.mm.kPa⁻¹.h⁻¹.m⁻².

3.2. COR E OPACIDADE

A cor e a opacidade são considerados importantes parâmetros de caracterização, pois a cor está associada com a matéria-prima utilizada na elaboração dos filmes, por exemplo; e a opacidade está relacionada com a capacidade do filme de refletir ou absorver a luz (BELIBI et al., 2014). A Tabela 2 mostra os resultados obtidos dos filmes de quitosana controle e com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8 e 15%) e tensoativo (10, 30 e 50%).

Tabela 2: Valores obtidos da cor e opacidade dos filmes.

Tratamentos	L	a*	b*	Opacidade
T0	79,08 ± 0,37 ^{abc}	3,98 ± 0,17 ^a	14,38 ± 0,26 ^{ab}	43,20 ± 0,32 ^{abc}
T1	79,46 ± 0,43 ^{bc}	4,96 ± 0,89 ^c	15,28 ± 0,22 ^b	43,02 ± 0,23 ^{ab}
T2	78,40 ± 0,57 ^a	5,06 ± 0,05 ^c	17,02 ± 0,48 ^c	43,55 ± 0,42 ^{abc}
T3	78,76 ± 0,40 ^{ab}	5,58 ± 0,13 ^d	17,38 ± 0,33 ^c	43,81 ± 0,36 ^{bc}
T4	79,42 ± 0,22 ^{bc}	5,16 ± 0,05 ^c	14,74 ± 0,61 ^{ab}	42,81 ± 0,73 ^a
T5	79,42 ± 0,44 ^{abc}	5,08 ± 0,10 ^c	14,64 ± 0,58 ^{ab}	43,43 ± 0,43 ^{abc}
T6	79,68 ± 0,50 ^{bc}	6,20 ± 0,07 ^c	13,66 ± 0,47 ^a	43,90 ± 0,13 ^c
T7	79,90 ± 0,38 ^c	5,04 ± 0,05 ^c	14,12 ± 1,03 ^{ab}	43,86 ± 0,22 ^c
T8	79,88 ± 0,55 ^c	5,16 ± 0,13 ^c	14,92 ± 0,31 ^b	43,52 ± 0,40 ^{abc}
T9	79,84 ± 0,66 ^c	4,48 ± 0,29 ^b	13,66 ± 0,68 ^a	43,74 ± 0,24 ^{bc}

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

A Tabela 2 mostra que os tratamentos se diferenciaram estatisticamente ($p < 0,05$) para todos os parâmetros (cor e opacidade). Em relação aos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), é possível observar que os valores de a^* foram positivos, ou seja, sugerem que os filmes possuem um tom avermelhado. O parâmetro b^* , apresentou uma tonalidade amarelada, sendo maior quando a quantidade de cera de abelha aumentou, em comparação com o controle, como nos tratamentos T0, T2 e T3; isso pode estar associado à coloração amarelada tanto da quitosana como da cera de abelha, uma tonalidade natural dos produtos. Já o parâmetro L^* referente à luminosidade, que consiste na capacidade de determinado objeto em refletir ou transmitir luz, ou seja, quanto maior este índice, mais claro é o filme. É possível observar na Tabela 2 que a luminosidade dos filmes sofreu uma diminuição quando a cera de abelha foi incorporada, em comparação com o controle, ou seja, nos tratamentos T0, T2 e T3.

Resultados semelhantes foram obtidos por Xavier et al. (2020), que produziram filmes à base de fécula, quitosana e cera de carnaúba. Os resultados mostraram que ao adicionar a quitosana e cera à solução de fécula os valores do parâmetro b^* aumentaram, passando de 8,07

$\pm 0,15$ para $21,17 \pm 0,15$; já para o parâmetro L^* ocorreu uma diminuição, passando de $85,47 \pm 0,42$ para $80,93 \pm 0,06$.

A Tabela 2 também exibe os valores obtidos da opacidade. Os resultados mostram claramente que a presença de cera de abelha nos filmes de quitosana afetou pouco a opacidade. Isso ocorreu no estudo de Santos et al. (2017), que apesar de observarem um aumento da opacidade com a adição de cera de carnaúba, esse não foi muito acentuado. A adição de 30% de cera, por exemplo, implicou num aumento de apenas 6% em relação aos filmes controle.

3.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Valores de resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de Young (módulo de elasticidade) servem como comparação do desempenho mecânico dos materiais. Por isso, a análise das propriedades mecânicas de materiais poliméricos é importante no processo de seleção do material usado em um produto, como por exemplo filmes, para determinar a aplicabilidade dos mesmos (ANTUNES et al., 2019).

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos dos ensaios mecânicos (resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de Young) e nos filmes de quitosana sem e com diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8 e 15%) e tensoativo (10, 30 e 50%).

Tabela 4: Valores obtidos da resistência à tração, alongamento de ruptura e módulo de Young dos filmes.

Tratamentos	Resistência à tração (MPa)	Alongamento de ruptura (%)	Módulo de Young (MPa)
T0	$27,19 \pm 0,34^e$	$72,07 \pm 3,01^{abc}$	$623,4 \pm 10,3^d$
T1	$22,63 \pm 2,12^d$	$56,76 \pm 1,78^a$	$458,0 \pm 26,3^c$
T2	$19,80 \pm 1,01^{bc}$	$56,12 \pm 2,19^a$	$376,2 \pm 44,2^c$
T3	$15,34 \pm 0,06^a$	$66,01 \pm 2,29^{abc}$	$115,7 \pm 40,2^{ab}$
T4	$27,95 \pm 0,71^e$	$82,63 \pm 6,85^c$	$182,2 \pm 31,4^b$
T5	$17,31 \pm 1,11^{ab}$	$75,82 \pm 11^{bc}$	$172,5 \pm 55,1^{ab}$
T6	$21,69 \pm 0,38^{cd}$	$59,08 \pm 0,43^{ab}$	$216,6 \pm 43,9^b$
T7	$26,65 \pm 0,67^e$	$65,46 \pm 10,81^{abc}$	$206,6 \pm 3,9^b$
T8	$23,32 \pm 0,06^d$	$59,85 \pm 8,44^{ab}$	$76,0 \pm 9,0^a$
T9	$23,64 \pm 2,04^d$	$66,11 \pm 5,09^{abc}$	$120,7 \pm 47,3^{ab}$

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

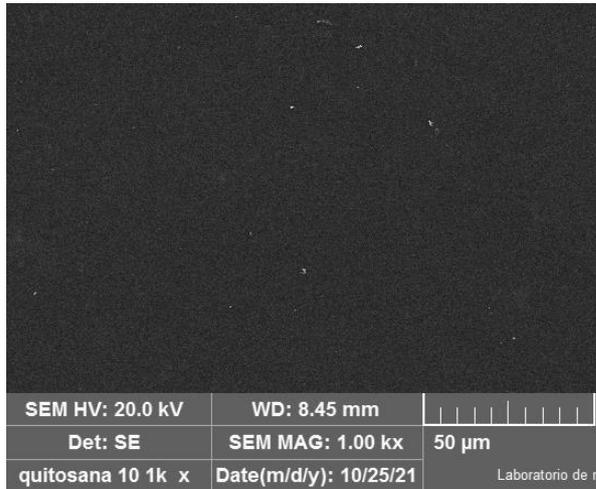
Neste estudo, as concentrações de cera de abelha nos filmes de quitosana afetaram significativamente ($p < 0,05$) a resistência à tração, alongamento na ruptura e o módulo de Young. É possível observar na Tabela 3 que quando a concentração de cera e de tensoativo aumentou a resistência à tração diminuiu, por exemplo, nos tratamentos T2, T3 e T6, quando comparados ao controle (T0). Em relação ao alongamento de ruptura, é perceptível que somente no tratamento T4 seu valor aumentou, isto se dá devido à quantidade de cera de abelha ser menor (1%) com uma quantidade de tensoativo maior (50%); nos demais tratamentos, os valores ficaram próximos. Já para o módulo de Young, que indica a rigidez do filme, sendo que, quanto maior o módulo, mais rígido é o filme, observa-se que o filme controle (T0) apresentou maior valor do módulo de Young, diferindo significativamente dos demais. A adição de cera de abelha e tensoativo causou redução da rigidez dos filmes na região de comportamento elástico, sendo o tratamento T8 aquele que obteve a maior redução quando comparado ao controle, passando de $623,4 \pm 10,3$ MPa para $76,03 \pm 8,96$ MPa, conforme a Tabela 3.

