



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia



**FILMES COMESTÍVEIS DE GUACAMOLE: RELAÇÕES ENTRE AS
PROPORÇÕES DOS COMPONENTES E AS PROPRIEDADES**

Matheus Carvalho de Matos*

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM BIOTECNOLOGIA do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora:

Profa. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo

* bolsista (CNPq) - 134100/2019-0

**São Carlos - SP
2022**

MATHEUS CARVALHO DE MATOS

“Filmes comestíveis de guacamole: Relações entre as proporções dos componentes e as propriedades”

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM BIOTECNOLOGIA do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora:

Profa. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo

BANCA EXAMINADORA

Dr. Rubens Bernardes Filho
Embrapa Instrumentação

Profa. Dra. Milena Martelli Tosi
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP

Profa. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo
Embrapa Agroindústria Tropical/ Embrapa Instrumentação

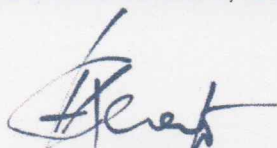
São Carlos
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

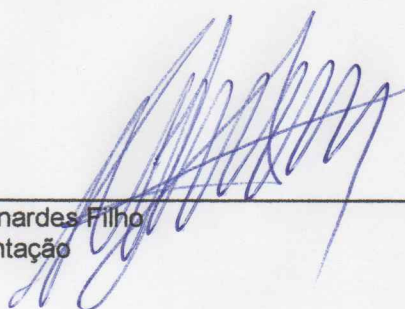
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Mestrado do candidato Matheus Carvalho de Matos, realizada em 16/03/2022:



Prof. Dra. Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo
Orientadora
EMBRAPA Instrumentação



Prof. Dr. Rubens Bernardes Filho
EMBRAPA Instrumentação



Prof. Dra. Milena Martelli Tosi
FFCLRP/USP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mim, meus amigos, pais e a todos os professores que já fizeram parte da minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais que primeiramente acreditaram em mim e fizeram o que havia ao seu alcance para me proporcionar mais oportunidades de sonhar e conquistar meus objetivos. Aos meus amigos Luís Fernando, John Álfef, Carolina Niro, Jovan e principalmente a Letícia Bueno que foram imprescindíveis para que este trabalho fosse concluído. Agradeço ao meu companheiro Lucas Martins que me impulsionou a acreditar em mim novamente e colaborou de diversas formas para o presente trabalho.

Agradeço exaustivamente a minha orientadora Dra. Henriette Azeredo, que me ensinou a aprimorar a qualidade de todo o trabalho científico e foi muito paciente. Tenho muito orgulho de ter trabalhado com esta pesquisadora. À EMBRAPA Instrumentação, ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da UFSCar e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que confiaram em mim para fazer possível todo o processo da pesquisa e mestrado.

E agradeço a mim também que várias vezes, com somente minha companhia, tive dificuldades que somente eu poderia resolver, e delicadamente, cuidei para que este sonho meu e de meus pais se cumprisse.

O presente trabalho foi realizado com apoio Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Carvalho de Matos, Matheus. **Filmes comestíveis de guacamole: Relações entre as proporções dos componentes e as propriedades**. 2022. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia – UFSCar, São Carlos, 2022.

RESUMO

A indústria de alimentos tem procurado desenvolver produtos que atendam aos requerimentos de consumidores, especialmente quanto aos aspectos sensoriais, de conveniência e saudabilidade. Em tempos em que a entrega de alimentos a domicílio tem sido tão frequente, alguns alimentos multicomponentes podem sofrer alterações de textura resultantes da migração de umidade entre componentes com alta diferença de atividade de água. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes de celulose bacteriana com guacamole, a ser consumido como *snack* ou como camada de barreira em alimentos multicomponentes, como tacos, pizzas e wraps, reduzindo a migração de água e evitando alterações de textura. Foram elaborados 10 filmes com diferentes proporções entre os componentes – a saber, matriz biopolimérica (formada por celulose bacteriana – CB - e carboximetilcelulose - CMC), plastificante (glicerol) e componente de sabor (guacamole), segundo um delineamento de misturas (centroide simplex). Os resultados mostraram potencial aplicabilidade dos filmes como camada de barreira à umidade, e a influência das proporções dos componentes sobre as propriedades mecânicas, a permeabilidade a vapor de água (PVA) e a hidrofobicidade de superfície. Os filmes com maiores proporções de matriz celulósica apresentaram menores valores de PVA, mostrando-se mais promissores. Um teste prospectivo de aplicação foi conduzido, em que o filme foi testado como camada de barreira entre nachos e molho de tomate, e a textura instrumental dos nachos foi testada após 50 min. O filme reduziu a perda de textura, indicando que reduziram a migração de umidade entre o molho e o nacho.

