

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS E SUA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PARA ACONDICIONAMENTO DE MUDAS DE PLANTAS¹

Leonardo Silva Santos Lapa²
Yago Ribeiro de Oliveira Silva
Priscila Ferreira de Sales
Karina Carvalho Guimarães
Marali Vilela Dias

RESUMO

Neste trabalho empregou-se a técnica de *casting* para a produção de filmes. Utilizou-se quantidades distintas de amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde, sendo avaliadas as propriedades mecânicas (módulo de Young, elasticidade e tensão à ruptura) dos materiais obtidos. Verificou-se o efeito das variáveis e de suas interações pelo gráfico de Pareto. Superfícies de resposta foram construídas em testes conduzidos com 95% de confiança. A análise dos resultados indicou que o amido de milho foi o que mais influenciou na determinação do módulo de Young. Por outro lado, para a alongação, a glicerina, utilizada como agente plastificante, foi o fator mais relevante. Na análise da tensão à ruptura, observou-se que a interação entre a glicerina e o extrato de própolis-verde foi a mais significativa. Foi então selecionado o filme que apresentou as características mais adequadas no acondicionamento de mudas de alface. Os resultados indicaram que a amostra produzida a partir de 4 g de amido de milho, 1 g de glicerina e 0,12 g de extrato de própolis-verde foi a mais apropriada. Com relação ao acondicionamento da muda de alface, foi feita uma análise visual e macroscópica com a finalidade de verificar a resistência do filme biodegradável quando o substrato e a muda foram adicionados na embalagem. Foi observado que o material sintetizado e escolhido teve uma capacidade adequada para a sua retenção, o que favorece e ratifica o seu emprego, uma vez que, ao ser biodegradável, pode se tornar substituto de plásticos convencionais.

Palavras-chave: Técnica *casting*. Módulo de Young. Elasticidade. Tensão à ruptura.

EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE FILMS AND THEIR APPLICATION IN PACKAGING FOR PACKAGING PLANTS

ABSTRACT

¹ **Como citar este artigo:** LAPA, L. S. S. *et al.* Avaliação das propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis e sua aplicação em embalagens para acondicionamento de plantas. **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 2, e00970, jul./dez. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n2.e970.

² **Autor para correspondência:** Leonardo Silva Santos Lapa, e-mail: leonardo_lapa@yahoo.com.br.

In this work the technique of *casting* was used for the production of films. Different quantities of corn starch, glycerin and propolis-green extract were used, and the mechanical properties (Young's modulus, elasticity and tensile strength) of the materials obtained were evaluated. The effect of the variables and their interactions on the Pareto graph was verified. Response surfaces were constructed in tests conducted with 95% confidence. The analysis of the results indicated that the corn starch was the most influential in determining the Young's modulus. On the other hand, for elongation, glycerin, used as a plasticizing agent, was the most relevant factor. In analyzing the rupture stress, it was observed that the interaction between glycerin and the propolis-green extract was the most significant. It was then selected the film that presented the most suitable characteristics in the packaging of lettuce seedlings. The results indicated that the sample produced from 4 g of cornstarch, 1 g of glycerin and 0.12 g of propolis-green extract was the most appropriate. Regarding the conditioning of the lettuce change, a visual and macroscopic analysis was performed to verify the resistance of the biodegradable film when the substrate and the change were added to the packaging. It has been observed that the synthesized and selected material has the proper capacity for its retention, which favors and ratifies its use, since, being biodegradable, it can be come a substitute for conventional plastics.

Keywords: *Casting* technique. Young's module. Elasticity. Tension to break.

1 INTRODUÇÃO

Diante da preocupação com os transtornos ambientais ocasionados pela presença de plásticos no ambiente, tornou-se válida a procura por materiais de origem biodegradável (GUZZETTI *et al.*, 2018; PRATA, 2018; LU *et al.*, 2019). Materiais alternativos que tenham propriedades próximas às dos materiais sintéticos são relatadas na literatura, sendo destacados os filmes à base de amido, celulose, soja, fibras naturais, dentre outros (LOMELÍ-RAMÍREZ *et al.*, 2014).