Xavier et al. (2020), produziram filmes biopoliméricos baseados em fécula, quitosana e cera de carnaúba. Os resultados mostraram que os filmes apresentaram valores diferentes para a resistência à tração (fécula/cera: $0,004 \pm 0,001$ MPa e fécula/quitosana/cera: $0,010 \pm 0,001$ MPa), mas próximos para o alongamento na ruptura (fécula/cera: $10,31 \pm 5,44\%$ e fécula/quitosana/cera: $14,67 \pm 4,22\%$) e módulo de Young (fécula/cera: $0,0016 \pm 0,0007$ MPa e fécula/quitosana/cera: $0,0015 \pm 0,0004$ MPa). Os autores explicam que essa diferença da resistência à tração é devida as ligações de hidrogênio formadas entre os grupos NH_3^+ da quitosana protonada e os grupos OH^- do amido/fécula, e assim, a matriz polimérica estabiliza, em relação à matriz composta apenas pela fécula.

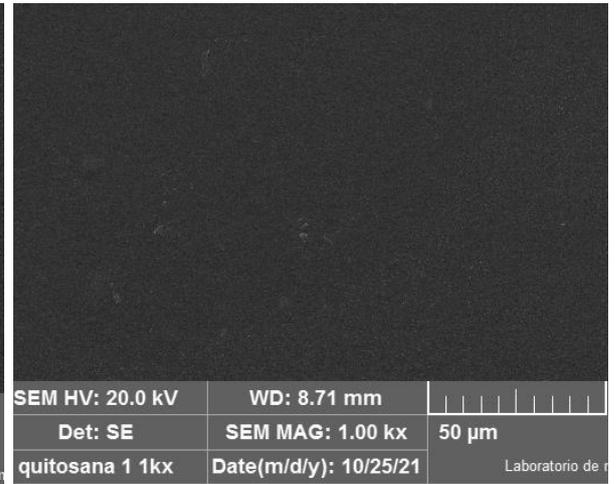
3.4. ANÁLISE MORFOLÓGICA

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é a técnica mais utilizada para avaliar a microestrutura de filmes biodegradáveis, sendo uma análise capaz de produzir imagens da superfície dos filmes com alta resolução, e assim, mostrar as possíveis alterações nos filmes que são imperceptíveis a olho nu. A Figura 2 mostra as micrografias das superfícies dos filmes realizada através do MEV.

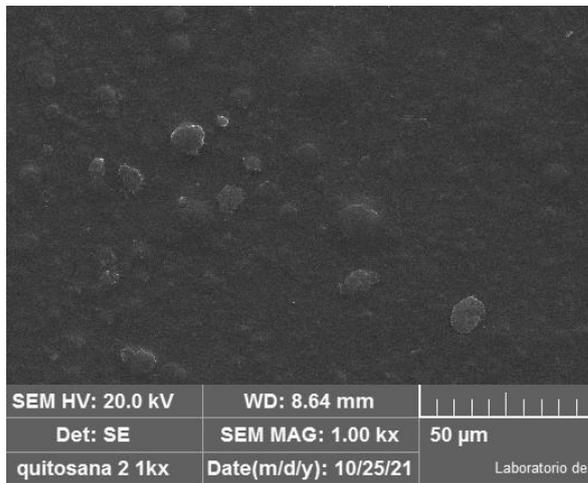
Figura 2: Microscopia Eletrônica de Varredura dos filmes à base de quitosana, cera de abelha, e óleo de canola saponificado com dimensões de 50 μm e magnitude de 1Kx