Palavras-chave: filmes comestíveis, polissacarídeos, biopolímeros, hidrofobicidade, abacate, crocância

Carvalho de Matos, Matheus. **Edible Guacamole Films: Relations between Component Proportions and Properties**. 2022. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Biotecnologia) – UFSCar, São Carlos, 2022.

ABSTRACT

The food industry has tried to develop products that meet the requirements of consumers, especially in terms of sensory and health aspects as well as convenience. In times when food delivery has been very frequent, some multicomponent foods may suffer texture changes from water migration between components with a high water activity difference. The present study aimed to develop and characterize edible films from bacterial cellulose and guacamole, to be consumed as a snack or applied as a water barrier layer in multicomponent foods such as tacos, pizzas, and wraps, reducing the water migration and avoiding texture changes. Ten films were produced with different proportions of biopolymeric matrix (bacterial cellulose – BC - and carboxymethyl cellulose - CMC), plasticizer (glycerol) and flavor component (guacamole), according to a simplex-centroid design. The results indicated the potential applicability of the films, as well as the influence of the component proportions on the tensile properties, the water vapor permeability (WVP) and the surface hydrophobicity. Films with higher proportions of cellulosic matrix presented lower WVP values, being more promising for the prospected application. An application test was carried out in which the film was tested as a barrier layer between nachos and tomato sauce, and the texture of the nachos was tested after 50 min. The film reduced the texture loss by the nachos, indicating that the water migration was decreased.

Keywords: edible films, polysaccharides, biopolymers, hydrophobicity, avocado, crunchiness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Capítulo 1 – Introdução	8
Figura 1. Diagrama ilustrativo com os componentes dos filmes (CB + CMC, glicerol e guacamole) a serem utilizados como componente de barreira a umidade em alimentos multicomponente	16
Capítulo 2 – Materiais e Métodos	16
Tabela 1. Ingredientes do guacamole	17
Figura 2. Guacamole homogeneizado em liquidificador	17
Tabela 2. Proporções pelo delineamento de misturas - Centróide simplex	19
Figura 3. Filme sendo destacado do substrato de <i>Mylar</i>	19
Figura 4. Procedimento experimental esquematizado para teste de crocância em nachos	22
Capítulo 3 – Resultados e Discussão	23
Tabela 3. Proporções entre os componentes para cada tratamento (segundo delineamento de misturas centróide simplex) e respostas	24
Tabela 4. Coeficientes de regressão (com base em pseudocomponentes)	24
Figura 5. Curvas de contorno referentes à força de cisalhamento. GUA: guacamole(sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol	26
Figura 6. Curvas de contorno referentes à permeabilidade a vapor de água. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol	27
Figura 7. Curvas de contorno referentes ao ângulo de contato em água (após 2s). GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol	27
Figura 8a. Microscopia da criofatura da formulação 2	29
Figura 8b. Microscopia da criofatura da formulação 2	29
Figura 9a. Microscopia da criofatura da formulação 3	30
Figura 9b. Microscopia da criofatura da formulação 3	30
Figura 10. Microscopia da superfície da formulação 2	31
Figura 11. Microscopia da superfície da formulação 3	31

Figura 12.	Curvas de contorno referentes à resistência à tração. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol	33
Figura 13.	Curvas de contorno referentes à elongação na ruptura. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol	33
Figura 14.	Fotografia dos filmes correspondentes às formulações 1-10	35
Figura 15.	Espectro de FTIR do guacamole e dos polissacarídeos CB e CMC	36
Figura 16.	Espectro de FTIR das principais formulações dos filmes	37
Tabela 5.	Bandas de FTIR de CMC, CB, guacamole e filmes de guacamole e CB	37
Figura 17.	Curvas TG das formulações filmogênicas	38
Figura 18.	Curvas dTG das formulações filmogênicas	38
Tabela 6.	Valores de perda de massa (%) em função da variação de temperatura (°C) das principais formulações (1, 2 e 3) e seus correspondentes eventos de degradação térmica	39
Tabela 7.	Tabela-resposta da análise de textura	41
Figura 19.	Gráfico do perfil médio de 3 tratamentos sobrepostos em Força (N) x Deslocamento (mm)	42
Capítulo 4 – Conclusões		43
Figura 20.	Fotografia ilustrativa do filme correspondente à formulação 2	44