Vale destacar a importância do amido de milho como agente formador, visto que além de possuir uma concentração de amilose adequada para formação de filmes, sua utilização é promissora por ser barato, abundante e biodegradável. Essa macromolécula orgânica pode ser obtida a partir de batata, mandioca, inhame, arroz, milho e entre outros (OLUWASINA *et al.*, 2019).

No processo de síntese desses filmes é necessária a inserção de plastificantes, os quais são definidos como compostos de baixa volatilidade e peso molecular, que são adicionados com o objetivo de proporcionar um aumento na flexibilidade das cadeias dos polímeros, já que suas moléculas modificam o arranjo conformacional por meio das

interações do tipo ligações de hidrogênio (POMMET *et al.*, 2003; POMMET *et al.*, 2005; MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Por fim, podem ser inseridos aditivos destinados a promover alterações em suas propriedades. A própolis-verde, um dos aditivos que podem ser empregados, é composta por uma mistura de substâncias resinosas que abelhas da espécie *Apis mellifera* L. coletam de várias plantas e que pode ser encontrada em Bambuí/MG. É usada para diferentes aplicações, dentre elas, as biológicas (ARAÚJO *et al.*, 2012; LAPA; SILVA; SALES, 2020).

É importante destacar a análise das propriedades mecânicas dos filmes, uma vez que ao serem produzidos, devem apresentar resistência à ruptura, bem como uma flexibilidade adequada, que permita a deformação sem rompimento (VICENTINI, 2003). Vale ainda ressaltar a disponibilização de trabalhos que sugerem que a presença de aditivos e plastificantes no filme pode alterar as forças intermoleculares entre polímeros, trazendo a uma diminuição, ou não, da mobilidade das cadeias poliméricas e, conseqüentemente, tornando os filmes menos elásticos e mais resistentes ou mais elásticos e menos resistentes (FARIAS, 2016; SILVA *et al.*, 2019).

Diante do que foi abordado, este trabalho almeja avaliar as propriedades mecânicas (módulo de Young, elasticidade e tensão à ruptura) de filmes biodegradáveis que foram elaborados com quantidades distintas de amido de milho (agente formador), glicerina (agente plastificante) e extrato de própolis-verde (aditivo), bem como selecionar o filme biodegradável com as propriedades mais adequadas para acondicionar mudas de alface.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Materiais utilizados

Para a síntese dos filmes biodegradáveis foram empregados materiais adquiridos em farmácias e supermercados, de modo a torná-la de baixo custo e fácil acesso. Para tanto, foi utilizado como agente formador amido de milho (Marca: MAIZENA), agente plastificante glicerina bidestilada (Marca: FARMAX) e como aditivo extrato de própolis-verde (Marca: NATUCENTRO).

2.2 Síntese dos filmes biodegradáveis

Os filmes biodegradáveis foram obtidos por meio da técnica “*casting*” (VEIGA-SANTOS *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011) cujas adaptações se encontram disponíveis na literatura (LAPA; SILVA; SALES, 2020). O processo de elaboração dos filmes biodegradáveis consistiu em preparar uma mistura composta por amido de milho e glicerina nas proporções definidas na Tabela 1. Em seguida, a suspensão coloidal foi aquecida até a temperatura de 65 °C por 10 minutos, sendo o sistema mantido sob agitação manual constante até o extrato de própolis-verde ser adicionado na quantidade desejada. A solução resultante foi mantida sob aquecimento e agitação por 10 minutos. Após o término deste procedimento, as soluções filmogênicas foram vertidas em placas de suporte, sendo secas na temperatura de 25 °C durante três dias para total evaporação da água e formação dos filmes biodegradáveis. Os filmes produzidos foram armazenados em recipientes vedados da ação externa até que as análises se procedessem. Vale reportar que, para todas as formulações dos filmes, foi utilizado o mesmo volume de solução (LAPA; SILVA; SALES, 2020).