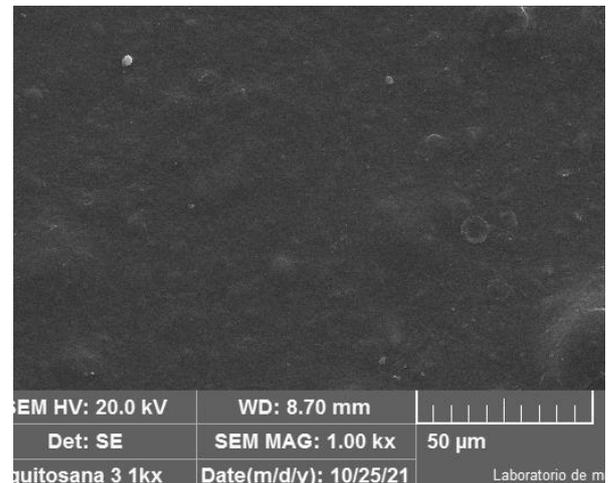
T0



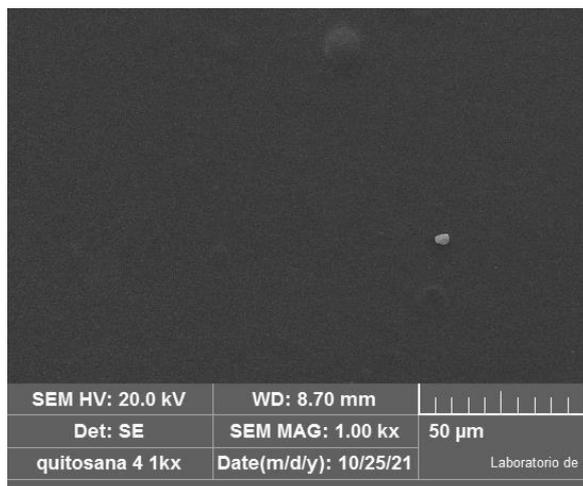
T1



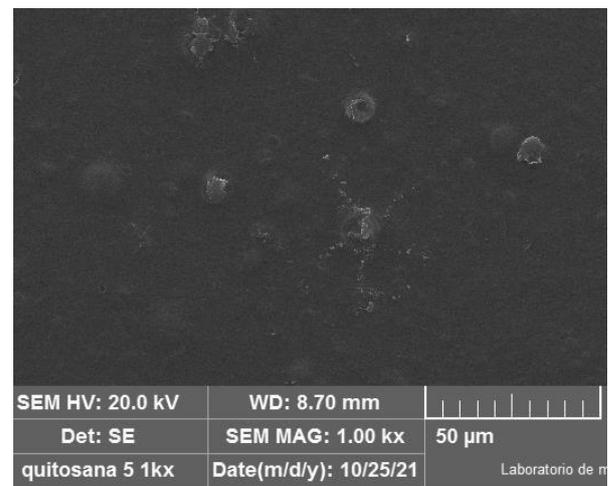
T2



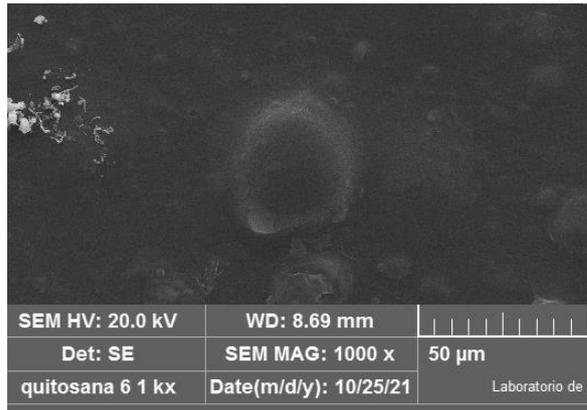
T3



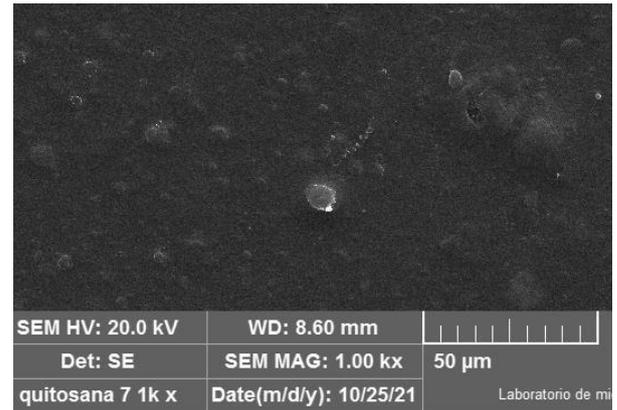
T4



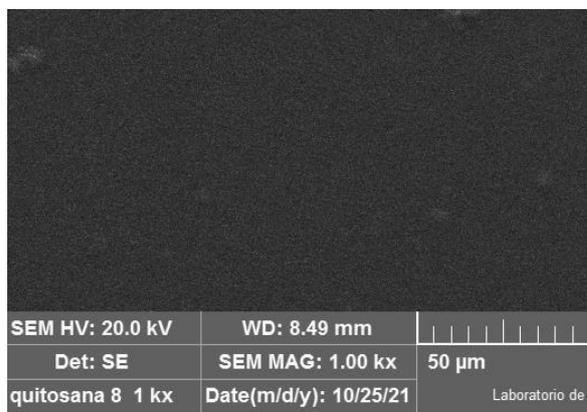
T5



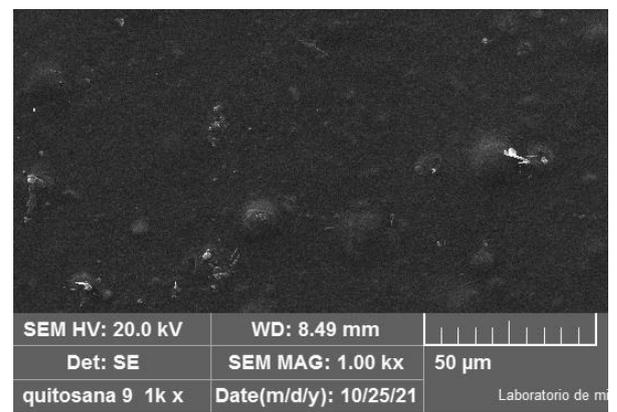
T6



T7



T8



T9

Legenda: T0: quitosana; T1: quitosana, cera de abelha (1%) e tensoativo (10%); T2: quitosana, cera de abelha (15%) e tensoativo (10%); T3: quitosana, cera de abelha (15%) e tensoativo (50%); T4: quitosana, cera de abelha (1%) e tensoativo (50%); T5: quitosana, cera de abelha (8%) e tensoativo (10%); T6: quitosana, cera de abelha (15%) e tensoativo (30%); T7: quitosana, cera de abelha (8%) e tensoativo (50%); T8: quitosana, cera de abelha (1%) e tensoativo (30%); T9: quitosana, cera de abelha (8%) e tensoativo (30%).

No tratamento T0, onde não há cera de abelha e tensoativo, somente a quitosana, é observado na Figura 2 (T0) uma homogeneidade na superfície, com ausência de partículas insolúveis a olho nu, poros ou defeitos aparentes, este resultado foi semelhante ao de Yassue-Cordeiro et al. (2015), que observaram filmes de quitosana pura com uma matriz compacta, sem defeitos apreciáveis e ausência de macroporos. Já nos tratamentos com a concentração de cera menor (tratamentos T1, T4 e T8), foi observado que há a presença de algumas partículas sólidas, o que pode ser atribuído, possivelmente, à presença da cera de abelha ou a partículas de quitosana que não foram totalmente dissolvidas.

O oposto ocorreu quando a concentração de cera de abelha foi maior (T2, T3 e T6), onde percebeu-se uma alteração, com a presença de rugosidades e algumas partículas sólidas, ocasionadas por uma possível não uniformização ou não homogeneidade das misturas filmogênicas, ocasionando uma separação de fases.

Xavier et al. (2017) que produziram filmes a base de fécula, quitosana e cera de carnaúba, observaram que o filme controle, apresentou uma matriz mais contínua, enquanto o filme contendo fécula, quitosana e cera, apresentou formação de grânulos, aparentando ser ligeiramente mais áspero; esse fenômeno tornou-se mais evidente quando as concentrações de quitosana e cera foram maiores.

4. CONCLUSÃO

A partir da produção, caracterização e análise dos filmes biopoliméricos à base de quitosana e diferentes concentrações de cera de abelha (1, 8, 15 %) e óleo de canola saponificado (10, 30 e 50 %), foi possível constatar que o aumento da concentração de cera de abelha reduziu as características hidrofílicas dos filmes, diminuindo a solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor de água. Em relação à cor e opacidade, houve uma leve alteração nesses parâmetros com a adição de cera de abelha. No que diz respeito às propriedades mecânicas, ao adicionar cera de abelha e tensoativo ocorreu uma redução nos parâmetros, alongamento na ruptura, resistência à tração e módulo de Young, em comparação com os filmes do controle. A análise morfológica, apresentou alterações nos filmes com concentrações de cera de abelha altas, com maior rugosidade e presença de partículas sólidas, fenômeno este ocorrido, provavelmente, pela não uniformização das soluções filmogênicas. Com isso, os filmes à base de quitosana com 15 % de cera de abelha e 30 % de tensoativo apresentaram melhores resultados nas propriedades analisadas, em especial, uma menor solubilidade, sendo considerado o mais promissor para algumas aplicações, como por exemplo, sacos para mudas.

REFERÊNCIAS

ANTONIOU, J.; LIU, F.; MAJEED, H.; QAZI, H. J.; ZHONG, F. Physicochemical and thermomechanical characterization of tara gum edible films: Effect of polyols as plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p.359-365, 2014.

ANTUNES, L.B; GONÇALVES, B. S.; SILVEIRA, M. F. A.; SOUZA, A. R. M; CARVALHO, D. M. Efeito do glicerol nas propriedades mecânicas de filmes a base de quitosana. **Revista Desafios** – v. 6, Especial, 2019.

BELIBI, P. C.; DAOU, T. J.; NDJAKA, J. M. B.; NSOM, D.; MICHELIN, L.; DURAND, B. A comparative study of some properties of cassava and tree cassava starch films. **Physics Procedia**, v. 55, p. 220–226, 2014.

BONILLA, J.; SOBRAL, P. J. A. Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. **Food Bioscience**, v. 16, p. 17-25, 2016.

ELGADIR, M. A.; UDDIN, M. S.; FERDOSH, S.; ADAM, A.; CHOWDHURY, A. J. K.; SARKER, Z. I. Impact of chitosan composites and chitosan nanoparticle composites on various drug delivery systems: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 4, p.619-629, 2015.

FRÁGUAS, R. M.; SIMÃO, A. A.; FARIAS, P. V.; QUEIROZ, E. R.; OLIVEIRA, E. N.; Jr., ABREU, C. M. P. Preparo e caracterização de filmes comestíveis de quitosana. **Polímeros**, São Carlos, v. 25, n. especial, p. 48-53, 2015.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**. v. 109, p. 57–64, 2015.

HROMIŠ, N. M.; LAZIĆ, V. L.; MARKOV, S. L.; VAŠTAG, Ž. G.; POPOVIĆ, S. Z.; ŠUPUT, D. Z.; POPOVIĆ, L. M. Optimization of chitosan biofilm properties by addition of caraway essential oil and beeswax. **Journal of Food Engineering**, 158, p. 86–93. 2015.

LIU, Y.; MA, Y.; FENG, T.; LUO, J.; SAMEEN, D. E.; HOSSEN, M. A.; DAI, J.; LI, S.; QIN, W. Development and characterization of aldehyde-sensitive cellulose/chitosan/beeswax colorimetric papers for monitoring kiwifruit maturity. **International Journal of Biological Macromolecules**, 187, 566–574, 2021.

LUCHESE, L.; FRICK, J. M.; PATZER, V. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Synthesis and characterization of biofilms using native and modified pinhão starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 203–210. 2015.

KLANGMUANG, P.; SOTHORNVIT, R. Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. **LWT - Food Science and Technology**. v. 65, p. 222–227, 2016.

MACEDO, A.C. **Produção de Mudas em viveiros florestais: espécies nativas** / revisado e ampliado por Paulo Y. Kageyama, Luiz G. S. da Costa. - São Paulo Fundação Florestal, p. 18.1993.

OLIVEIRA, V. R. L.; XAVIER, T. D. N.; ARAÚJO, N. O.; ALMEIDA, J. G. L.; AROUCHA, E. M. M.; SANTOS, F. K. G.; SILVA, K. N. de O. Evaluation of Biopolymer Films of Cassava Starch with Incorporation of Clay Modified by Ionic Exchange and its Application as a Coating in a Fruit. **Materials Research**, v. 20, p. 758–766, 2018.

