

Uso de cobertura comestível inteligente a base de soro de leite e extrato de casca de jaboticaba em queijo prato

Use of smart edible topping based on whey and jaboticaba rind extract in cheese plate

Uso de cobertura comestible inteligente a base de suero y extracto de cáscara de jaboticaba en un plato de queso

Recebido: 31/03/2020 | Revisado: 02/04/2020 | Aceito: 03/04/2020 | Publicado: 05/04/2020

Marcella Fernandes Borges Sandre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7170-609X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: nutmarcella@hotmail.com

Nayane Matias Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1734-4427>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: nayane_ms@hotmail.com

Samuel Viana Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1544-191X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: samuel_vianaidb@hotmail.com

Yasmine Ariadne Andrade Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8399-7181>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: yasmine.engalimentos@gmail.com

Jéssica Silva Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9404-9045>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: jessicasilva.medeiros.sm@gmail.com

Mariana Buranelo Egea

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4713-9494>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: mariana.egea@ifgoiano.edu.br

Marco Antônio Pereira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3875-1104>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: marco.antonio@ifgoiano.edu.br

Edmar Soares Nicolau

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2512-3918>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: rena@vet.ufg.br

Resumo

Objetivou-se desenvolver recobrimento comestível, em forma de fitas cilíndricas, para ser adicionado em embalagens de queijos Prato, utilizando concentrações constantes de soro de leite e crescentes de extrato da casca da jaboticaba. Para tanto, foram extraídos a frio, em solução etérea, compostos antocianicos presentes na casca do fruto. Posteriormente, verteram-se três diferentes concentrações deste extrato às soluções filmogênicas contendo soro de leite, amido de mandioca e glicerol. Para secagem em estufa, as soluções foram dispostas em placas de Petri acrílicas e aguardadas o prazo de 32 horas, findo este processo, os recobrimentos comestíveis foram aplicados em queijo tipo Prato e analisados em cinco intervalos de tempo, sendo estes: 0, 15, 30, 45 e 60 dias. Neste período, foram observadas as alterações nos padrões de cor e pH. Os recobrimentos comestíveis ativos e inteligentes, modificaram a cor juntamente com a alteração de pH desde os primeiros 15 dias de análise. Essa alteração conferiu ao revestimento a bioatividade.

Palavras-Chave: Bioatividade; Embalagens ativas e inteligentes; Biofilme.

Abstract

The objective was to develop an edible coating, in the form of cylindrical ribbons, to be added in packages of Prato cheeses, using constant concentrations of whey and increasing extracts of jaboticaba peel. For this, anthocyanic compounds present in the bark of the fruit were extracted in cold solution. Subsequently, three different concentrations of this extract were transferred to the filmogenic solutions containing whey, cassava starch and glycerol. For greenhouse drying, the solutions were placed in Petry Acrylic plates and waited within 32 hours. After this process, the edible coatings were applied in Prato cheese and analyzed in five time intervals: 0, 15, 30, 45 and 60 days. During this period, changes in color and pH patterns were observed. The active and intelligent edible coatings modified the color along with the pH change from the first 15 days of analysis. This change gave the coating bioactivity.

Keywords: Bioactivity; Active and intelligent packaging; Biofilm.

Resumen

El objetivo era desarrollar recubrimientos comestibles, en forma de cintas cilíndricas, para ser agregados al empaque de queso Prato, usando concentraciones constantes de suero y extracto creciente de la corteza de jaboticaba. Para eso, los compuestos de antocianina presentes en la cáscara de la fruta se extrajeron en frío, en una solución etérea. Posteriormente, se vertieron tres concentraciones diferentes de este extracto en soluciones filmogénicas que contienen suero, almidón de yuca y glicerol. Para el secado en horno, las soluciones se colocaron en placas de Petri acrílicas y se esperaron 32 horas. Después de este proceso, los recubrimientos comestibles se aplicaron al queso tipo Prato y se analizaron en cinco intervalos de tiempo: 0, 15, 30, 45 y 60 días. Durante este período, se observaron cambios en los patrones de color y pH. Los recubrimientos comestibles activos e inteligentes cambiaron el color junto con el cambio de pH desde los primeros 15 días de análisis. Este cambio le dio al recubrimiento bioactividad.

Palabras clave: Bioactividad; Embalaje activo e inteligente; Biofilm.

1. Introdução

Os plásticos biodegradáveis e compostáveis, especialmente os provenientes de fontes naturais renováveis, têm sido foco de interesse para o desenvolvimento de novas tecnologias (Teixeira, 2007).

De acordo com Rooney (1995) a embalagem ativa é caracterizada como o invólucro que não apenas separa o alimento do meio ambiente, mas que interage com o alimento para manter as propriedades. No entanto, Wurlitzer (2007) ressaltou que embalagem ativa é um conceito inovador que combina avanços em tecnologia e segurança dos alimentos através de receptáculos e materiais, em um esforço para melhor atender às demandas de consumidores por alimentos mais frescos e seguros.

Os desenvolvimentos de embalagens ativas que merecem destaque são filmes, revestimentos, sachês antimicrobianos e antioxidantes e filmes aromáticos. Além das embalagens ativas, existem as embalagens inteligentes (que se comunicam com o consumidor através da mudança de cor), que também são tecnologias inovadoras que monitoram a qualidade e segurança dos alimentos (Scannel et al., 2000).

No Brasil, a quantidade de resíduo depositada no meio ambiente é expressiva, em

contorno a esse problema, surgem alternativas para reciclagem desses resíduos, prática viável tanto ecológica como econômica (Lopes, 2006). O soro de leite é o principal resíduo resultante das fábricas de queijos, a utilização na elaboração de novos produtos pode ser uma maneira ecológica e sustentável para o aproveitamento integral dessa matéria prima (Almeida et al., 2001).

