



UTILIZAÇÃO DO RECONHECIMENTO DE PADRÕES NÃO-SUPERVISIONADO PARA AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FILMES BIODEGRADÁVEIS

Leonardo Silva Santos Lapa¹
Yago Ribeiro de Oliveira Silva²
Priscila Ferreira de Sales Amaral³

Química Ambiental

Resumo

Foram produzidos filmes biodegradáveis empregando quantidades distintas de amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde em um planejamento fatorial completo com três pontos centrais. Os resultados das propriedades físicas, mecânicas e ótica dos materiais obtidos foram avaliados através do emprego da Análise de Componentes Principais (PCA), a qual tinha como objetivo verificar a similaridade entre os materiais produzidos, bem como estimular a relação entre as características determinadas. Conforme resultados do gráfico de scores e pela análise da CP1, a qual reteve 55,56% das informações, verificou-se que os materiais que foram sintetizados com menores quantidades de amido de milho e glicerina (filmes 1 e 2) foram os que mais se distanciaram dos demais. Também foi possível indicar que o extrato de própolis-verde não influenciou na diferenciação das amostras, o que pode estar associado ao fato desse aditivo ter sido inserido em menor quantidade. Pelo gráfico de pesos foi possível identificar um aumento da espessura com o aumento da opacidade. A análise simultânea dos gráficos de scores e pesos evidenciou-se que a gramatura é maior para amostras que contêm maior quantidade de amido de milho. Diante dos resultados obtidos, pode-se inferir que a síntese proposta no presente estudo foi adequada e promissora na produção de materiais de baixo custo, fácil acesso, com um grande potencial para serem aplicados como embalagens ambientalmente favoráveis.

Palavras-chave: Embalagens; Desenvolvimento sustentável; PCA.

¹Estudante de Graduação em Ciências Biológicas, Instituto Federal de Minas Gerais- Campus Bambuí, leonardo_lapa@yahoo.com.br.

²Estudante de Graduação em Ciências Biológicas, Instituto Federal de Minas Gerais- Campus Bambuí, yago-180@hotmail.com.

³Prof. Dra. CEFET/MG- Unidade Nepomuceno – Departamento de Formação Geral (DFG), prifeamaral@gmail.com.



INTRODUÇÃO

Quando se relata a produção de embalagens voltadas para a área alimentícia nos dias atuais, verifica-se uma grande preocupação com projeções destinadas a estender a vida útil dos produtos, mantendo a sua qualidade nutricional, sensorial e segurança microbiológica (MATTA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020).

Entretanto, vale ressaltar que a produção acelerada é acompanhada pela geração de resíduos, que por serem de origem petroquímica, se degradam lentamente. Nessa vertente, existe uma crescente ameaça ao meio ambiente, o que a torna inapta a sua utilização quando se pensa em desenvolvimento sustentável (AZIZ *et al.*, 2018; VESPUCCI, 2021).

Para minimizar esse problema há uma busca crescente pelo desenvolvimento de novos materiais ambientalmente corretos. Nesse contexto, os filmes biodegradáveis, formados pela inserção de agente formador, solvente e plastificante, podem ser considerados como uma alternativa eficaz para evitar os problemas resultantes do descarte de embalagens (ARAÚJO *et al.*, 2012; AZIZ *et al.*, 2018).

Dentre uma grande possibilidade de agentes formadores que podem ser utilizados, destaca-se neste trabalho o amido de milho como um material sustentável e abundante na natureza. Além disso, é de baixo custo, fácil dissolução em água, que apresenta um adequado comportamento termoplástico (DAZA *et al.*, 2018; SIRVIÖ *et al.*, 2018).

Para tanto, deve-se salientar que a composição de filmes baseados em amido requer a utilização de agentes plastificantes que apresentem afinidade com esse tipo de agente formador, sendo destacada a glicerina que interage com o carboidrato mediante fortes forças intermoleculares do tipo *ligações de hidrogênio*. Quando adicionado ao meio reacional, o plastificante tende desestruturar o amido nativo e reduzir as interações polímero-polímero, aumentando a mobilidade das cadeias poliméricas (OLIVEIRA *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2012; BRODNJAK, 2017; COSTA, 2018; SIRVIÖ *et al.*, 2018; NANDI; GUHA, 2018).