SANTOS, F. K. G.; SILVA, K. N. O.; XAVIER, T. D. N.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M. Effect of the Addition of Carnauba Wax on Physicochemical Properties of Chitosan Films. **Materials Research**, 20(suppl 2), p. 479–484. 2017.

SANTACRUZ, E.; RIVADENEIRA, C.; CASTRO, M. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 49, 89–94, 2015.

SUN, Q.; SUN, C.; XIONG, L. Mechanical, barrier and morphological properties of pea starch and peanut protein isolate blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p.630-637, 2013.

S. A.; DAR, B. N.; WANI, A. A.; SHAH, M. A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 141–154, 2018.

XAVIER, T. D. N.; OLIVEIRA, V. R. L. DE ; LEITE, R. H. DE L. ; AROUCHA, E. M. M. ; SANTOS, F. K. G. DOS . Filmes biopoliméricos baseados em fécula, quitosana e cera de carnaúba e suas propriedades. **Materia-Rio de Janeiro**, v. 25, p. ---, 2020.

YASSUE-CORDEIRO, P. H., ZANDONAI, C. H., SILVA, C. F. DA, & FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Desenvolvimento e caracterização de filmes compósitos de quitosana e zeólitas com prata. **Polímeros**, v. 25(5), p. 492–502. 2015.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology And Technology**, v. 107, p.23-32, 2015.

ZHU, Y.; FREE, M. L.; WOOLLAM, R.; DURNIE, W. A review of surfactants as corrosion inhibitors and associated modeling. **Progress In Materials Science**, v. 90, p.159-223, 2017.

CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DE SACOS BIODEGRADÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook

RESUMO

Nos últimos anos vem aumentando a procura por materiais biodegradáveis, com o intuito de diminuir os materiais sintéticos e os impactos negativos ao ambiente causados pelos mesmos. Com isso, o objetivo deste trabalho foi comparar três tipos de sacos para mudas, sendo dois biodegradáveis à base de quitosana e quitosana/cera de abelha/tensoativo e um sintético, e aplica-los em mudas de *Tabebuia aurea*. Os filmes para produção dos sacos foram produzidos a partir do método *casting*. Após a produção dos filmes, os mesmos foram cortados e selados nas extremidades. Posteriormente, sementes de *Tabebuia aurea* foram colocadas para germinar nos três tipos de sacos (polietileno, quitosana e quitosana/cera de abelha/tensoativo) contendo fibra de coco como substrato, e encaminhados para a casa de vegetação. Foram avaliados os efeitos do tipo do saco (polietileno, quitosana e quitosana/cera de abelha/óleo de canola saponificado) e do tempo (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias) no desenvolvimento das mudas. As análises realizadas nos sacos foram: avaliação visual da degradação e a perda da massa seca dos sacos; e as análises realizadas nas mudas foram: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e massa seca total. Em seguida, os dados foram submetidos à análise estatística que consistiu em análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey à 5% de nível de significância. Os resultados mostram que os sacos biodegradáveis não foram tão resistentes durante o período de avaliação, onde 81,2 % de sacos de quitosana e 75 % de sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo foram danificados, sendo necessário aperfeiçoar os mesmos para resistir ao ambiente úmido, até irem para o seu local definitivo. Já em relação às mudas, os sacos biodegradáveis, mesmo danificados, fizeram com que as mudas germinassem durante todo o período de avaliação (30 dias). No entanto, as mudas não conseguiram atingir nem crescimento e nem seu acúmulo de matéria orgânica constante, isso ocorreu possivelmente devido ao período de avaliação que não foi suficiente.

Palavras-chave: craibeira, quitosana, tensoativo, cera de abelha.

ABSTRACT

In recent years, the demand for biodegradable materials has been increasing, in order to reduce synthetic materials and the negative impacts on the environment caused by them. Thus, the aim of this work was to compare three types of bags for seedlings, two of which are biodegradable based on chitosan and chitosan/beeswax/surfactant and one synthetic, and apply them in seedlings of *Tabebuia aurea*. The films for the production of the bags were produced using the casting method. After the films were produced, they were cut and sealed at the ends. Subsequently, *Tabebuia aurea* seeds were placed to germinate in three types of bags (polyethylene, chitosan and chitosan/beeswax/surfactant) containing coconut fiber as substrate, and sent to the greenhouse. The effects of bag type (polyethylene, chitosan and chitosan/beeswax/saponified canola oil) and time (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 days) on seedling development were evaluated. The analyzes carried out in the bags were: visual evaluation of the degradation and the loss of the dry mass of the bags; and the analyzes performed on the seedlings were: plant height (AP), stem diameter (DC), number of leaves (NF) and total dry mass. Then, the data were submitted to statistical analysis, which consisted of analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at 5% significance level. The results show that the biodegradable bags were not as resistant during the evaluation period, where 81.2% of chitosan

bags and 75.0% of chitosan/beeswax/surfactant bags were damaged, being necessary to improve them to resist the humid environment, until they go to their final location. As for the seedlings, the biodegradable bags, even when damaged, caused the seedlings to germinate throughout the evaluation period (30 days). However, the seedlings were not able to reach neither growth nor their accumulation of constant organic matter, this was possibly due to the evaluation period, which was not sufficient.

Keywords: craibeira, chitosan, surfactant, beeswax.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os polímeros naturais vêm ganhando destaque e despertando interesse em diversas aplicações, sendo uma alternativa promissora na diminuição dos problemas ambientais causados pelo descarte de embalagens plásticas derivadas de petroquímicos. Nos sistemas agrícolas, a utilização de polímeros naturais ainda é pouco habitual, pois é necessário produzir filmes que sejam resistentes, mas que se degradem por completo após o uso. Os filmes utilizados neste setor são de difícil reciclagem devido à grande quantidade de matéria orgânica presa ao material (BILCK et al., 2014; ZHANG et al, 2020).

Os sacos de mudas, por exemplo, são utilizados uma única vez e em seguida são descartados e, em outros casos, são plantados juntos com as mudas comprometendo o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, produzir filmes de materiais poliméricos e biodegradáveis pode ser uma alternativa promissora na produção de sacos para mudas, permitindo diminuir a geração de resíduos plásticos e os problemas ambientais decorrentes do descarte. Outro ponto importante, é que esses sacos biodegradáveis para mudas seriam de grande utilidade em projetos de recuperação de áreas degradadas, pois poderiam ser plantados junto com as mudas (BILCK et al, 2014). A *Tabebuia aurea* é conhecida como craibeira, paratudo, ipê-da-caatinga, craiba, cinco-de-rama entre outros nomes e possui uma importância devido ser usada na arborização, devido ao seu porte alto, a floração vistosa e sombra que essa espécie proporciona. Sua madeira é utilizada na construção civil, na carpintaria, produção de carvão e fins medicinais (LIMA et al., 2018).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi produzir sacos à base de quitosana e quitosana/cera de abelha/óleo de canola saponificada, para mudas de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook, popularmente conhecida como craibeira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. PRODUÇÃO DOS SACOS BIODEGRADÁVEIS

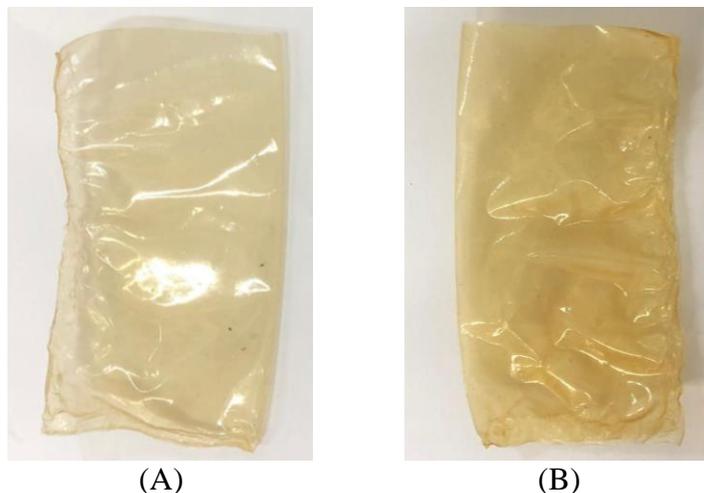
2.1.1. Obtenção dos filmes

As soluções filmogênicas de quitosana foram produzidas com base na metodologia de Bonilla e Sobral (2016), com algumas modificações. As soluções foram preparadas contendo 2% de massa seca, isso incluindo a quitosana, cera de abelha e óleo de canola saponificado (tensoativo). A quitosana foi dissolvida em ácido acético 1% (v/v), sendo mantida sob agitação por 24 horas. Posteriormente, em outro recipiente, misturas de cera de abelha (15%) e tensoativo (30%) foram solubilizados a 85°C. A cera de abelha foi adicionada levando em consideração a massa seca do biopolímero e o tensoativo levando em consideração à concentração de cera de abelha. Em seguida, a cera de abelha e o tensoativo foram misturados à solução de quitosana, ambas mantidas a 85°C, sob agitação, por 10 minutos. Após obtenção das misturas, as mesmas foram distribuídas em bandejas de acrílico (15 cm x 15 cm x 1 cm) e submetidas à secagem na estufa a 50 °C, por 6 horas.