O aumento da produção de queijos tem gerado grande quantidade de soro de leite, criando problemas práticos e econômicos quanto a poluição ambiental de rios, oceanos e aumento de esgotos. Muitas pesquisas foram desenvolvidas em diversos países visando criar opções para utilização do lactossoro, evitando assim que funcione como agente de poluição ambiental devido a alta demanda biológica de oxigênio. (Almeida et al., 2001; Mizubuti, 2002).

A jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* - Mart) é nativa do Brasil, o fruto é uma baga esférica preta com casca fina, frágil com aspecto coriáceo e bagaço branco, ligeiramente ácido e doce, com sabor adstringente (Morales et al., 2016). As antocianinas contidas nas jaboticabas são, de fato, encontradas apenas na casca do fruto, que não é diretamente consumido, porém, utilizado para produzir compotas e extratos designados para a indústria de creme, bebidas e gelados comestíveis. Antocianinas podem reduzir o risco de doença cardíaca coronária, têm efeitos anti-inflamatórios, atividade anticarcinogênica, efeitos antioxidantes, contribui para a prevenção da obesidade, melhora a visão e tem atividade antimicrobiana (Peixoto et al., 2016).

O valor nutricional e a composição de jaboticabas são caracterizados pelo elevado teor de hidratos de carbono (glicose, frutose), fibra dietética, minerais (ferro, cálcio, fósforo), vitaminas, compostos bioativos, ácido ascórbico, carotenoides, glicosídeos, compostos fenólicos e antocianinas (Morales et al., 2016).

A extração de antocianinas e outros compostos bioativos, como fenólicos, a partir de cascas de jaboticaba é de interesse industrial (Rodrigues et al., 2015).

Nesse contexto, objetivou-se desenvolver recobrimento comestível, em forma de fitas cilíndricas, para ser adicionado em embalagens de queijos Prato, utilizando concentrações constantes de soro de leite e extrato da casca da jaboticaba como indicador bioativo.

2. Metodologia

O presente trabalho se caracterizou como um estudo qualitativo e laboratorial, sendo que a metodologia qualitativa trata-se em grande parte da interpretação por parte do

pesquisador com suas opiniões sobre o fenômeno em estudo, com isso, torna-se importante a prática reflexiva de ênfase social que se investiga e do processo de investigação (Pereira, et al. 2018).

Obtenção do Soro de Leite

Para produção dos recobrimentos comestíveis, inicialmente, foram processados no Laboratório de Produtos de Origem Animal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde (IF Goiano), queijos frescais, a partir do leite de vaca, obtido no Laboratório de Bovinocultura Leiteira do IF Goiano. Os queijos frescais foram processados conforme metodologia descrita por Furtado & Lourenço Neto (1994) e após o processamento dos queijos o soro resultante foi acondicionado em embalagens plásticas individuais de 50 mL e mantido sob congelação para utilização no desenvolvimento das soluções filmogênicas.

Experimento 1 – Biofilme Com Soro de Leite

Os recobrimentos comestíveis foram desenvolvidos de acordo com a metodologia de *casting* que consiste na desidratação da solução filmogênica em placa de Petry. Com a substituição da água por soro de leite em diferentes concentrações, verificou-se o efeito do soro de leite como agente solvente na elaboração do recobrimento comestível, desenvolvido em três repetições para cada tratamento. As soluções filmogênicas foram obtidas com 10 % amido de mandioca, 20% de ácido acético e 10% de glicerol (Tabela 1).

Tabela 1 - Formulações de soluções filmogênicas para obtenção de filmes.

Ingredientes	Tratamentos				
	1*	2	3	4	5
Água	60,0	45,0	30,0	15,0	0,0
Soro de leite	0,0	15,0	30,0	45,0	60,0
Amido de mandioca	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Ácido acético	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Glicerol	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

Fonte: Dados da pesquisa.

*(Controle).

Na Tabela 1 é possível observar as diferentes formulações utilizadas para a obtenção dos filmes.

Para o desenvolvimento da solução, utilizou-se béqueres de vidro de 250 mL graduados, previamente limpos e sanitizados com álcool 70%. Para pesagem dos componentes da solução, utilizou-se balança de precisão eletrônica Bel® modelo S3102 - 3100g x 0,01g e copos descartáveis de 50 mL marca Termoplástico.

Após a pesagem, os béqueres contendo água, soro de leite, amido, glicerol e ácido acético, foram mantidos em banho maria por 28 minutos com temperatura de $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, para efetiva desnaturação das proteínas contidas na solução e gelatinização do amido, as soluções filmogênicas foram colocadas em duas diferentes placas de Petri, sendo estas, acrílico e vidro para que fossem avaliados o material ideal para secagem.

Posteriormente, foram submetidas a secagem em estufa e BOD (Biochemical Oxygen Demand), com temperaturas de BOD de $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e em estufa a $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas.

Experimento 2 - Obtenção do Extrato da Casca da Jaboticaba

Para obtenção do extrato da casca de jaboticaba *in natura*, as bagas foram coletadas na região do Sudoeste Goiano, na zona rural do município de Rio Verde - GO, selecionadas de modo a evitar frutos com injúrias e estádios de maturação tardio ou precoce.

Os frutos sadios, firmes e com cascas brilhantes foram acondicionados em caixas brancas de polietileno e sanitizadas em 0,10 mL de hipoclorito de sódio a 2,5 % em 1000 mL de água, submersas/20 minutos, e em seguida foram lavadas em água corrente, deixadas sob papel toalha para secagem por 15 minutos, após este período foi realizado com o auxílio de lâmina de aço carbono estéril Solidor®, a secção longitudinal da casca, este procedimento permite melhor aproveitamento do pigmento presente na casca, a polpa branca gelatinosa foi desprezada. Em seguida homogeneizou-se as cascas em mixer Wallita 300® juntamente com 30 mL de água, adicionou-se 70 mL de álcool etílico e manteve-se sob refrigeração a $5\text{ }^{\circ}\text{C}/24$ horas, posteriormente, filtrou-se e foi obtido o extrato da casca da jaboticaba. Na Tabela 2 é possível observar a formulação utilizada.