Os filmes obtidos são destacados por apresentarem múltiplos benefícios, que incluem ampla ocorrência, baixo custo, além de serem inodoros e incolores, biocompatíveis e ambientalmente sustentáveis (CHUNG *et al.*, 2010; FAKHOURI *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2012; MEDINA-JARAMILLO *et al.*, 2017).

Como relata Vespucci (2021), esses tipos de filmes biodegradáveis proporcionam a opção de serem ingeridos, tendo conhecimento que são sintetizados a partir de materiais atóxicos e seguros para serem utilizados em alimentos.

Recentemente, os filmes são preparados no sentido de alcançar o termo “embalagem ativa”, a qual pode conter antioxidantes para retardar os efeitos prejudiciais relacionados à perda de qualidade dos alimentos (MATTA *et al.*, 2019). A incorporação de substâncias obtidas na fauna e flora brasileira são conhecidas, destacando-se a utilização da própolis-verde, a qual consiste de uma composição de substâncias resinosas que abelhas da espécie *Apis mellifera* coletam de várias plantas, e a utilizam para proteção de crias e do alimento armazenado, em sua colmeia (ARAÚJO *et al.*, 2012; LAPA *et al.*, 2020). Como a mistura pode ser encontrada na cidade de Bambuí – MG, destaca-se a sua utilização como aditivo nos materiais sintetizados.

Deve-se salientar que uma vez sintetizados, os filmes biodegradáveis devem passar por uma minuciosa caracterização, visto que a determinação de suas propriedades físicas, mecânicas e óticas é crucial para validar as aplicações e possível escolha dos materiais obtidos para um determinado fim (AVELINO, 2019).

Entretanto, vale ressaltar que quando se faz a análise de uma expressiva quantidade de características dos materiais sintetizados com quantidades distintas de precursores, verifica-se a geração de uma ampla faixa de dados, o que torna necessária a utilização de avançadas aproximações para a análise dos dados, conforme relatos descritos na literatura (LAPA *et al.*, 2020). É então destacada a utilização de técnicas quimiométricas, como a utilização do Reconhecimento de Padrões não-supervisionado composto pela Análise de Componentes Principais (PCA).

Diante do que foi abordado, objetiva-se com esse trabalho verificar a correlação entre as propriedades analisadas e identificar a similaridade dos filmes biodegradáveis sintetizados por meio da aplicação da análise de PCA como ferramenta quimiométrica.



METODOLOGIA

Os materiais empregados na síntese foram adquiridos em farmácias e supermercados locais de modo a tornar a síntese de baixo custo e fácil acesso. Para tanto, foi empregado como agente formador amido de milho (Marca: MAIZENA), agente plastificante glicerina bidestilada (Marca: FARMAX) e como aditivo extrato de própolis-verde (Marca: Natucentro).

O processo de síntese consistiu em preparar uma mistura composta por amido de milho e glicerina. Em seguida, a suspensão coloidal foi aquecida até a temperatura de 65 °C, sendo o sistema mantido sob agitação constante. Em seguida, o extrato de própolis-verde foi adicionado na quantidade desejada e a solução resultante foi mantida sob aquecimento e agitação manual por 10 minutos. Após o término deste procedimento, as soluções filmogênicas foram colocadas em um recipiente planificado, sendo secas à temperatura ambiente durante três dias para total evaporação da água e formação dos biofilmes (VEIGA-SANTOS *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011).

Para se avaliar o efeito dos parâmetros: 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 biofilmes, conforme pode ser visto na Tabela 01:

Tabela 01: Matriz contendo as condições do Planejamento Fatorial Completo empregado na síntese de biofilmes

Ensaio	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	5	0,7	0,16
10	5	0,7	0,16
11	5	0,7	0,16

A espessura foi obtida com micrômetro (Carbografite $\pm 0,01$ mm) em cinco pontos de cada corpo de prova de 4 cm^2 e os resultados foram expressos em milímetros (mm). A densidade foi determinada por meio da razão entre a massa e a espessura medida nos cinco pontos aleatórios do corpo de prova de 4 cm^2 , cujos resultados foram expressos em g cm^{-3} . A gramatura foi determinada pela razão entre a massa e área de biofilmes com 2 cm^2 . Os resultados foram expressos em g m^{-2} (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002). O índice intumescimento foi realizado com corpos de prova de 2 cm^2 . A massa seca inicial foi obtida após a pesagem dos materiais. Transcorridos os intervalos pré-determinados (1 minuto, 30 minutos e 60 minutos), os corpos de prova foram removidos e o excesso de água foi absorvido em papel filtro, durante 1 minuto. Os filmes hidratados tiveram novamente sua massa aferida. O índice de intumescimento (I_i) foi calculado conforme equação 1, e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

$$I_i (\%) = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que: m_f é a massa final e m_i , a massa inicial.