Com o intuito de avaliar o efeito dos parâmetros de massa de amido de milho (X_1), glicerina (X_2) e extrato de própolis-verde (X_3), na preparação dos filmes biodegradáveis, os experimentos foram conduzidos empregando o Planejamento Fatorial Completo com Ponto Central. Para as três variáveis estudadas, esse tipo de delineamento envolveu oito pontos fatoriais e três pontos centrais, contabilizando a síntese de 11 filmes biodegradáveis, conforme pode ser analisado na Tabela 1.

Tabela 1- Matriz contendo as condições empregadas na síntese dos filmes biodegradáveis

Amostra (as)	Amido de milho (X_1) – (g)	Glicerina (X_2)- (g)	Extrato de própolis-verde (X_3)- (g)
1	3	0,4	0,12
2	3	0,4	0,20
3	3	1,0	0,12
4	3	1,0	0,20
5	4	0,4	0,12
6	4	0,4	0,20
7	4	1,0	0,12
8	4	1,0	0,20
9, 10 e 11	5	0,7	0,16

2.3 Análise das propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis

Para a realização dos testes de tração, os filmes foram cortados em tiras de 10 cm x 1 cm, sendo avaliados em triplicata. O equipamento usado para a realização da análise foi o Analisador de Textura Stable Micro Systems (modelo TA-XT2, Inglaterra), com célula de carga de 1 kN. Cada tira foi fixada no equipamento com garras de 30 mm e velocidade de deslocamento de 0,8 mm s⁻¹. O módulo de elasticidade (ME, MPa) foi encontrado traçando uma tangente à curva tensão de tração x deformação na região linear (região elástica), calculando a razão entre a tensão e a deformação correspondente (ASTM, 2001).

Para o delineamento experimental, análise dos efeitos das variáveis e de suas interações nas propriedades analisadas, bem como a otimização do sistema por meio da estimativa dos parâmetros estatísticos foi empregado o programa Chemoface versão 1.5 (NUNES *et al.*, 2012). Para todas as análises de caracterização, foi estabelecida a média dos resultados cujos resultados foram consistentes ao conjunto de dados. Como as amostras do ponto central foram sintetizadas nas mesmas condições, utilizou-se a média dos resultados similares. A fim de verificar o efeito dos precursores (amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde) e de suas interações em todas as propriedades analisadas foi empregado o gráfico de Pareto como ferramenta quimiométrica. Os testes foram conduzidos com 95% de confiança.

2.4 Análise de regressão e construção de gráficos de Superfície de Resposta

Com o objetivo de verificar a tendência do comportamento das propriedades analisadas em função das variáveis e de suas interações, os resultados experimentais foram ajustados a quatro modelos de regressão: linear, interação, quadrático e quadrático puro. Para tanto, foi definido como o modelo de regressão mais adequado o que foi significativo a 95% de confiança, sendo avaliado se o valor de p da regressão ($p < 0,05$) e o coeficiente de determinação (r^2) mais próximo de 1. As análises gráficas de superfície de resposta foram inseridas para as interações que foram estatisticamente significantes ou cuja regressão apresentou resultados satisfatórios nos testes conduzidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das propriedades mecânicas: Módulo de Young, tensão à ruptura e alongação e o emprego do gráfico de Pareto

Os resultados das análises das propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis sintetizados estão inseridos na Tabela 2, sendo que os dados do ponto central foram descritos como resultado da média das amostras que foram sintetizadas nas mesmas condições.