2.1.2 Preparo dos sacos biodegradáveis

Após a produção dos filmes, os mesmos foram cortados com 11 ($\pm 0,5$) cm de altura e 13 ($\pm 0,5$) cm de largura e selados nas extremidades utilizando a própria solução filmogênica, ou seja, a solução à base de quitosana, com auxílio de um pincel, foi adicionada nas bordas dos filmes secos e em seguida secos em temperatura ambiente (24°C) por 24 horas, e assim produzidos sacos de 11 cm x 6 cm, conforme a Figura 1. Em seguida os sacos foram perfurados com 6 furos de 0,5 mm em cada lado usando um alicate perfurador.

Figura 1: Sacos biodegradáveis de (A) quitosana e (B) quitosana/cera de abelha/tensoativo



2.1.3. Delineamento experimental

O experimento foi distribuído em delineamento experimental inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 3 x 6, sendo três tipos dos sacos, sete tempos de avaliação com dezesseis repetições. Os sacos foram à base de quitosana, quitosana/cera de abelha/tensoativo e sacos de polietileno (controle), e os tempos avaliados a cada 5 dias, sendo o primeiro 5 dias após o plantio (DAP), como segue 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 (DAP). Os sacos foram preenchidos com fibra de coco, acondicionados em casa de vegetação, com regas diárias.

Nos sacos foram avaliados a degradação visual e a perda de massa seca (através do peso inicial e final). Já nas mudas de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook foram avaliados a altura da planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e massa seca total (MST).

As sementes da espécie *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook, foram coletadas nos meses de novembro e dezembro de 2020 em árvores localizadas no campus da UFERSA-Campus Mossoró, RN (5°12'15"S e 37°19'54"W). Em seguida foi realizado o teste de germinação das sementes com o intuito de determinar o potencial máximo de germinação.

O teste de germinação foi realizado utilizando como substrato três folhas de papel Germitest para cada repetição, os quais foram umedecidos com água destilada, na quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso dos papéis. Para isso, as sementes foram distribuídas sobre duas folhas, cobertas por uma terceira folha e organizadas em forma de rolos, os quais foram acondicionados em sacos plásticos transparentes para manutenção da umidade do substrato e mantidos em câmaras de germinação tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) a $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ com fotoperíodo de 12h, durante 21 dias (BRASIL, 2013). A Figura 1 exibe o teste de germinação nas sementes de *Tabebuia aurea* após 21 dias.

Figura 2: Teste de germinação das mudas de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook



Fonte: Autor, 2021.

2.2. ANÁLISES REALIZADAS NOS SACOS

2.2.1. Avaliação visual da degradação

Foi utilizada a metodologia Bilck et al. (2014), com adaptações, para acompanhamento da biodegradação dos sacos das mudas. Foi utilizada uma câmera fotográfica NIKON COOLPIX L820 para o registro e avaliação da degradação dos sacos com o tempo. Foram avaliados: rasgos (lateral e fundo) e resistência da selagem.

2.2.2. Avaliação do peso inicial e final dos sacos biodegradáveis

Cada saco foi pesado antes do plantio das mudas. Após 30 dias, os mesmos foram pesados depois do uso. Foram retiradas todas as mudas e o substrato dos sacos (Figura 3), e estes foram secos na estufa a 105 °C por 1 hora, depois colocados em dessecador por 24 horas a 10% umidade, em seguida os sacos foram pesados (peso final).

Figura 3: Sacos após o uso: P, polietileno; Q, quitosana; QCA, quitosana/cera de abelha/tensoativo.



Fonte: Autor, 2021.

2.3. ANÁLISES REALIZADAS NAS MUDAS

2.3.1. Altura da planta e diâmetro do caule

Após a germinação das mudas nos sacos biodegradáveis, foram realizadas sete (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias) leituras da altura de planta e diâmetro de caule para avaliação do crescimento das mudas, sendo a primeira no dia zero e os seguintes com intervalo de cinco dias.

O diâmetro do caule foi medido usando paquímetro e a altura de planta usando régua graduada. Para modelar as características de crescimento em função dos dias após a semeadura (DAS), foi usado o modelo logístico (MORAIS; MAIA, 2013), conforme a Equação 1.

$$Y = \frac{a}{1 + e^{\frac{b-c \cdot DAT}{a}}} \quad (1)$$

em que: DAT é a quantidade de dias após o transplante; e, “a”, “b” e “c” são parâmetros do modelo.

Com base no modelo ajustado aos dados, foram estimados os valores dos índices fisiológicos, determinando-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), em g dia⁻¹ e a taxa de crescimento relativo (TCR), em g g⁻¹ tempo⁻¹. Esses resultados foram obtidos pela derivada primeira do modelo (Equação 2), que avalia a produtividade primária líquida e representa o somatório das taxas de crescimento dos componentes das plantas.

$$TCA = \frac{a \cdot c \cdot e^{b-c \cdot DAT}}{(1 + e^{b-c \cdot DAT})^2} \quad (2)$$

Foi determinada ainda a TCR pelo quociente entre a TCA de cada característica avaliada pelos seus respectivos valores estimados em cada época de coleta (Equação 3). A taxa de crescimento relativo, expressa o incremento da massa de matéria seca, por unidade de massa inicial, em um intervalo de tempo, ou seja, avalia a eficiência da planta em converter fotoassimilados em tecidos, obtida pelo quociente da derivada primeira e a função de crescimento.

$$TCR = \frac{TCA}{Y} \quad (3)$$

2.3.2. Número de folhas

A determinação do número de folhas foi realizada através de contagem manual.

2.3.3. Massa seca total

As plântulas foram acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Posteriormente, as mesmas foram pesadas em balança analítica de três casas decimais. Os resultados foram expressos em g plântula⁻¹.

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey à 5% de nível de significância, através do software SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCURSSÃO

3.1. ANÁLISES REALIZADAS NOS SACOS

3.1.1. Avaliação visual da degradação e perda da massa seca dos sacos

Foi possível observar que a resistência do fundo dos sacos não foi adequada, a partir do dia 10 os principais danos ocorreram no fundo (Tabela 1), isso se deu, possivelmente, ao acúmulo de umidade em decorrência das regas diárias. Os sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo, conseguiu uma boa resistência até os 15 dias (Tabela 2), cinco dias a mais em comparação com os sacos de quitosana. Com 30 dias após o plantio, 81,2 % dos sacos de quitosana e 75 % dos sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo foram danificados. Já os sacos de polietileno (controle) não sofreram nenhuma alteração, estavam inteiros e sem sinais de decomposição ou rasgo.

Tabela 1: Valores obtidos dos danos nos sacos biodegradáveis de quitosana em 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias.