A transparência dos filmes foi determinada em espectrofotômetro UV/Visível (METASH- Modelo V-5000). Para tanto, os corpos de prova foram cortados em retângulos e aderidos à parede interna da cubeta de quartzo. Nessas condições, foi medida a transmitância em 600 nm. A transparência dos biofilmes foi calculada pela equação 2:

$$\text{Transparência} = \frac{-\log T}{X} \quad (2)$$

Em que T é a transmissão (%) em 600 nm e X é a espessura do filme em mm. Os resultados foram apresentados como a razão entre a absorbância em 600 nm e a espessura



do filme em milímetros ($\text{Abs}600\text{nm mm}^{-1}$) (DOU *et al.*, 2018).

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 $0,8 \text{ mm s}^{-1}$. 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).

A análise de reconhecimento de padrões não-supervisionado foi aplicada aos dados com a finalidade de verificar a correlação entre as propriedades analisadas, bem como avaliar a similaridade entre os filmes biodegradáveis que foram sintetizados em diferentes condições. Para tanto aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA). As amostras passaram pelo pré-processamento de auto-escalamento, usando a distância Euclideana, em que os dados foram conectados pelo vizinho mais próximo. Para a análise quimiométrica foi empregado o software Chemoface na versão 1.5. (NUNES *et al.*, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode ser analisado na Tabela 01, em todas as propriedades analisadas, verificou-se uma faixa de variação.

Tabela 02: Faixa de variação das propriedades analisadas nos filmes biodegradáveis

Tipo	Propriedade	Valor mínimo	Valor máximo
Física	Espessura (mm)	0,04	0,10
	Densidade (g cm^{-3})	0,968	1,382
	Gramatura (g m^{-2})	40	135
	Índice de intumescimento (%)	50,09	173,11
Mecânica	Módulo de Young (MPa)	4,43	96,73
	Tensão à ruptura (MPa)	8,81	151,74

	Elongação (%)	0,72	10,92
Óptica	Transparência ($\text{Abs}_{600} \text{ mm}^{-1}$)	5,46	15,80

As diferenças nos valores obtidos são justificáveis pelas quantidades distintas dos precursores (amido de milho, glicerina e extrato de própolis-verde) que foram empregadas durante a síntese, conforme observado na Tabela 02. Salienta-se que em todas as análises de caracterização, foi estabelecida a média dos resultados que foram consistentes ao conjunto de dados. Como as amostras do ponto central foram sintetizadas nas mesmas condições, utilizou-se a média dos resultados similares obtidos nos ensaios 9, 10 e 11.

Como os resultados obtidos foram distintos nas amostras analisadas, se tornou necessário empregar a Análise de Componentes Principais (PCA) com a finalidade de analisar os dados de forma minuciosa e comparativa, sendo que essa ferramenta quimiométrica também foi empregada a fim de verificar quais as propriedades que permitiram a aproximação ou distanciamento dos diferentes filmes produzidos. Os resultados obtidos da PCA aplicada são descritos na Figura 01.