Tabela 2 - Formulação de recobrimentos comestíveis com concentrações crescentes de extrato da casca da jaboticaba.

Componentes (%)	Tratamentos			
	1 (Controle)	2	3	4
Água	78,61	76,70	74,88	73,13
Soro de Leite	15,72	15,33	14,97	14,62
Amido de mandioca	2,83	2,76	2,69	2,63
Ácido acético	0,94	0,91	0,89	0,87
Glicerol	0,94	0,91	0,89	0,87
Pectina	0,94	0,91	0,89	0,87
ECJ*	0	2,43	4,76	6,97

Fonte: Dados da pesquisa.

*Extrato da casca da Jaboticaba.

A Tabela 2 demonstra as formulações dos recobrimentos comestíveis com concentrações crescentes de extrato da casca da jaboticaba.

A obtenção do extrato procedeu-se conforme o método descrito por Lopes et al. (2006) com adaptações.

Experimento 3 - Submersão de Queijo Prato em Solução Filmogênica

Após o desenvolvimento das soluções filmogênicas, foram adquiridos no comércio local, queijos tipo Prato. Os mesmos foram fracionados em pequenos pedaços de 20g e pesados em balança analítica modelo Marte AD430. Testou-se a submersão de queijos em soluções filmogênicas em estado líquido, a 15 °C, 30 °C e 60 °C para que pudesse ser avaliado o possível efeito de secagem da solução e a formação de uma biopelícula diretamente em contato com o Queijo Prato.

Após a tentativa em três diferentes temperaturas, as alíquotas foram acondicionadas em placas tipo Petry e mantidas em BOD a 5 °C para secagem em umidade relativa (UR) de 32 %.

Permeabilidade ao Vapor D'água

A determinação da permeabilidade ao vapor d'água foi realizada pela fixação dos recobrimentos comestíveis na parte superior de um recipiente contendo sílica. O sistema foi acondicionado em câmara hermeticamente fechada (com solução de cloreto de sódio) a 23°C e umidade relativa de 75%. A determinação da permeabilidade de vapor d'água foi obtida

através da diferença de peso do sistema no início e após cinco dias de incubação.

Espessura

Para o cálculo da espessura, cortou-se o recobrimento comestível com 4 cm de diâmetro, dividido em quatro quadrantes. Utilizou-se paquímetro digital Western® PRO, e os resultados foram expressos em milímetros, a espessura foi aferida em três locais diferentes em cada quadrante, somando 12 vezes por filme, totalizando 36 repetições por tratamento.

Textura

Os filmes foram submetidos a análise de textura, utilizando Texturômetro TA.XT/Plus - Texture Analyser - Stable Micro Systems® e determinados desse modo, após avaliação de cinco repetições por tratamento, os padrões de adesividade, que é a energia necessária para superar as forças atrativas entre a superfície do alimento e a de outros materiais com os quais o alimento está em contato; dureza: força necessária para produzir certa deformação; elasticidade: velocidade na qual um material deformado volta a condição não deformada, depois que a força de deformação é removida; gomosidade: força necessária para desintegrar a massa do alimento, obtida durante a mastigação, até que atinja o ponto de engolir; mastigabilidade: tempo necessário para mastigar uma amostra (velocidade constante) e para reduzi-la a consistência adequada para deglutição e fraturabilidade: força pela qual uma amostra esmigalha ou quebra.

Avaliação visual da mudança de cor dos revestimentos comestíveis

Os queijos Prato foram armazenados em geladeira, em embalagens plásticas primária até a data de fracionamento. As alíquotas utilizadas nas análises foram de 100 gramas de queijo para cada recipiente e a estes foram adicionados recobrimentos comestíveis e observado o comportamento através da análise visual de coloração com filmes recém preparados.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

As alíquotas de Queijo Prato foram pesadas (2,5 g) e adicionadas em 50 mL de água

peptonada e o pH foi avaliado por meio de pHmetro de bancada microprocessado W3B (Bel Engineering®) (BRASIL, 2006).

Cor

A análise da cor dos biofilmes foi realizada no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do IF Goiano, utilizando-se equipamento Colorímetro Hunter Lab, modelo Color Flex EZ®. As amostras de biofilme foram divididas em quatro quadrantes e efetuadas três leituras em cada quadrante, sendo as análises realizadas em triplicata. Foram obtidos os parâmetros L*, a* e b* e calculados os parâmetros Chroma e Hue (Cassetari, 2012).

Para avaliação do ângulo Hue e cromaticidade C*, foram utilizadas as coordenadas a* e b* (Konica, 1998), conforme as equações abaixo:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{Equação 1})$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{Equação 2})$$

Análises Estatísticas

Os dados iniciais de solubilidade, textura, espessura e permeabilidade a vapores de água foram submetidos a análise de variância e quando o teste F foi significativo, realizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Após a escolha do biofilme os dados também foram submetidos a análise de variância e quando o teste F foi significativo realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática. Utilizou-se o software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

Os parâmetros médios do pH, acidez titulável, umidade, atividade de água, textura e cor, foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, três repetições por tratamento e três análises por repetição, totalizando nove unidades experimentais. No desdobramento da análise foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2011). Para a estimação do pH utilizou-se a regressão múltipla. As variáveis explicativas foram L*, a*, b*, Chroma e Hue, que foram selecionadas pelo método “backward” de regressão múltipla, que avalia todas as variáveis dentro de uma regressão, excluindo automaticamente aquelas que, para determinado modelo, não foram significativas pelo teste t de student e não promoveram melhoria do

coeficiente de determinação ajustado, mantendo somente as variáveis explicativas que de fato colaboram com a qualidade final dos ajustes. Foram utilizados um software de programação (R) e um estatístico (STATISTICA StatSoft, Tulsa[®]) para essas análises.