Tabela 2 - Resultados das análises das propriedades analisadas nos filmes biodegradáveis sintetizados

Amostra(as)	Módulo de Young (MPA)	Tensão à Ruptura (MPA)	Elongação (%)
1	6,40	8,81	0,72
2	15,54	15,17	0,77
3	5,43	35,78	4,16
4	4,43	49,45	9,33
5	96,73	151,74	0,21
6	8,79	21,26	10,92
7	17,04	38,58	9,56
8	19,33	109,91	10,57
9,10 e 11	18,71	78,41	9,74

Fonte: Autores (2021).

Tensão à ruptura, módulo de Young e alongação são atributos que medem alguns dos recursos que são essenciais na determinação das propriedades mecânicas dos filmes e pode estar associada às suas estruturas. Enquanto o módulo de Young está relacionado com a medida da rigidez e resistência dos filmes biodegradáveis analisados, a tensão à ruptura está associada com a resistência ao rasgo e a alongação com a elasticidade (MCHUGH; KROCHTA, 1994).

A fim de verificar o efeito das variáveis e de suas interações nas propriedades analisadas, foi construído o gráfico de Pareto conforme pode ser verificado na Figura 1.

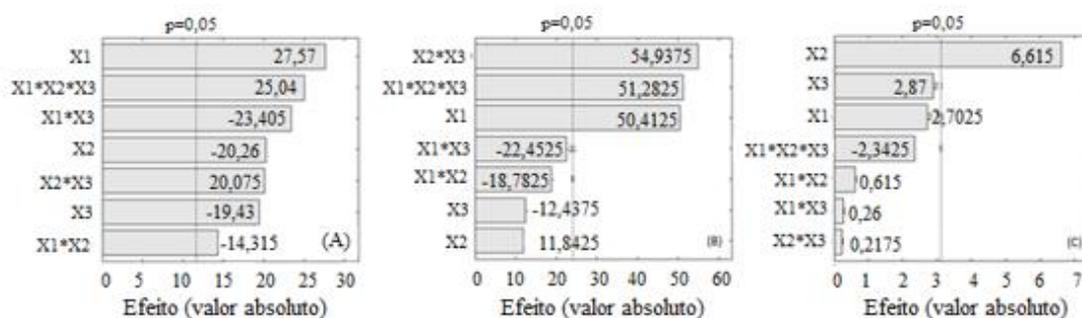


Figura 1 - Gráfico de Pareto aplicado nos dados provenientes da análise de: módulo de Young (A); tensão à ruptura (B); alongação (C)
Fonte: Autores (2020).

Na análise das propriedades módulo de Young e da tensão à ruptura, verificou-se que o amido de milho foi o fator individual que mais influenciou em ambas as determinações, apresentando um efeito positivo para as propriedades analisadas, o que por sua vez indica que o aumento na quantidade de amido tende a aumentar a rigidez e a resistência dos filmes biodegradáveis sintetizados. Os resultados obtidos estão de acordo com abordagens descritas na literatura (FAKHOURI *et al.*, 2007; FARIAS *et al.*, 2012). Para maiores quantidades de amido, verifica-se uma maior quantidade de forças intermoleculares do tipo *ligações de Hidrogênio*, fazendo com que o filme sintetizado exiba maior rigidez e maior resistência à tração. Os resultados podem ainda ser atribuídos ao fato de polissacarídeos possuírem alta resistência à tração e baixa alongação (FAKHOURI *et al.*, 2007; FARIAS *et al.*, 2012).

Dos parâmetros individuais avaliados (quantidade de amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde), verifica-se que o extrato de própolis-verde foi significativo apenas na análise do módulo de Young, sendo observado um efeito negativo na propriedade analisada. As ausências de significância nas demais propriedades analisadas permitem inferir que o mesmo exibirá efeitos significativos apenas quando for empregado em concentrações mais elevadas.

A alta rigidez de filmes obtidos a partir de macromoléculas pode ser diminuída pela ação de um agente plastificante, o qual proporciona um aumento na flexibilidade do filme em decorrência da maior mobilidade das macromoléculas, conforme pode ser observado no efeito negativo atribuído à glicerina quando se analisa o módulo de Young (FAKHOURI *et al.*, 2007; FARIAS *et al.*, 2012).