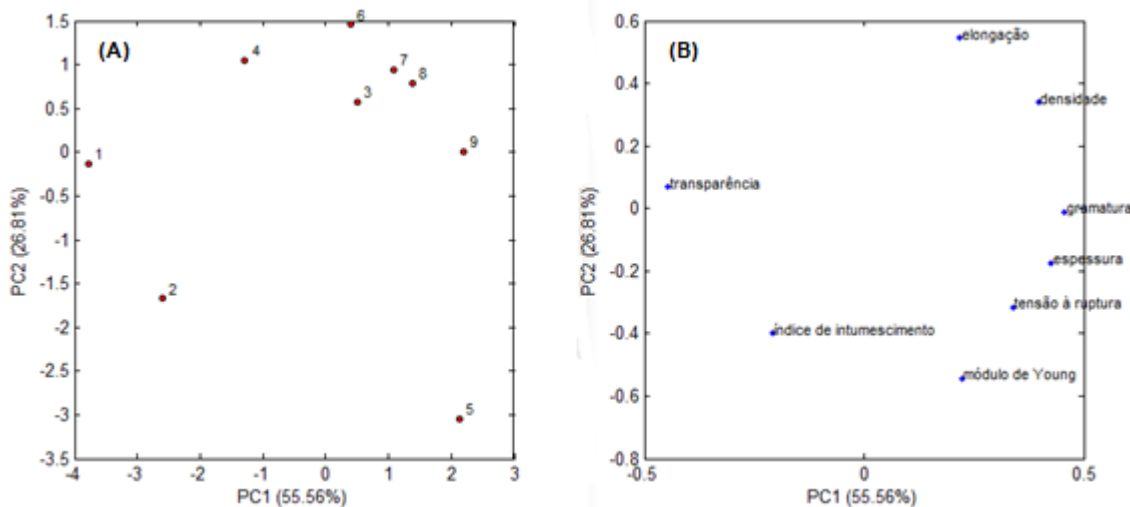


Figura 01: Gráfico de escores (A) e de pesos (B) das propriedades analisadas nos biofilmes por meio da análise de PCA

O gráfico de escores mostrou que as duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2) explicaram juntas 82,37% da variabilidade dos dados, sendo que 55,56% foram explicados pela primeira componente principal (PC1) e 26,81% pela segunda (PC2). Pela



análise da componente principal 1, a qual retém uma maior quantidade de informações, as amostras sintetizadas nas condições 1 e 2 foram as que apresentam menor similaridade quando comparadas com as demais condições de síntese.

Nesse caso, pode-se reportar que as condições nas quais se empregam as quantidades mínimas de amido de milho e glicerina faz com que os resultados sejam mais distintos com relação às demais amostras para as propriedades que foram analisadas, sendo observado que a quantidade de extrato de própolis-verde não diferenciou as duas amostras, conforme também pode ser analisado na comparação das amostras 7 e 8, as quais foram sintetizadas nas quantidades mais elevadas de agente formador e plastificante. Os resultados obtidos podem estar associados ao fato de que o aditivo é adicionado em pequena quantidade quando comparada aos demais precursores.

Quando se analisa o gráfico de pesos, vale ressaltar que a gramatura de filmes, definida como a razão entre a massa e a área de um determinado material, está diretamente relacionada à resistência mecânica dos filmes, sendo que maiores gramaturas oferecem maiores resistências mecânicas.

A análise simultânea dos gráficos de scores e pesos evidencia que a gramatura é maior para amostras que contêm maior quantidade de amido de milho. Almeida e colaboradores (2013) sintetizaram filmes formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata e indicaram que as blendas com maiores quantidades de celulose apresentam maior valor de gramatura.

Evidencia-se a mesma tendência para a análise de tensão à ruptura, já que de acordo com a CP1, essas duas propriedades estão situadas no mesmo quadrante no gráfico de pesos. Nesse caso, é possível inferir que os filmes que apresentaram maiores valores para a tensão à ruptura foram os que apresentaram maior valor para a gramatura. Os resultados podem ainda ser atribuídos ao fato de polissacarídeos possuírem alta resistência à tração e baixa alongação (FAKHOURI *et al.*, 2012). Os dados obtidos indicam uma consonância com resultados disponibilizados na literatura (ALMEIDA *et al.*, 2013)

Outra observação evidente das propriedades analisadas indica que um aumento da espessura dos biofilmes ocasiona um aumento de sua opacidade no filme. De fato, é observado no gráfico de pesos que os materiais mais transparentes são os que possuem

menor espessura. O aumento na opacidade nos biofilmes na medida em que se aumenta a quantidade de amido de milho está relacionado ao fato da mesma ser dependente do teor de amilose dos amidos. Com quantidades maiores de amido em suspensão, verifica-se uma quantidade superior de moléculas de amilose em solução, que por serem lineares, tendem a orientar-se, paralelamente, aproximando o suficiente para serem formadas interações do tipo *ligações de hidrogênio* entre hidroxilas de cadeias adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (FAKHOURI *et al.*, 2007).