Dias de avaliação – quitosana							
Danos nos sacos	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
Rasgos (lateral)	0	0	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %
Rasgos (Fundo)	0	12,5 %	56,2 %	68,7 %	68,7 %	68,7 %	81,2 %
Selagem	0	6,2 %	16,2 %	12,5 %	12,5 %	12,5 %	12,5 %

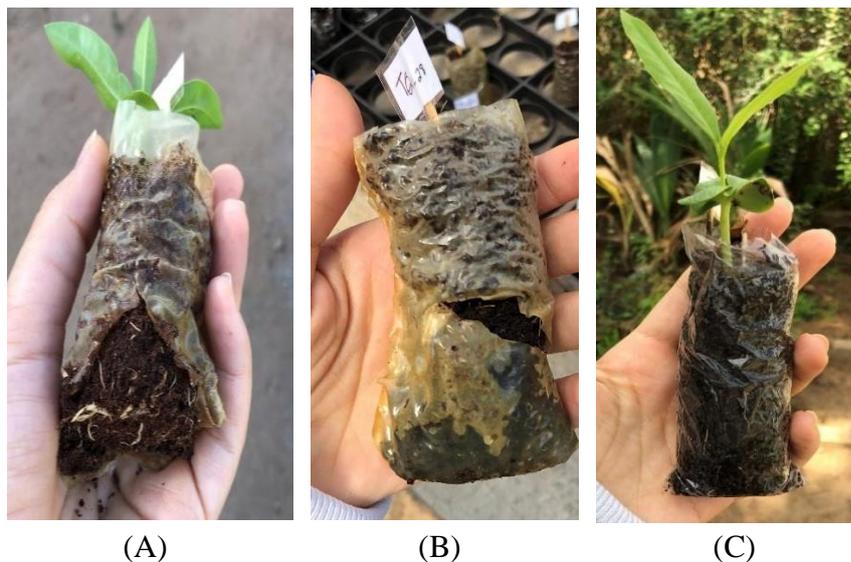
Tabela 2: Valores obtidos dos danos nos sacos biodegradáveis de quitosana/ cera de abelha/tensoativo em 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias.

Danos nos sacos	Dias de avaliação – quitosana/cera de abelha/tensoativo						
	Dia 0	Dia 5	Dia 10	Dia 15	Dia 20	Dia 25	Dia 30
Rasgos (lateral)	0	6,2 %	12,5 %	12,5 %	12,5 %	12,5 %	12,5 %
Rasgos (Fundo)	0	6,2 %	37,5 %	56,2 %	62,5 %	75 %	75 %
Selagem	0	0	0	6,2 %	6,2 %	6,2 %	6,2 %

Resultados semelhantes foram observados na pesquisa de Bilck et al. (2014), que produziram filmes biodegradáveis para produção de sacos para mudas de plantas. O material utilizando foi fécula de mandioca. Os autores observaram que após 60 dias do transplante, os sacos biodegradáveis apresentaram perda de aproximadamente 40% de sua estrutura original. Já os sacos de polietileno (controle) estavam completos e sem qualquer sinal de decomposição ou rasgo, com apenas alguns orifícios que foram causadas pelo crescimento da raiz.

A Figura 4 mostra os registros dos sacos biodegradáveis e os danos ocorridos durante o período de 30 dias.

Figura 4: Mudanças de *Tabebuia aurea*: saco de quitosana (A); quitosana/cera de abelha/tensoativo (B) e polietileno (C).



Fonte: Autor, 2021.

Para a perda de massa dos sacos biodegradáveis e o de polietileno, verificou-se que não houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias (Tabela 3). Houve uma pequena

redução dos sacos de polietileno, provavelmente, devido a retirada das mudas dos mesmos, podendo nesse processo ocorrer alguma perda de material que não foi perceptível. Já a perda de massa dos sacos de quitosana com e sem cera pode ser justificada devido o material ser biodegradável, ocorrendo influência da temperatura, umidade, aeração, nutrientes (contidos nas sementes) e pH.

Na maioria das vezes, a biodegradação depende das estruturas químicas e especialmente da hidrólise da ligação éster na cadeia principal, o que favorece a formação de monômeros e oligômeros que são facilmente absorvidos por microrganismos (BILCK et al, 2014; FERNANDES et al, 2019). Um exemplo semelhante foi obtido na pesquisa de Fernandes et al. (2019) que estudaram a capacidade de degradação no solo seco de filmes de amido. Os autores observaram logo na primeira semana mudança na aparência dos filmes que se apresentaram mais enrugados e frágeis. No entanto, os filmes conseguiram sua degradação total em 180 dias.

Tabela 3: Valores obtidos de massa dos sacos biodegradáveis e de polietileno após 30 dias.

Tratamentos	Perda de massa seca (%)
Quitosana	30,89 ± 6,92 ^b
Quitosana/cera de abelha/tensoativo	33,22 ± 6,32 ^b
Polietileno	0,60 ± 0,33 ^a

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

3.2. ANÁLISES REALIZADAS NAS MUDAS

3.2.1. Altura da planta e diâmetro do caule

Observou-se que as mudas de *Tabebuia aurea* atingiram maior rendimento para altura nos sacos de polietileno (controle) (Figuras 5). Pode-se perceber também que, em nenhum dos tratamentos as mudas atingiram sua altura máxima no período de avaliação (30 dias). Já em relação ao diâmetro do caule (Figura 6), verificou-se que os sacos de polietileno e o de quitosana/cera de abelha/tensoativo apresentaram melhores valores comparados aos sacos de quitosana.

A Figura 4 também exhibe os valores obtidos da taxa de crescimento absoluto (TCA) para a altura da planta (TCA AP) e diâmetro do caule (TCA DC). A TCA é um importante índice fisiológico usado para se obter a velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (BENINCASA, 2003). Os dados obtidos tanto da TCA AP como da TCA DC

mostraram que os sacos de polietileno também se sobressaíram comparados aos sacos biodegradáveis.

Pinto et al. (2016) também estudaram a TCA em mudas de *Tabebuia aurea*, no entanto, avaliaram os níveis de sombreamento (0, 30, 50 e 70%) em determinado período (0, 21, 42, 63,84, 105, 126 e 147 dias após o transplante). Os autores observaram que ocorreu efeito significativo aos 42, 63 e 126 dias após o transplante, para a TCA, com valores superiores nas mudas em pleno sol aos 42 e 63 dias após o transplante, e aos 126 dias após o transplante nas plantas na condição de 50% de sombreamento. Os autores também destacaram que aos 147 dias após o transplante as plantas não apresentaram diferença na velocidade de crescimento, ou seja, isto explica por que as mudas deste trabalho não atingiram sua altura máxima de crescimento, seria necessário um período maior que 30 dias.

Figura 5: Valores de Altura de planta (AP) e taxa de crescimento absoluta para altura de planta (TCA) para sacos de quitosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)