Na análise de alongação, verificou-se que o único fator influenciável em sua determinação foi a quantidade de glicerina. Tal fenômeno está associado às teorias que

permitem validar o efeito dos plastificantes. Pela *teoria gel*, os agentes formadores (polímeros) apresentam uma estrutura tridimensional rígida em que as moléculas do plastificante ligam-se ao longo da estrutura do polímero, reduzindo sua rigidez por enfraquecer e/ou impedir interações do tipo Van der Waals e ligações de hidrogênio, além de facilitarem o movimento das moléculas do polímero. No caso da teoria do *volume livre*, é evidenciada a capacidade do plastificante em ocupar os espaços intermoleculares livres do polímero e que também resulta em uma maior flexibilidade do filme formado, aumentando o percentual de alongação (UGALDE, 2014). Por outro lado, a diminuição da concentração conduz ao efeito antiplastificante, uma vez que o plastificante interage com a matriz polimérica, mas em quantidade insuficiente para aumentar a mobilidade molecular. O efeito observado é por sua vez esperado no processo de plasticização sendo diminuída a tensão à ruptura e aumento do alongamento, coerente aos dados descritos no gráfico de Pareto. Em trabalhos desenvolvidos por Alves *et al.* (2007), o aumento na proporção do glicerol, reduziu a tensão de ruptura e o módulo de Young.

3.2 Aplicação da Superfície de Resposta para otimização e observação da tendência das propriedades analisadas

3.2.1 Módulo de Young

Na determinação do módulo de Young os dados foram mais ajustáveis ao modelo de interação. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados estatísticos da análise de variância do ajuste dos dados ao modelo de interação na determinação do Módulo de Young

	Desvio-padrão	Grau de liberdade	Variância estimada	F	p
Regressão	$5,2563 \times 10^3$	4	$1,3141 \times 10^3$	5,4327	0,0339
Residual	$1,4513 \times 10^3$	6	241,8843		
Falta de ajuste	$1,4222 \times 10^3$	4	355,5494	24,4293	0,0397
Erro puro	29,1085	2	14,5542		
Total	$6,7076 \times 10^3$	10			
r^2	0,7836				
r^2 explicado	0,9957				

Fonte: Autores (2021).

A qualidade do ajuste para as superfícies de resposta avaliada pela análise de variância indicou que a regressão foi significativa para o modelo de interação, uma vez que o valor do coeficiente de correlação foi de 0,7836 considerando os valores de b significativos. O valor de p correspondente a 0,0339 validou a sua utilização para se estudar o módulo de Young dos filmes biodegradáveis produzidos. Os resultados obtidos para a análise da Superfície de Resposta levando em consideração todas as interações que foram significativas são apresentadas na Figura 2.

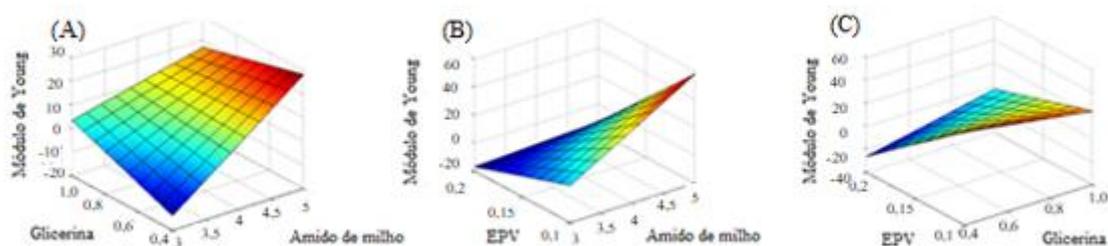


Figura 2 - Superfície de resposta obtida por meio da interação entre glicerina e amido de milho (A), extrato de própolis-verde e amido de milho (B) e extrato de própolis-verde e glicerina (C) na análise do módulo de Young
Fonte: Os autores (2021).