Vale ainda ressaltar a importância na determinação da transparência, já que embora filmes mais transparentes permitem a visualização da qualidade do alimento revestido, a entrada da luz pode conduzir às reações de oxidação e degradação (FERNANDES *et al.*, 2015; CARISSIMI, 2017).

Ainda de acordo com a análise da Figura 01, e conforme predito, é verificado pela análise do gráfico de pesos que embora a componente principal 2 represente 26,81% das informações do conjunto de dados, a alongação e a tensão à ruptura são propriedades opostas, o que se mostra coerente na medida em que enquanto a primeira propriedade analisa a elasticidade dos materiais produzidos, a segunda correlaciona-se à rigidez e resistência dos biofilmes (McHUGH; KROCHTA, 1994).

Uma análise simultânea do gráfico de escores e de pesos permite correlacionar os materiais sintetizados às propriedades analisadas. É evidenciado que o filme mais transparente (biofilme 1) é o que apresenta a menor quantidade dos três precursores. Esse biofilme também é evidenciado por possuir menores resultados para gramatura, tensão à ruptura e alongação. Como o amido de milho é o agente formador, pode-se inferir que tais resultados estão associados ao menor teor de amilose e amilopectina e ao fato dos polissacarídeos exibirem a capacidade de elevada resistência e baixos valores para alongação (FAKHOURI *et al.*, 2012).

Por outro lado, verifica-se que o biofilme 2 apresenta o maior índice de intumescimento, justificável por possuir as menores quantidades de amido de milho e de glicerina. Neste caso, há uma menor quantidade de interações do tipo *ligações de hidrogênio* entre os componentes, aumentando a mobilidade molecular e a interação com



a água.

Os biofilmes 7 e 8 são os que possuem maiores resultados para a densidade, justificável pela síntese conduzida com as maiores quantidades de amido de milho, um carboidrato de elevada massa molecular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que a utilização do Reconhecimento de Padrões não-supervisionado por Análise de Componentes Principais (PCA) foi essencial e de fundamental importância para verificar as similaridades e diferenças entre os filmes biodegradáveis que foram sintetizados, bem como permitiu correlacionar as propriedades analisadas, sendo que os resultados obtidos foram consistentes com os disponíveis na literatura. Também pode-se inferir que a síntese proposta no presente estudo foi adequada e promissora na produção de materiais de baixo custo e fácil acesso, com um grande potencial para serem aplicados em embalagens.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. M.; WOICIECHOWSKI, A.L.; WOSIACKI, G.; PRESTES, R.A.; PINHEIRO, L.A. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filme formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros [online]**, v. 23, n. 4, p. 538-54, 2013.

American Society Standard Testing and Materials-ASTM. **ASTM F1306-90**: Standard test method for slow rate penetration resistance of flexible barrier films and laminates. Philadelphia, ASTM, 2001. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/F1306.htm>. Acesso em: 21 abril 2021.

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.

AVELINO, K.R. de S. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de tomate (*Lycopersicon esculentum*). 2019. Dissertação (**Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos**) - Universidade Federal da Grande Dourados. Mato Grosso do Sul. Faculdade de Engenharia.

AZIZ, M. A.; SALAMA, H.; SABAA, M. W. Biobased alginate/castor oil edible films for active food packaging. **LWT Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 96, p. 455-460, 2018.

BRODNJAK, U. V. Improvement of physical and optical properties of chitosan-rice starch films pre-treated with ultrasound. **Bulgarian Chemical Communications**. v. 49, n. 4, p. 859- 867,

2017.

CARISSIMI, M. Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde. 2017. Dissertação (**Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos**) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

CHUNG, Y.L.; ANSARI, S.; ESTEVEZ, L.; HAYRAPETYAN, E.P.; GIANNELIS, E. P.; LAI, H.M. Preparation and Properties of biodegradable starch-clay nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 2, p. 391-396, 2010.

COSTA, R. Glicerina: o tamanho do problema. **Biodieselbr**, v. 1, n. 3, p. 16-20, 2018.