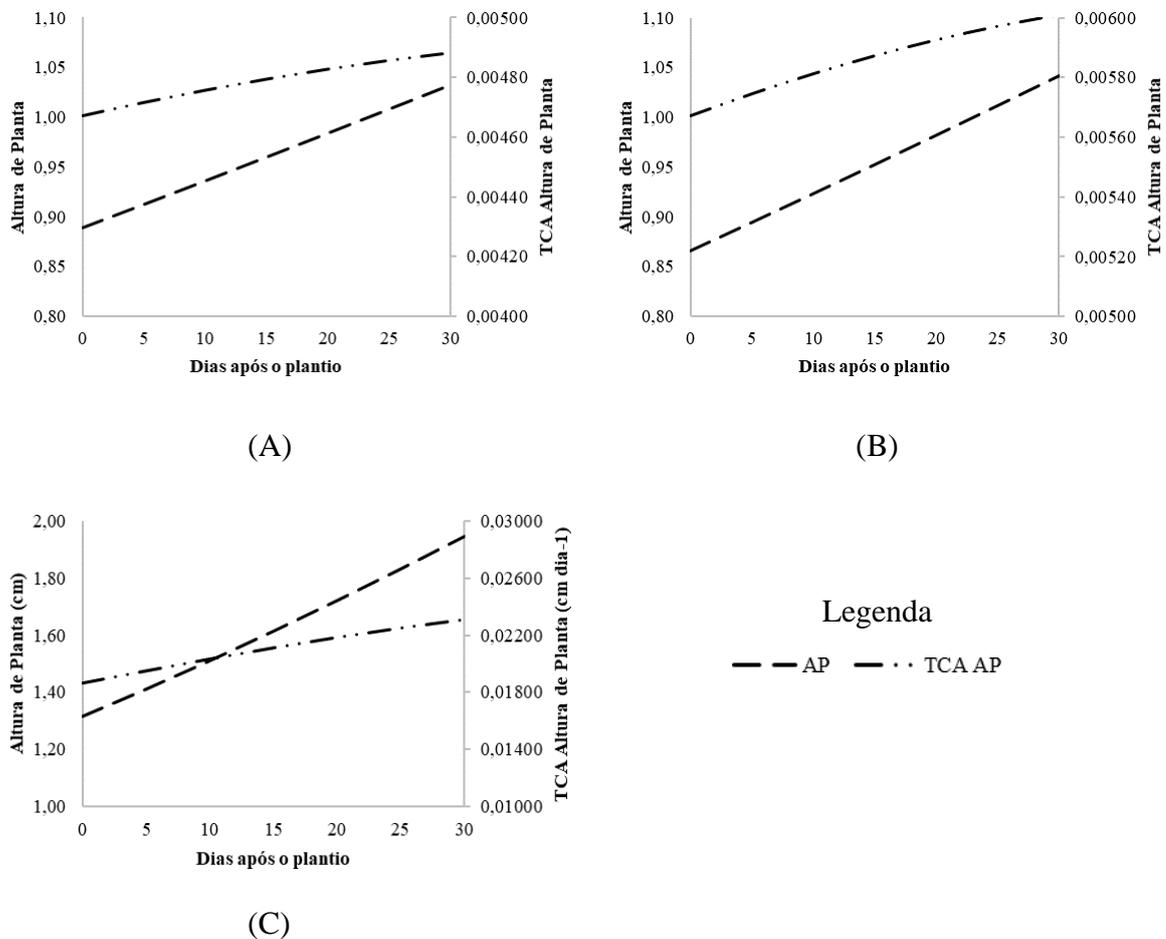
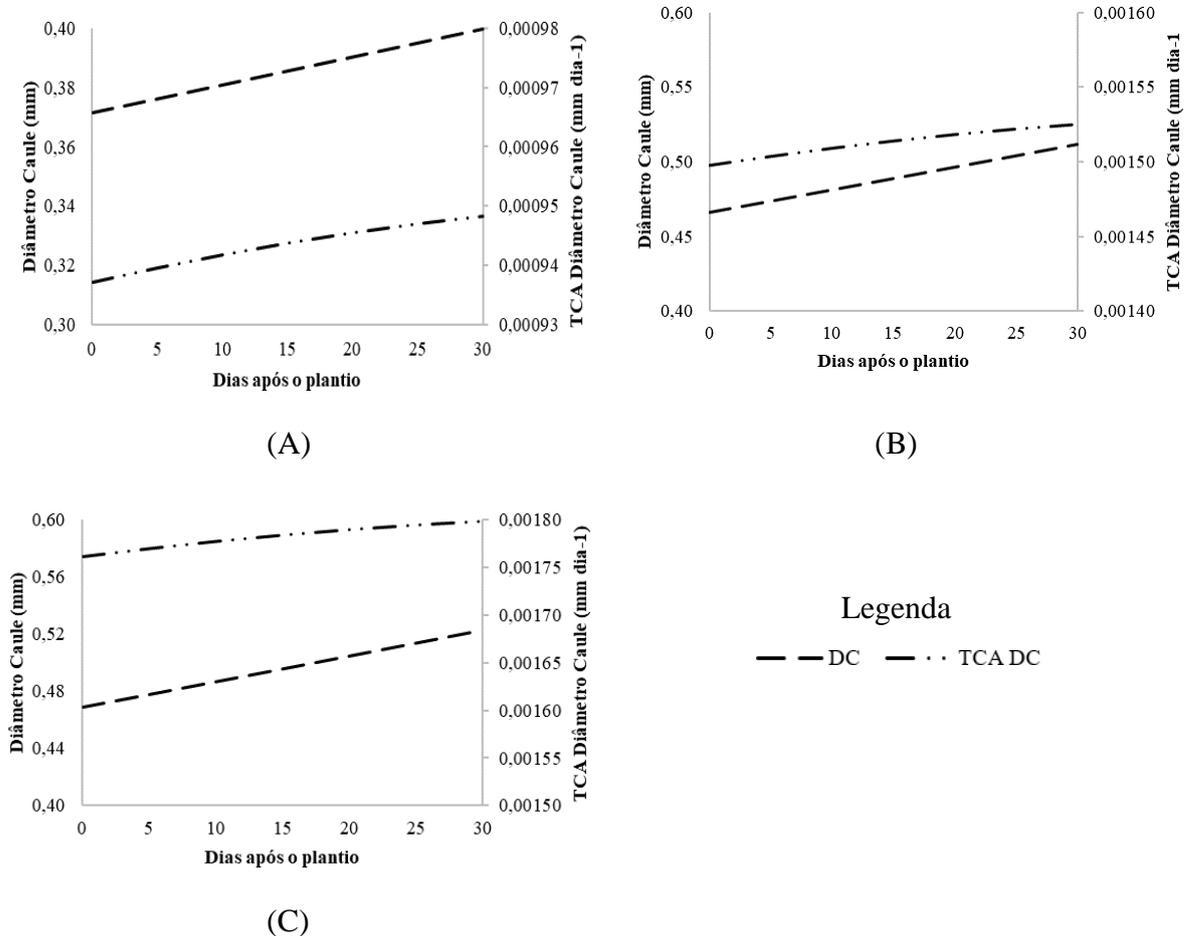


Figura 6: Valores de Diâmetro do caule (AP) e taxa de crescimento absoluta para diâmetro do caule (TCA) para sacos de quisosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)

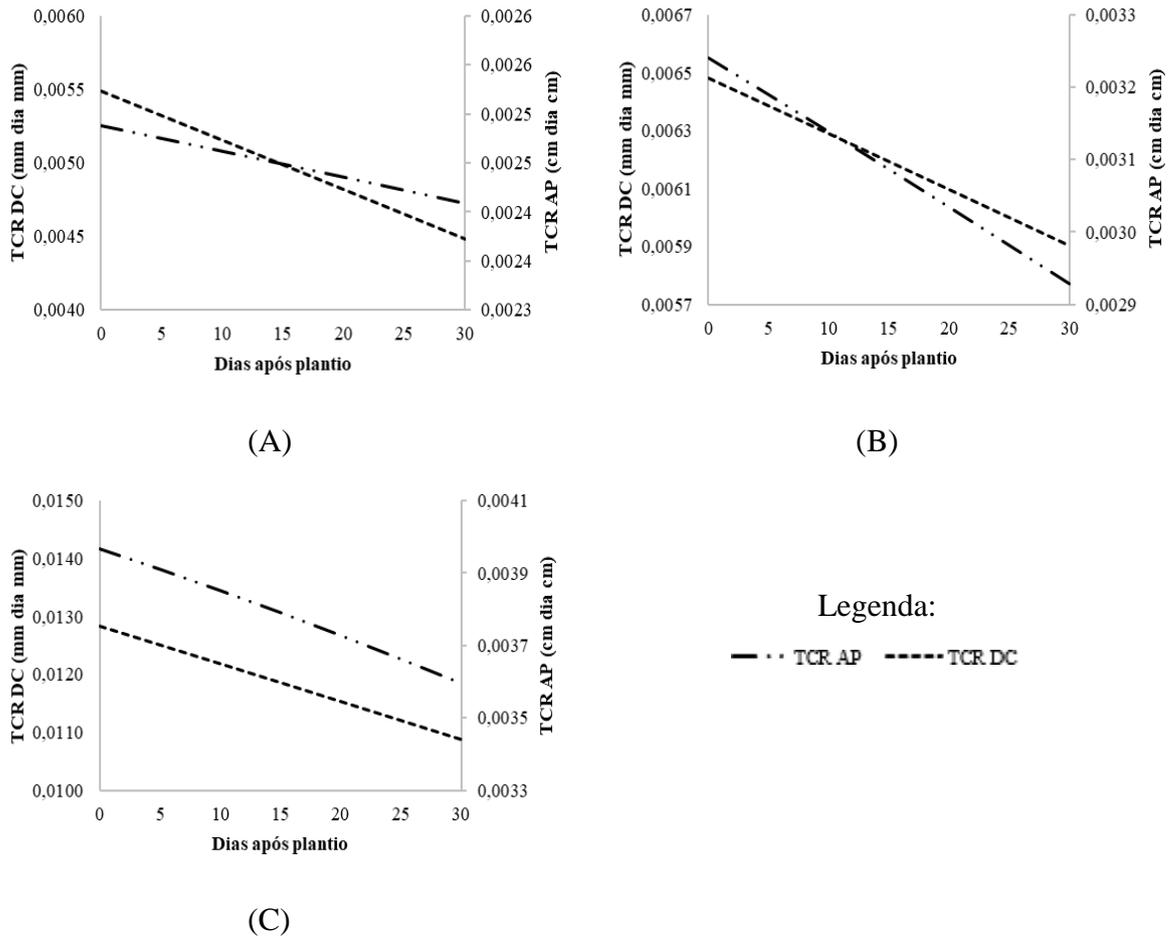


A Figura 6 exibe os dados obtidos da taxa de crescimento relativo (TCR) para a altura da planta (TCR AP) e diâmetro do caule (TCR DC). A Taxa de crescimento relativo (TCR) está relacionada à quantidade de matéria orgânica formada, em relação ao peso inicial (BENINCASA E LEITE, 2004). Para a TCR, observou-se um período inicial de acúmulo de material em todos os tratamentos, com um leve declínio da TCR AP e TCR DC, no entanto, nenhum dos tratamentos atingiu a fase de acúmulo constante, isto se deu, devido ao tempo que não foi o suficiente para atingir esta fase. Observou-se também que o crescimento foi uniforme ao longo do período analisado (Figura 7).