3. Resultados

Revestimentos comestíveis utilizando amido de mandioca, soro de leite, ácido acético e glicerol, não apresentaram boa resistência mecânica, não se desgrudaram da placa e por essa razão, optou-se por filmes contendo pectina cítrica, que resultou em filmes mais coesos, com resistência mecânica e a tração superiores aos testados sem adição de pectina cítrica.

Entre os potenciais formadores de filmes, destacam-se o amido de mandioca e a pectina de baixo teor de metoxilação (BTM). Estes polissacarídeos aniônicos são abundantes na natureza, de fácil extração e possuem a característica de reagir com íons divalentes, principalmente cálcio, pela formação de ligações cruzadas, resultando em filmes fortes, com melhor resistência à água (Fang et al., 2008).

As formulações iniciais sugeridas não viabilizaram a aplicação deste recobrimento comestível em substituição de embalagem primária. A permeabilidade a vapores de água não pôde ser aferida de acordo com o proposto pela metodologia oficial, por não ter sido possível a retirada dos filmes das placas, que a 15 °C a solução apresentava-se gelatinizada e sólida, não permitindo submersão, a 30 °C apresentava-se parcialmente solidificada, porém, após a secagem do queijo revestido com a solução filmogênica houve perda de massa de aproximadamente 45%, e a 60 °C os queijos fundiram em razão da alta temperatura.

Após a completa secagem em ambos os meios (estufa e BOD), os resultados obtidos foram insatisfatórios, pois os revestimentos resultantes foram inviáveis de serem analisados e caracterizados por não terem se desgrudado da placa de petry, impossibilitando o prosseguimento da pesquisa de acordo com a metodologia proposta por *Casting*.

Todas as formulações inicialmente descritas, conforme Tabela 1, foram realizadas em repetição e em triplicata e em nenhum dos 5 tratamentos foi possível a continuidade da formulação.

A permeabilidade ao vapor de água (PVA), quando comparada entre as três diferentes concentrações contendo extrato de casca de jaboticaba (2,5%, 5,0% e 7,5%), resultou em valores médios de 2,85; 2,12 e 3,13 g.mm.kPa-1.dia⁻¹.m⁻², respectivamente, o que indica que não houve mudanças significativas nos padrões de PVA quando analisados em diferentes concentrações do substrato.

Os valores médios de PVA encontrados neste trabalho ($2,70 \pm 0,05$) diferem dos relatados por Garcia et al. (2004) em filmes biodegradáveis à base de metilcelulose e quitosana com valores de $6,52 \pm 0,05 \text{ g.mm.kPa}^{-1}.\text{dia}^{-1}.\text{m}^{-2}$ e $7,80 \pm 0,10 \text{ g.mm.kPa}^{-1}.\text{dia}^{-1}.\text{m}^{-2}$, respectivamente.

Talja et al. (2008) relataram valores de PVA de $1,06 \text{ g.mm.kPa}^{-1}.\text{dia}^{-1}.\text{m}^{-2}$ valores ainda menores que os obtidos no presente trabalho, em filmes à base de amido de batata, sem adição de plastificantes.

Os resultados obtidos nas concentrações de extrato da casca de jaboticaba, em relação a espessura dos filmes nas concentrações com 2,5% e 5,0% não apresentaram diferença enquanto a concentração com 7,5% apresentou maior espessura, mas sem influência quanto a permeabilidade ao vapor de água. Em relação a gomosidade, coesividade, adesividade e elasticidade o tratamento contendo a maior concentração de extrato de jaboticaba apresentou-se com maior qualidade nos parâmetros totais, conforme descrito na Figura 1, em relação a mudança visual de cor, filmes que continham elevadas concentrações de antocianina $\geq 7,5\%$ não foram sensíveis a mudança de cor, no aspecto visual, quando comparado a biofilmes contendo 5,0% de extrato de jaboticaba. Optou-se então por utilizar a formulação para o desenvolvimento de recobrimentos comestíveis que apresentou maior sensibilidade a mudança de cor, ainda que não tivessem o melhor desempenho nas demais análises, os filmes contendo concentrações de 2,5% foram descartados por não permitirem descolamento de placa, necessitando repetições constantes para que pudessem ser retirados filmes com no máximo 6 cm de diâmetro

Li et al. (2008) enfatizaram que a permeabilidade a vapores de água é variável, e há estreita relação entre os agrupamentos (-OH) disponíveis no biopolímero e sugeriram uma estreita análise entre os valores de PVA e espessura, onde a PVA dividida pela espessura dos filmes sugere interpretações concretas. Sobre essa ótica, Batista (2004), evidenciou que ácidos graxos por terem características de hidrofobicidade, aumentam a permeabilidade a vapores de água o que pode ser complementados pelos grupos carboxílicos presentes nas antocianinas que ao interagirem com água facilitam a migração desta para os revestimentos.

Diversos fatores do material dentre estes a fonte do amido interferem diretamente na permeabilidade a vapores de água nos biofilmes (Graaf et al., 2003); a proporção entre amilose e amilopectina (Rindlav-Westling et al., 1998); o grau de cristalinidade (Mali et al., 2006); aditivos incorporados à matriz polimérica (Tang et al., 2008), espessura e as condições de armazenamento (Mali et al., 2006).

Shimazu, Mali e Grossmann (2007) evidenciaram que a atividade de água (a_w)

estabelece direta relação com as propriedades mecânicas dos filmes desenvolvidos com amido de mandioca e que quanto menor a a_w da solução saturada presente no dessecador maior será a resistência máxima a tração.

Segundo Ashley (1985), a umidade absorvida tem um efeito plastificante em filmes preparados com proteínas, reduzindo assim a resistência à tração e aumentando a flexibilidade do filme.

De acordo com Labuza (1984) a quantidade de água absorvida pelas matérias alimentícias a umidade relativa constante diminui com o aumento da temperatura. Isto implica que menos água foi ligada a temperaturas mais elevadas, diminuindo a plasticidade da película, causando menos enfraquecimento da estrutura da película, melhorando assim a resistência à tração e o módulo de elasticidade das películas. Sendo possível observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância e massa de água (MA), taxa de permeabilidade ao vapor de água (PVA) e espessura (ES) dos biofilmes com diferentes concentrações de extrato de casca de jaboticaba (ECJ).