DAZA, L. D.; HOMEZ-JARA, A.; SOLANILLA, J. F.; VÁQUIRO, H. A. Effects of temperature, starch concentration, and plasticizer concentration on the physical properties of ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) -based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1834-1845, 2018.

DOU, L.; LI, B.; ZHANG, K.; CHU, X.; HOU, H. Physical properties and antioxidant activity of gelatine-sodium alginate edible films with tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, p. 1377-1383, 2018.

FAKHOURI, F.M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P.V. DE M.; MILANEZ, C.R.; STEEL, C.J.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. 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.

FAKHOURI, F.M.; MARTELLI, S.M.; BERTAN, L.C.; YAMASHITA, F.; MEI, L.H.I.; QUEIROZ, F.P.C. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin - Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 49, n. 1, p. 149-154, nov. 2012.

FERNANDES, A.P.S.; COSTA, J.B.; SOARES, D.S.B.; DE MOURA, C.J.; DE SOUZA, A.R.M. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 192-199, abr./jun. 2015.

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. **For Science**, v. 8, n. 2, p.1-19, jul./dez. 2020.

MATTA, E.; TAVERA-QUIROZ, M. J.; BERTOLA, N. Active edible films of methylcellulose with extracts of Green Apple (Granny Smith) skin. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 124, p. 1292-1298, 2019.

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

MEDINA-JARAMILLO, C.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, n.1, p. 187-194, nov. 2017.



NANDI, S.; GUHA, P. Modelling the effect of guar gum on physical, optical, barrier and mechanical properties of potato starch based composite film. **Carbohydrate Polymers**, v. 200, p. 498-507, nov. 2018.

NASCIMENTO, T.A.; CALADO, V.; CARVALHO, C.W.P. Desenvolvimento e caracterização de filmes flexíveis à base de mesocarpo de amido e maracujá farinha com nanopartículas. **Food Research International**, Burlington, v. 49, n. 1, p. 588-595, nov. 2012.

NUNES, C.A; FREITAS, M.P.; PINHEIRO, A.C.M.; BASTOS, S.C. Chemoface: a Novel Free User-Friendly Interface for Chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.23, n. 11E, 2012.

OLIVEIRA, L.F.; ASCHERI, D.P.R, ASCHERI, J.L.R. Desenvolvimento, caracterização de filmes comestíveis de fécula de Mangarito (*Xanthosoma mafaffa* Schott) e sua aplicação em frutos de jaboticaba. **Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos (CEPPA)**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 265-280, 2011.

SARANTOPOULOS, C.I.G.L.; *et al.* **Embalagens Plásticas Flexíveis**: principais polímeros e avaliação das propriedades. 1. Ed. Rio de Janeiro: CETEA, 2002.

SILVA, M. de L.; SILVA, W. J. dos S.; PEREIRA, A. K. L. S. Aproveitamento de resíduos vegetais como alternativa na fabricação de embalagens biodegradáveis. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 86238-86250, nov. 2020.

SIRVIÖ, J. A.; VISANKO, M.; UKKOLA, J.; LIIMATAINEN, H. Effect of plasticizers on the mechanical and thermomechanical properties of cellulose-based biocomposite films. **Industrial Crops & Products**, v. 122, p. 513-52, out. 2018.

SOUZA, C. O.; SILVA, L.T.; SILVA, J.R.; LÓPEZ, J.A.; VEIGA-SANTOS, P.; DRUZIAN, J.I. Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch biobased film. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 6, p. 2248- 2254, 2011.

SOUZA, A.C.; BENZE, R.; FERRÃO, E.S.; DITCHFIELD, C.; COELHO, A.C.V.; TADINI, C.C. Cassava starch biodegradable films: influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. **LWT - Food Science and Technology**, Londres, v. 46, n. 1, p. 110-117, abr. 2012.

VEIGA-SANTOS P.; OLIVEIRA, L.M.; CEREDA, M.P.; ALVES, A.J.; SCAMPARINI, A.R.P. Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch gum films: effects of additives and deacetylated xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, p. 341-349, 2007.

VESPUCCI, I. L. Filmes biodegradáveis: elaboração e validação em maracujá silvestre produzido para utilização na utilização familiar. 2021. Tese (**Doutorado em Agronegócio: Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais**), Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Escola de Agronomia.