A análise da Figura 2 revelou que dentre os componentes utilizados durante a síntese, o amido de milho foi a variável que apresentou maior influência na determinação dessa propriedade, fato atribuído aos polissacarídeos que possuem alta resistência à tração.

De modo geral, pode-se inferir que o amido é constituído por duas principais macromoléculas: a amilopectina, uma molécula altamente ramificada e, a amilose, linear. O amido nativo se apresenta no formato de grânulos microscópicos parcialmente cristalinos e que são mantidos juntos por uma extensa cadeia de moléculas associadas. Seus grânulos apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, o que indica o grau de organização molecular, conferindo a resistência relatada (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Os resultados obtidos pela análise da Superfície de Resposta estão em consonância com os dados descritos por meio da análise de Pareto. A estimativa do módulo de Young pode ser obtida mediante a aplicação da equação 1, relacionada ao módulo de Young:

$$y = -116,8783 + 65,5933X_1 - 23,8583X_1X_2 - 234,05X_1X_3 + 669,1667X_2X_3 \quad (1)$$

3.2.3 Aplicação dos filmes biodegradáveis no acondicionamento de mudas de plantas

Diante das propriedades analisadas, o filme biodegradável 7, constituído por 4 gramas de amido de milho, 1 grama de glicerina e 0,12 gramas de extrato de própolis-verde foi selecionado para ser aplicado no acondicionamento de mudas de alface, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

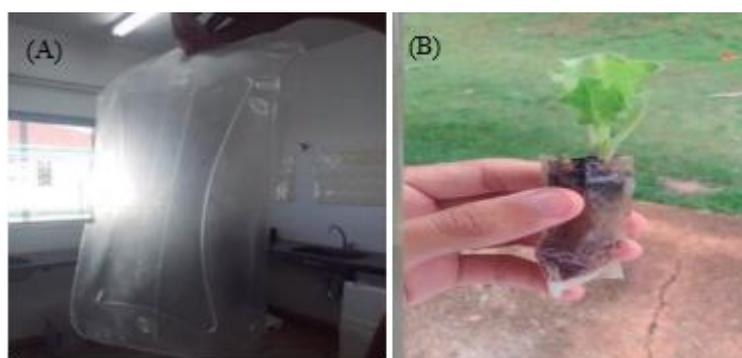


Figura 3- Síntese do biofilme (A) com características adequadas para ser empregado no acondicionamento de mudas de alface (B)

Fonte: Os autores (2021).

Com relação ao acondicionamento de mudas de alface foi analisado se o filme biodegradável sofria alguma ruptura (visualizada macroscopicamente) quando o substrato foi adicionado na embalagem. Observou-se que o material sintetizado teve uma capacidade adequada para a retenção do substrato e da muda de alface.

Deve-se enfatizar que durante a síntese, adotam-se como procedimentos o aquecimento e a agitação da suspensão coloidal, os quais visam obter uma mistura com alta viscosidade. Esse fenômeno é denominado de gelatinização do amido: os seus grânulos absorvem água até ficarem intumescidos e dilatam volumetricamente. Assim, é formada uma espécie de rede de moléculas de amido que aprisiona as moléculas de água em seu interior, o que torna a preparação em questão espessa. Esse processo causa uma desordem molecular no interior dos grânulos, em que os mesmos perdem suas propriedades de cristalinidade e birrefringência, se rompem e a amilose é lixiviada. O aquecimento contínuo dos grânulos em presença de água intensifica o fenômeno observado e quando a suspensão viscosa do amido é resfriada, verifica-se a formação de um gel viscoelástico, o qual posteriormente foi aplicado no acondicionamento das mudas de alface (DAMORADAN *et al.*, 2010).