Fonte de variação	GL	MA	PVA	ES
Concentrações	3	0,62 ^{ns}	2,48 ^{ns}	0,019 ^{**}
Erro	24	0,38	1,52	0,003
CV (%)	-	45,63	45,58	7,63
	2,5% ECJ	1,43a	2,85a	0,71b
Médias	5,0% ECJ	1,06a	2,12a	0,71b
	7,5% ECJ	1,57a	3,13a	0,79a

Fonte: Dados da pesquisa.

GL = graus de liberdade. CV = coeficiente de variação. **Diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F; *Diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância e massa de água, taxa de permeabilidade ao vapor de água e espessura dos biofilmes com diferentes concentrações de extrato de casca de jaboticaba.

Além disso, pode-se deduzir que o aumento da temperatura aumenta o efeito da umidade relativa nos filmes. Osés et al. (2009) relataram diminuição na resistência à tração,

módulo de elasticidade e aumento no alongamento na ruptura com aumento na umidade relativa de filmes isolados de proteína de soja e soro de leite, respectivamente.

A permeabilidade ao vapor de água é um fenômeno que implica na solubilidade da água e na difusão das moléculas de água através da matriz do filme (Osés et al., 2009). O aumento do conteúdo de umidade nos filmes poderia ter resultado em intumescimento, levando à expansão da matriz de biopolímero, o que aumentaria a difusão do vapor de água através dos filmes comestíveis à medida que a temperatura aumentasse.

Para Bertuzzi et al. (2007) o aumento da difusividade com o aumento da temperatura é devido ao aumento do movimento dos segmentos do polímero e ao aumento dos níveis de energia das moléculas permeantes. A permeabilidade aumenta com a temperatura. Embora os plásticos sintéticos sejam economicamente mais viáveis, uma maior disponibilidade de plásticos biodegradáveis permitirá que consumidores possam escolhê-los com base na disposição ambientalmente responsável.

Os processos que são mais promissores para o desenvolvimento de biopolímeros são aqueles que empregam matérias-primas de recursos renováveis. Plásticos biodegradáveis contendo amido tendem a experimentar um crescimento contínuo no desenvolvimento de biofilmes e recobrimentos comestíveis

A responsabilidade ambiental torna este um momento ideal para maior investimento e crescimento de biopolímeros. A amilose presente no amido permite que soluções filmogênicas apresentem maior coesividade e elasticidade de superfície.

O padrão de luminosidade aferido entre tons mais claros e mais escuros, apresentou diferença pontuais, a cada análise individual de tempo, exatamente por representar uma alteração instantânea e não progressiva. As coordenadas associadas aos tons de vermelho e verde, representadas por a^* e as indicativas de amarelo e azul representadas por b^* , são as que visualmente permitiram avaliação subjetiva, e posteriormente evidenciada. Os resultados iniciais apresentados, em relação a coordenada a^* foram de $3,05 \pm 0,085$ e $-0,62 \pm 0,063$ para a coordenada b^* , e finais variando entre $a^* 0,23 \pm 0,049$ e $b^* -0,02 \pm 0,037$, que comprovam a despigmentação observada visualmente e analiticamente conforme.

Os valores relacionados ao indicador Chroma que inicialmente apresentaram valor inicial de $3,11 \pm 0,093$ e final $0,24 \pm 0,047$, demonstraram que quanto menor o valor, menos perceptível será a diferenciação entre as tonalidades e com elevados valores de Chroma, sugerem uma cor mais homogênea. Os filmes iniciaram o experimento em tempo zero com coloração rósea e finalizaram em tons azuis e esverdeados. As alterações foram decrescentes a partir do terceiro tempo de maturação, ou seja, em 30 dias de experimento.

A cor de um alimento é um fator determinante que influencia a aceitabilidade dos consumidores. Isso se deve ao fato de que os consumidores sempre associam cores alimentares a outras qualidades, como frescor, amadurecimento e segurança alimentar (Heins., 2001).

O parâmetro L^* , no estágio inicial da avaliação ($18,45 \pm 0,426$), quando comparado ao tempo final ($21,82 \pm 0,748$), sessenta dias, apresentou crescimento, evidenciando maior luminosidade no decorrer do período amostral. Zetty (2012), ao desenvolver filmes a base de antocianina aplicados em peixes frescos, observou decréscimo do padrão L^* em razão da temperatura e tempo de estocagem que alterou significativamente a luminosidade dos filmes. Armazenados sob refrigeração ($4\text{ }^\circ\text{C}$) o valor de L^* se mostrou maior para estes filmes do que para aqueles armazenados à temperatura ambiente ($26\text{ }^\circ\text{C}$).

Com relação ao eixo verde - vermelho dos filmes, o parâmetro a^* é o fator mais importante na avaliação da atividade indicadora de pH dos filmes biodegradáveis incorporados com extratos da casca da jaboticaba devido a presença do pigmento avermelhado. Este parâmetro apresentou valores positivos em tempo zero e decresceu em todas as etapas de avaliação de tempo a medida em que os valores de pH aumentavam, evidenciando a perda do componente vermelho do filme, como já era esperado.

É possível observar nas descrições gráficas dos valores de b^* , que inicialmente os padrões mostraram-se negativos (azuis escuros) devido a presença do pigmento antocianico e com o decorrer do tempo do 15º ao 45º dias de avaliação, tenderam para valores positivos (amarelos) e negativos (azuis claros) ao final do experimento, aproximadamente aos sessenta dias. Isto ocorreu possivelmente devido ao nitrogênio básico volátil total (TVB-N) originado pela deterioração do Queijo Prato, que alcalinizou o meio, com o aumento do pH ocorre a desprotonação do cátion flavílio que resulta na formação da base quinoidal, azul ou violeta, e em paralelo ocorre a hidratação do cátion flavílio, gerando a pseudobase incolor ou carbinol que atinge o equilíbrio lentamente com a chalcona incolor ou amarelo pálido (Figura 1) (Brouillard & Dubois, 1977).