Morais et al. (2020) avaliaram o crescimento inicial de Jucá (*Libidibia ferrea*) em função do composto orgânico de macrófita aquática (*E. crassipes*), utilizando concentrações diferentes de compostos: doses zero (A), 5% (B), 10% (C), 20% (D) e 30% (E). Os autores

observaram que TCA obteve duas fases, onde no período inicial ocorreu um rápido acúmulo de material, seguido de uma fase de acúmulo constante, com um período final de declínio da TCR.

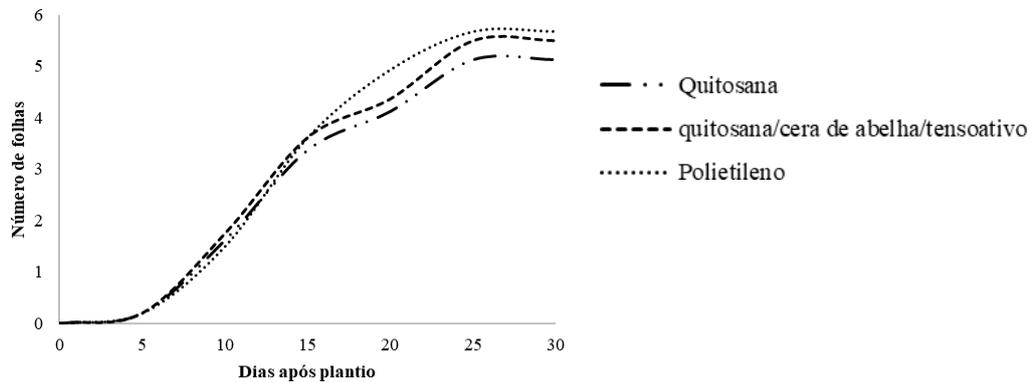
Figura 7: Valores da taxa de crescimento relativo para altura de planta (TCR AP) e diâmetro do caule (TCR DC) para sacos de quisosana (A), sacos de quitosana/cera/tensoativo(B) e sacos de polietileno (C) em função de dias após o plantio (DAP)



3.2.3. Números de Folhas

O número de folhas foi semelhante em todos os tratamentos para o período de avaliação (Figura 8). Entre os dias 5 e 20 ocorreu um aumento no número de folhas semelhante entre os tratamentos. Já no dia 25 ao dia 30 ocorreu uma estabilidade nesta avaliação. Resultados parecidos foram observados na pesquisa de Silva et al (2018) que avaliaram o desenvolvimento inicial da craibeira submetida a diferentes intervalos de aplicação e concentrações de urina de vaca. Os autores observaram que não houve diferença no número de folhas entre as concentrações de urina utilizadas.

Figura 8: Valores obtidos dos números de folhas das mudas de *Tabebuia aurea*



3.2.4 Massa seca total

Para matéria seca total das mudas *Tabebuia aurea* cultivadas nos sacos de quitosana, quitosana/cera de abelha/tensoativo e polietileno não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 4) após 30 dias. Resultado semelhante foi obtido no trabalho de Bilck et al (2014) que utilizaram sacos biodegradáveis, produzidos com fécula de mandioca, e sacos de polietileno em mudas de *Pfaffia glomerata* (Spreng) Pedersen, os autores observaram que a massa seca não alterou nos primeiros 30 dias após a germinação, onde a massa seca de todos os tratamentos foi de $0,082 (\pm 0,01) \text{ g.planta}^{-1}$

Tabela 4: Valores obtidos da massa seca total das mudas de *Tabebuia aurea*

Tratamentos	Perda da massa (g.planta^{-1})
Quitosana	$0,26 \pm 0,06^{\text{ab}}$
quitosana/cera de abelha/tensoativo	$0,25 \pm 0,10^{\text{b}}$
Polietileno	$0,33 \pm 0,10^{\text{a}}$

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

4. CONCLUSÃO

Os sacos biodegradáveis apresentaram uma boa resistência nos primeiros dias, no entanto, os sacos à base de quitosana não foram tão eficientes quando comparados aos sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo. Porém, com 30 dias somente 18,8 % sacos de quitosana e 25 % sacos de quitosana/cera de abelha/tensoativo se mantiveram sem nenhuma modificação. Já em relação às mudas, os sacos biodegradáveis, mesmo danificados, fizeram com que as

mesmas germinassem durante todo o período de avaliação (30 dias). No entanto, seriam necessárias novas pesquisas com a finalidade de avaliar novos materiais que sejam livre de compostos derivados de petróleo e ecologicamente corretos, para aperfeiçoar os sacos deixando-os mais resistentes a meio úmido, como, por exemplo, outro lipídio (cera de carnaúba), fibra de coco, raspas de madeira entre outros, porém, seriam precisos testes para avaliar a concentração de cada material que fosse utilizado.

REFERÊNCIAS

- BENINCA, C.; COLMAN, T. A. D.; LACERDA, L. G.; CARVALHO-FILHO, M. A. S.; BANNACH, G.; SCHNITZLER, E. The thermal, rheological and structural properties of cassava starch granules modified with hydrochloric acid at different temperatures. **Thermochimica Acta**, v. 552(20). p.65-69. 2013.
- BILCK, A. P.; OLIVATO, B. J.; YAMASHIT, F.; SOUZA, J. R. P. Biodegradable Bags for the Production of Plant Seedlings. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 547-553, 2014.
- BONILLA, J.; SOBRAL, P. J. A. Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. **Food Bioscience**, v. 16, p. 17-25, 2016.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Brasília: MAPA/ACS, 2013, 97p.
- FERNANDES, A. dos S.; CARDOSO, J. C.de O.; GOMES, J. N.; ASCHERI, D. P. R. Elaboração e Caracterização de Filmes Biodegradáveis de Amido de *Solanum lycocarpum* St. Hill e Glicerol. Fronteiras: **Journal of Social, Technological and Environmental Scienc**. v.8, n.1. p.362-378. 2019
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes, Monografias Científicas, Washington, USA**, 170 p. 1983.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.
- MAGUIRE, J.D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling vigour. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
- MORAIS, E. R. C., & MAIA, C. E. Crescimento da parte aérea e raiz do meloeiro adubado com fertilizante orgânico. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 44, n. 3, p. 505-511. 2013.
- MORAIS, E. R. C.; NOGUEIRA, H. C.; FAUSTINO, S. J. B.; GAUDÊNCIO, H. R. S. C. Avaliação de substrato de macrófita aquática para o crescimento de mudas de Jucá (*Libidibia ferrea*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

PINTO, J. R. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, R. M. O.; SOUZA, G. O.; JOSÉ SANTOS JUNIOR, H. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia Aurea*, sob sombreamento no semiárido. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 465 – 472. 2016.

SILVA, H. E. R; RIBEIRO NETO, J. A; TEIXEIRA, D. A.; PORTO, V. C. N.; BONFIM, F. P. G. Desenvolvimento inicial da craibeira submetida a intervalos de aplicação e doses de urina de vaca. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 11, n. 7, jun. 2018.

ZHANG, X. F.; LUO, C. L; REN, H. X.; DAI, R.Z.; MBURU, D.; KAVAGI, L.; WESLY, K.; NYENDE, A. B.; BATOOL, A.; XIONG, Y. C. Fully biodegradable film to boost rainfed maize (*Zea mays* L.) production in semiarid Kenya: An environmentally friendly perspective. **European Journal of Agronomy**. v. 119, p. 126 - 124, 2020.