Diante das propriedades analisadas e da análise qualitativa dos filmes produzidos, foi verificado que o filme 7 apresentou características ideais para ser aplicado. Os resultados obtidos indicam que o seu emprego pode tornar-se viável na medida em que a embalagem não necessitaria ser retirada quando as mudas fossem transplantadas para a terra, já que o material apresenta como característica a biodegradabilidade.

4 CONCLUSÃO

Esse tipo de produção acadêmica indicou, por meio da análise do gráfico de Pareto, efeitos distintos das variáveis e de suas interações nas propriedades mecânicas que foram analisadas (módulo de Young, alongação e tensão à ruptura).

Dentre os filmes biodegradáveis que foram sintetizados empregando diferentes quantidades de agente formador, agente plastificante e aditivo, o que foi produzido com 4 gramas de amido de milho, 1 grama de glicerina e 0,12 gramas de extrato de própolis-verde foi o mais adequado para ser aplicado no acondicionamento de mudas de alface.

Ressalta-se ainda a importância de ter sido utilizado o amido de milho como agente formador dos filmes, sendo que a amilose e a amilopectina são as responsáveis por conferir as propriedades tecnológicas a esse polissacarídeo.

Os resultados apresentados destacam a importância da síntese na produção de embalagens para serem empregadas na área agropecuária. Com relação aos aspectos científico e tecnológico, verifica-se que este trabalho apresenta caráter inovador na medida em que o filme produzido pode ser inserido diretamente no solo, por se tratar de um material biodegradável. Entretanto, é importante relatar que a continuação do trabalho deve ser preconizada, na medida em que deve ser avaliado o seu emprego em larga escala.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. D. *et al.* Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. **Journal of Food Engineering**, Estados Unidos, v. 78, p. 941- 946, fev. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405007983>. Acesso em: 4 jan. 2021.

AMERICAN SOCIETY STANDARD TESTING AND MATERIALS-ASTM.

Standard test method for slow rate penetration resistance of flexible barrier films and laminates. ASTM F1306-90. Philadelphia, 2001.

ARAÚJO, Y. L. F. M. Uso de biofilme de amido à base de própolis vermelha para a conservação de folhas de alface (*Lactuca sativa*). **Scientia Plena**, Aracajú, v. 8, n. 12, p. 1-8, 2012. Disponível em:

<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1159#:~:text=Uma%20alternativa%20vi%C3%A1vel%20de%20redu%C3%A7%C3%A3o,protetora%20de%20folhas%20de%20alface>. Acesso em: 4 jan. 2021.

DAMORADAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FAKHOURI, F. M. *et al.* Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 369-375, abr/jun. 2007. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010120612007000200027&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 jan. 2021.

FARIAS, M. G. **Elaboração e caracterização de filmes de amido e polpa de acerola por casting, extrusão termoplástica e termoprensagem**. Orientador: Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. 188 f. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

FARIAS, M. G. *et al.* Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malphigia marginata* D.C.). **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n.3, p. 546-552, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000300020&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 jan. 2021.

GUZZETTI, E. *et al.* Microplastic in marine organism: environmental and toxicológica effects. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 64, p. 164-171, dez. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1382668918303934>. Acesso em: 4 jan. 2021.

LAPA, L. S. S.; SILVA, Y. R. O.; SALES, P. F. Aplicação das análises espectroscópicas e termogravimétricas em filmes biodegradáveis de amido de milho incorporados com extrato de própolis-verde. **ForScience**, Formiga, v. 8, n. 2, p.1-19, jul./dez. 2020. Disponível em: <http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/712>. Acesso em: 4 jan. 2021.

LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G. *et al.* Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: part II: structure and properties. **Carbohydrate Polymers**, Reino Unido, v. 102, p. 576-583, fev. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861713011600>. Acesso em: 4 jan. 2021.

LU, L. *et al.* Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 667, p. 94–100. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719308885>. Acesso em: 4 jan. 2021.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276228133_Filmes_de_amido_Producao_propriedades_e_potencial_de_utilizacao. Acesso em: 4 jan. 2021.

MCHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Milk-protein-based edible films and coating. **Food Technology**, v. 48, n. 1, p. 97-103, 1994.

NUNES, C. A. *et al.* Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 23, n. 11, p. 2004-2010, nov. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532012001100007. Acesso em: 4 jan. 2021.

OLUWASINA, O. O. *et al.* Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. **International Journal of Biological Macromolecules**, Netherlands, v. 135, p. 282-293. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019325188>. Acesso em: 4 jan. 2021.

POMMET, M. *et al.* Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic material. **Journal of Cereal Science**, Londres, v. 45, n. 1, p. 81-91, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223515236_Intrinsic_influence_of_various_plasticizers_on_functional_properties_and_reactivity_of_wheat_gluten_thermoplastic_materials. Acesso em: 4 jan. 2021.

POMMET, M. *et al.* Study of wheat gluten plasticization with fatty acids. **Polymer**, v. 44, n. 1, p. 115-122, jan. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032386102007462>. Acesso em: 4 jan. 2021.

PRATA, J. C. Airborne microplastics: on sequences to human health? **Environmental Pollution**, v. 234, p. 115–126, mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117307686>. Acesso em: 4 jan. 2021.

SILVA, M. C. S. *et al.* Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas de filmes de fécula de mandioca incorporado com cafeína irradiada. **Revista Desafios**, Palmas, v. 6, n. Especial, p.1-9, 2019. Disponível em: sistemas.uft.edu.br. Acesso em: 4 jan. 2021.

SOUZA, C. O. *et al.* Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch bio-based film. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n.6, p. 2248-2254, mar. 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21361289/>. Acesso em: 4 jan. 2021.

UGALDE, M. L. **Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais.** Orientadores: Geciane Toniazco Backese e Rogério Luis Cansian. 2014. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2014.

VEIGA-SANTOS, P. *et al.* Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: effects of additives and deacetylated xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, Netherlands, v. 19, n.2, p.341-349, mar. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X04001262>. Acesso em: 4 jan. 2021.

VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita.** Orientador: Marney Pascoli Cereda. 2003. 216 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003.

DADOS DOS AUTORES:

Nome: Leonardo Silva Santos Lapa

E-mail: leonardo_lapa@yahoo.com.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5642162770201188>

Graduando em Ciências Biológicas (Licenciatura) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí. Concluiu o curso Técnico em Meio Ambiente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Governador Valadares.

Nome: Yago Ribeiro de Oliveira Silva

E-mail: yago-180@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8032676000263759>

Graduando em Ciências Biológicas (Licenciatura) no Instituto Federal Minas Gerais - *Campus* Bambuí. Atualmente é bolsista no Programa Residência Pedagógica.

Nome: Priscila Ferreira de Sales

E-mail: priscila.sales@cefetmg.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1577809067615493>

Doutorado e mestrado em Agroquímica e, graduação em Química (Licenciatura) pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente, é professora do Departamento de Formação Geral (DFG) do CEFET/MG- Unidade Nepomuceno. Tem experiência nas áreas de adsorção e catálise heterogênea com aplicações voltadas para a Química Ambiental. Desenvolveu trabalhos na área de quimiometria envolvendo o reconhecimento de padrões para comparação de amostras empregando os algoritmos de PCA e HCA e trabalhou com a otimização do processo de adsorção de corantes empregando Superfície de Resposta.

Nome: Karina Carvalho Guimarães

E-mail: kcg.itu@hotmail.com

Curriculum Lattes <http://lattes.cnpq.br/0886879943099424>

Doutoranda em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestrado em Engenharia de Biomateriais e graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Nome: Marali Vilela Dias

E-mail: marali.dias@dca.ufla.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1430552859457428>

Pós-Doutorado, doutorado e mestrado em Ciências dos Alimentos e, graduação em Engenharia de Alimentos e pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente, é professora da Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento, caracterização, aplicação e estudos de migração de embalagens biodegradáveis ativas para alimentos e nanocompósitos.