Figura 1 - Recobrimentos comestíveis a base de soro de leite, com 6 cm de diâmetro, contendo antocianina em diferentes estágios de evolução do experimento e relação com a cor e pH.

Armazenamento (dias)

0 dia 15 dias 30 dias 45 dias 60 dias

Biofilmes a 5,0 %					
	5,13	6,30	6,58	7,40	8,36
pH	$L^* = 18,45 \pm 0,426$	$L^* = 17,38 \pm 0,680$	$L^* = 20,20 \pm 0,963$	$L^* = 18,22 \pm 0,771$	$L^* = 21,82 \pm 0,748$
	$a^* = 3,05 \pm 0,085$	$a^* = 3,36 \pm 0,104$	$a^* = 1,57 \pm 0,072$	$a^* = 1,54 \pm 0,046$	$a^* = 0,23 \pm 0,049$
	$b^* = -0,62 \pm 0,063$	$b^* = 0,68 \pm 0,229$	$b^* = 0,70 \pm 0,160$	$b^* = 0,49 \pm 0,027$	$b^* = -0,02 \pm 0,037$
	$C^* = 3,11 \pm 0,093$	$C^* = 3,44 \pm 0,127$	$C^* = 1,72 \pm 0,125$	$C^* = 1,62 \pm 0,052$	$C^* = 0,24 \pm 0,047$
Cor	Hue = $-11,55 \pm 0,97$	Hue = $11,46 \pm 3,65$	Hue = $23,80 \pm 4,11$	Hue = $17,66 \pm 0,40$	Hue = $-6,13 \pm 11,00$

Fonte: Dados da pesquisa.

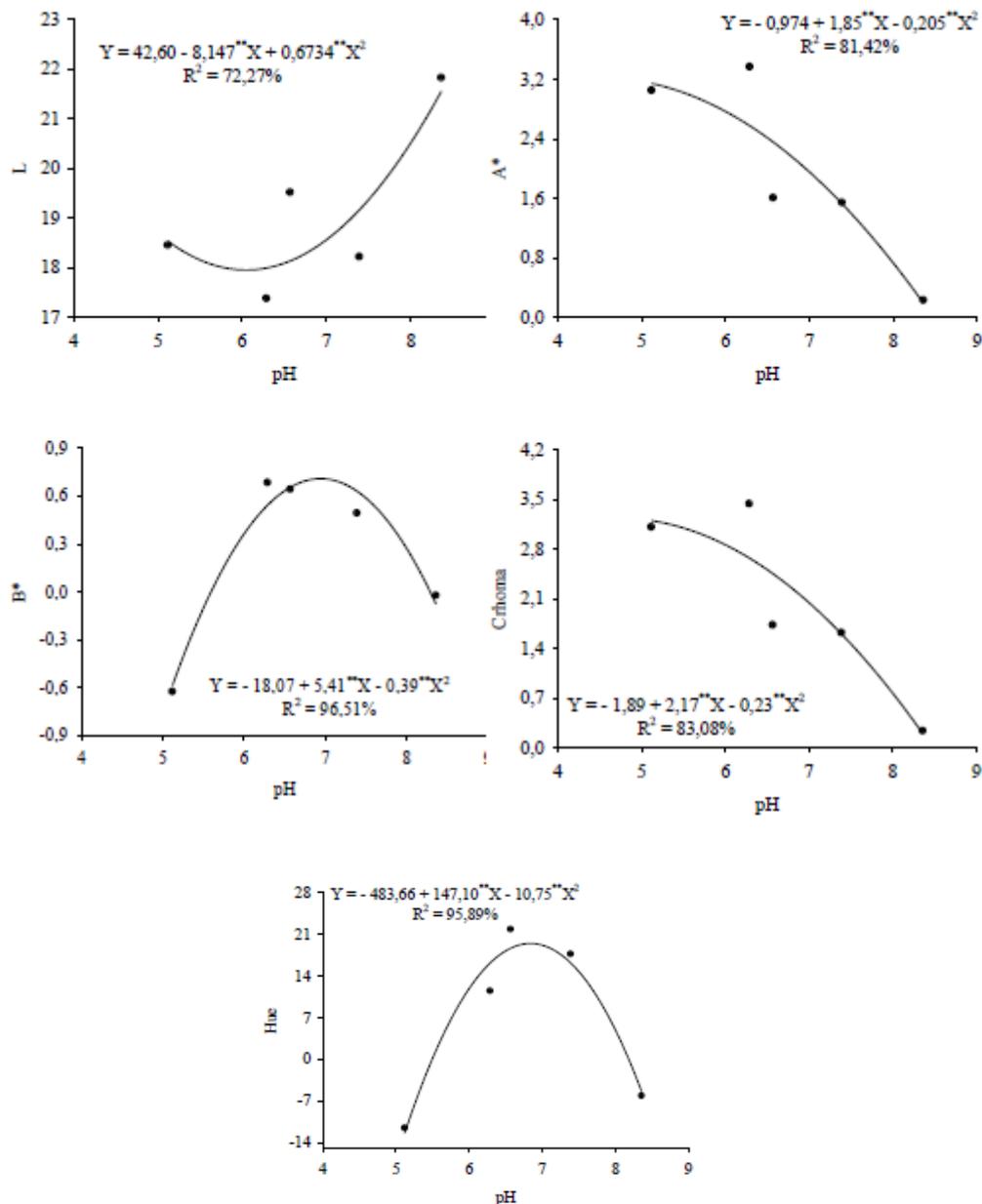
A Figura 1 apresenta os recobrimentos comestíveis a base de soro de leite, em diferentes estágios de evolução do experimento e relação com a cor e pH.

Estudos sobre a estabilidade das antocianinas e a variação de cor com o pH mostram que as alterações na cor desses compostos são mais significativas na região alcalina devido à instabilidade (Fossen et al., 2000).

O pigmento relacionado aos cultivares que contem antocianina podem ser afetados por uma série de reações que ocorrem ainda nos alimentos, e o principal problema associado as antocianinas é a instabilidade causada pelo pH, temperatura, estrutura química, concentração, luz, oxigênio, solventes, presença de enzimas, flavonóides, proteínas e íons metálicos, mesmo antes da extração, em estágio de armazenamento (Fossen et al., 2000).

Em solução, moléculas de antocianinas estão presentes em um equilíbrio entre o cátion flavínico AH⁺ (vermelho) e a pseudobase ou carbinol (incolor). Esse equilíbrio é diretamente influenciado pelo pH (Figura 2) (He et al., 2015).

Figura 2 - Parâmetros L*, a*, b*, Chroma e Hue do biofilme em 5,0% de concentração, em função do pH do queijo.

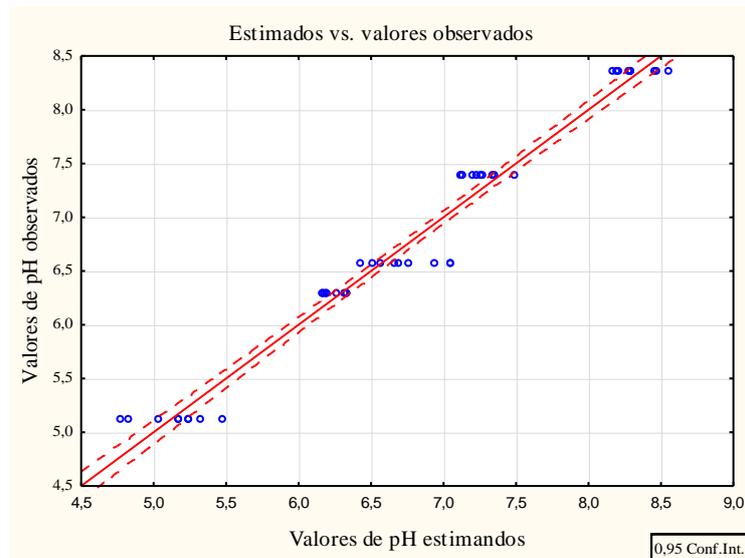


Fonte: Dados da pesquisa.

É possível observar na Figura 2 os parâmetros de L*, a*, b*, Chroma e Hue do biofilme em 5,0% de concentração, em função do pH do queijo.

O modelo desenvolvido para estimar o pH do queijo conforme Figura 1 está descrito na equação 1, de modo que nenhuma das variáveis foram excluídas pelo método backward e todas apresentaram significância a 1% de erro. O coeficiente de determinação múltiplo (R^2) foi de 97,03% com erro padrão da estimativa de 0,2 observa-se graficamente (Figura 3) os valores observados do pH e os estimados pela equação 1.

Figura 3 - Valores de pH observados e estimados do Queijo Prato em cinco diferentes épocas de avaliação 0, 15, 45, 30 e 60 dias.



$$pH = 11,37 - 0,132 \times L^* + 7,719 \times a^* + 1,398 \times b^* - 8,572 \times Chroma - 0,0219 \times Hue$$

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 3 apresenta os valores de pH observados e estimados do Queijo Prato em cinco diferentes épocas de avaliação 0, 15, 45, 30 e 60 dias.

Estudos de Pacquit et al. (2006) com embalagens inteligentes demonstraram evidente alteração de cor em função do pH, cabe ressaltar que estudos têm sido realizados com matrizes poliméricas sintéticas (plásticos), e indicadores de cor sintéticos e artificiais e que possuem uso limitado na indústria e alimentos.

Indicadores de cor foram desenvolvidos por Hong e Park (2000) para avaliar o grau de fermentação de produtos Kimchi (produto vegetal fermentado tradicional da Coreia) durante o armazenamento e distribuição. Avaliou-se a fermentação do Kimchi pela mudança total de cor e acidez titulável (AT). Utilizando os indicadores sintéticos bromocresol púrpura (BP, do inglês *Bromocresol purple*) e vermelho de metila (MR, do inglês *Methyl red*), observaram que, embora a mudança de cor de ambos indicadores tenham demonstrado boa correlação com os valores da AT do Kimchi, a mudança de cor do BP foi muito superior à obtida com MR. Concluiu-se que esses indicadores de cor são aplicáveis ao produto Kimchi como um sistema de embalagem inteligente para o monitoramento da maturação.

4. Conclusão

Os recobrimentos comestíveis ativos a base de soro de leite adicionados de extrato da casca de jaboticaba, quando aplicados em queijos Prato demonstraram efetiva mudança de cor, conferindo a estes revestimentos a característica de biofilmes ativos e inteligentes por terem, na composição, o potencial bioativo.

A principal limitação deste estudo foi encontrar a espessura ideal para os biofilmes, com o objetivo de evitar que os mesmos sofressem rasgos ou furos.

Sugere-se como realização de trabalhos futuros a aplicação dos biofilmes em outros tipos de queijos além do Prato.

5. Agradecimentos

Ao IF Goiano pelo aporte financeiro concedido por meio do Edital nº 21/2015 - Edital de Propostas de Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Financiadora de Estudos e Projetos pelo apoio a realização da pesquisa.

Referências

Almeida, K. E., Bonassi, I. A. & Roça, R. O. (2001). Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(2):187-192

Ashley, R. J. (1985). Permeabilidade e embalagem plástica. Em: Comyn J, editor. Permeabilidade do polímero. *Londres: Elsevier Applied Science Publishers*.

Association of Official Agricultural Chemists. *Official methods of the Association of the Agricultural Chemists* 16. ed. Washington, DC, v. 2, pg 1094, 1995.

Batista, E. O. (2004). Sistema de Informação: o uso consciente da tecnologia para o gerenciamento. São Paulo: Saraiva.

Bertuzzi, M. A., Armada, M. & Gottifredi, J. C. (2007). Physicochemical characterization of starch-based films. *Journal of Food Engineering*, 82(1):17-25.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de leite e produtos lácteos (revoga Instrução Normativa nº 22, de 14 de abril de 2003). Diário Oficial da União, Brasília, 14 de dezembro 2006, Seção 1, Página 8, 2006.

Brouillard, R. & Dubois, JE (1977). Mecanismo das transformações estruturais de antocianinas em meios ácidos. *Jornal da Sociedade Americana de Química*, 99 (5), 1359-1364.

Cassetari, L. D. (2012). Teores de clorofila e β -caroteno em cultivares e linharsalface. 67p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras.

Fakhouri, F. M., & Collares, F. P. (2006). Impact of drying conditions on the properties of biofilms based on gelatin and different types of corn and manioc starch. In *CONGRESSO IDS*.

Fang, Y., Al-Assaf, S., Phillips, G. O., Nishinari, K., Funami, T., & Williams, P. A. (2008). Binding behavior of calcium to polyuronates: comparison of pectin with alginate. *Carbohydrate Polymers*, 72(2), 334-341.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042.

Fossen, T., Cabrita, L., & Andersen, O. M. (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry*, 63(4), 435-440.

Furtado, M. M., & Lourenço Neto, J. D. M. (1994). Tecnologia de queijos: manual técnico para a produção industrial de queijos. *São Paulo: Dipemar*, 118, 81.

de Graaf, R. A., Karman, A. P., & Janssen, L. P. (2003). Material properties and glass transition temperatures of different thermoplastic starches after extrusion processing. *Starch-Stärke*, 55(2), 80-86.

He, F., Um, L., G-Liang Yan., Na-Na, L., Qiu-Hong, P., Wang, J., Reeves, M. J., Chang-Qing, D. (2015). *Molecules*, 15, 9057-9091.

Heins, A. (2001). Projetando composição de alimentos à medida de antocianinas. Em: *Phytoquímicos Biologicamente Ativos em Alimentos: Análise, Metabolismo, Biodisponibilidade e Função*, Pfannhauser, W., GR Fenwick e S. Khokhar (Eds.). *Royal Society of Chemistry*, 378-381.

Hong, S. I., & Park, W. S. (2000). Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 67-72.

Jacobs, J. A., Kilduff, T. F. (2005). *Engineering Materials Technology*, 5th edition, *Prentice Hall PTR*, Paramus, NJ.

Kong, J. M., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5), 923-933.

Labuza, T. P. (1984). Determinação de isotermas de sorção de umidade. Em: *Sorção de umidade: Aspectos práticos da medição e uso da isoterma*. *St. Paul, MN: Associação Americana de Químicos de Cereais*, 64-73.

Lopes, J., Ribeyre, C., & Nicolas, A. (2006). Complex minisatellite rearrangements generated in the total or partial absence of Rad27/hFEN1 activity occur in a single generation and are Rad51 and Rad52 dependent. *Molecular and cellular biology*, 26(17), 6675-6689.

Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2006). Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 453-460.

Mizubuti, I. Y., Ribeiro, E. L. D. A., Rocha, M. A. D., Silva, L. D. D. F. D., Pinto, A. P.,

Fernandes, W. C., & Rolim, M. A. (2002). Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e girassol (*Helianthus annuus* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(1), 267-272.

Morales, P., Barros, L., Dias, M. I., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C., Asquiere, E. R., & Berrios, J. D. J. (2016). Non-fermented and fermented jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. *Food chemistry*, 208, 220-227.

Osés, J., Fabregat-Vázquez, M., Pedroza-Islas, R., Tomás, S. A., Cruz-Orea, A., & Maté, J. I. (2009). Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering*, 92(1), 56-62.

Pacquit, A., Frisby, J., Diamond, D., Lau, K. T., Farrell, A., Quilty, B., & Diamond, D. (2007). Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food chemistry*, 102(2), 466-470.

Peixoto, F. M., Fernandes, I., Gouvêa, A. C. M., Santiago, M. C., Borguini, R. G., Mateus, N., ... & Ferreira, I. M. (2016). Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jabuticaba, jamelão and jambo fruits. *Journal of functional foods*, 24, 373-381.

Pereira, A.S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1 . Acesso em: 28 março 2020.

Stading, M., Hermansson, A. M., & Gatenholm, P. (1998). Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 36(2-3), 217-224.

Rodrigues, S., Fernandes, F. A., de Brito, E. S., Sousa, A. D., & Narain, N. (2015). Ultrasound extraction of phenolics and anthocyanins from jabuticaba peel. *Industrial Crops and Products*, 69, 400-407.

Rooney, M. L. (1995). Active packaging in polymer films. In *Active food packaging* (pp. 74-

110). Springer, Boston, MA.

Scannell, A. G., Hill, C., Ross, R. P., Marx, S., Hartmeier, W., & Arendt, E. K. (2000). Development of bioactive food packaging materials using immobilised bacteriocins Lacticin 3147 and Nisaplin®. *International journal of food microbiology*, 60(2-3), 241-249.

Talja, R. A., Helén, H., Roos, Y. H., & Jouppila, K. (2008). Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. *Carbohydrate Polymers*, 71(2), 269-276.

Tang, X., Alavi, S., & Herald, T. J. (2008). Effects of plasticizers on the structure and properties of starch–clay nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 552-558.

Teixeira, E. D. M. (2007). *Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Wurlitzer, N. J. (2007). Desenvolvimento e avaliação de propriedades físicas e antimicrobianas de filmes de poli (cloreto de vinilideno) incorporados com triclosan.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Marcella Fernandes Borges Sandre – 16%

Nayane Matias Silva – 12%

Samuel Viana Ferreira – 12%

Yasmine Ariadne Andrade Martins – 12%

Jéssica Silva Medeiros – 12%

Mariana Buranelo Egea – 12%

Marco Antônio Pereira da Silva – 12%

Edmar Soares Nicolau – 12%