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	8
1.1 Revisão Bibliográfica	9
1.1.1 Filmes comestíveis	9
1.1.2 Filmes comestíveis com polpas de frutas	11
1.1.3 Polissacarídeos como matrizes.....	12
1.1.4 Celulose bacteriana com matriz	13
1.1.5 Compostos hidrofóbicos em filmes	14
1.2 Objetivos	15
Capítulo 2 – Material e Métodos.....	16
2.1 Formação dos filmes.....	16
2.1.1 Preparo da celulose bacteriana (CB).....	16
2.1.2 Preparo do guacamole.....	16
2.1.3 Testes preliminares.....	18
2.1.4 Preparo da Matriz e secagem dos filmes.....	18
2.2 Caracterizações do guacamole, CB, CMC e dos filmes	19
2.3 Teste de Aplicabilidade	21
2.4 Análise estatística	22
Capítulo 3 - Resultados e Discussão	23
3.1 Caracterização dos filmes	23
3.1.1 Força de Cisalhamento, Permeabilidade a vapor de água, Ângulo de contato, Teor de Matéria Insolúvel, Microscopia Eletrônica de Varredura Ensaio de Tração.	23
3.1.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - ATR).....	35
3.1.3 Análise Termogravimétrica	37
3.2 Teste de Aplicabilidade	40
Capítulo 4 – Conclusões.....	43
Referências	45

Capítulo 1 – Introdução

Aliada a novas tecnologias criadas pela engenharia de alimentos, a biotecnologia contribui para que produtos advindos de organismos vivos possam servir para melhoria da qualidade de vida da população, como no caso de alimentos.

Com um mercado cada vez mais exigente, é imprescindível a busca por novas maneiras de melhorar os alimentos oferecidos à sociedade, que junto dela rapidamente se adapta a novas exigências e versatilidades demandadas pela população. Os serviços de entrega de alimentos em domicílio têm sido de crescente importância, particularmente nos últimos anos, em função do isolamento social imposto pela pandemia de COVID-19. Somente no estado de São Paulo houve um aumento de 29% no número de pedidos realizados por aplicativos devido ao endurecimento das medidas restritivas de distanciamento social (CNN BRASIL BUSINESS, 2021).

Um dos desafios dos serviços de entrega de alimentos é garantir que a qualidade dos alimentos não seja prejudicada pelo tempo transcorrido entre a elaboração do produto e o consumo. No caso particular de tacos mexicanos (que têm encontrado um crescente espaço no mercado brasileiro), um desafio é manter as tortilhas de milho crocantes após o contato prolongado com o recheio (geralmente contendo molhos). Devido ao gradiente de atividade de água, a tendência é de haver migração de parte da água contida nos molhos para a tortilha de milho prejudicando sua textura e podendo até mesmo desintegrar sua estrutura (ROUDAUT *et al.*, 1998)

Quando se trata da aceitação do consumidor e indicação da qualidade de textura, a crocância é um dos parâmetros descritivos mais utilizados pelos consumidores, estando frequentemente associado à qualidade de vários alimentos de baixa atividade de água, como biscoitos, cereais e vários snacks. Mesmo que outros atributos como sabor e cor sejam agradáveis ao consumidor, se a crocância não for percebida em alimentos onde ela é esperada, a rejeição é muito provável (SOUZA; MENEZES, 2006 e HOUGH *et al.*, 2001)

A fim de evitar essa rejeição do produto por parte do consumidor, alguns restaurantes de comida mexicana optam por não fazer entrega de tacos ou, quando a fazem, enviam os componentes separados para que o cliente monte os tacos em casa. Essa necessidade atrapalha a experiência do consumidor e traz à tona a

busca por uma ferramenta que solucione essa demanda, como por exemplo, a aplicação de filmes comestíveis como barreira entre os componentes alimentares.

Geralmente, filmes comestíveis tendem a ser transparentes e sem sabor para atuar como barreira sem influenciar a experiência sensorial do consumidor. Porém, em alguns casos, um apelo sensorial é desejável, como em filmes para tacos mexicanos, em que o apelo sensorial se torna um diferencial com diversas maneiras de explorar compostos que vão dar ao filme sabor, cor e aroma, e vão influenciar diretamente em suas propriedades mecânicas e de barreira a umidade. É uma possibilidade de inovação capaz de atender a este problema do mercado.

1.1 Revisão Bibliográfica

1.1.1 Filmes comestíveis

Filmes comestíveis podem ser definidos como uma fina camada de material que possa ser consumida e forneça uma barreira à umidade, oxigênio ou à entrada de solutos para o alimento (BOURTOOM, 2008). Ou segundo, Pavlath e Orts, 2009, qualquer material usado para cobrir diferentes tipos de alimentos (no caso dos revestimentos comestíveis) com objetivo de prolongar a vida útil dos produtos podendo ser consumido junto com os alimentos e proporcionar a substituição ou fortificação de camadas, a fim de evitar a perda de umidade ou troca de gases entre o alimento e a atmosfera, podem ser considerados filmes comestíveis.

Pesquisas com filmes e revestimentos comestíveis atualmente são feitas para diversas aplicações, como promover a melhor conservação de produtos hortifrutícolas, ou aumentando o tempo de prateleira de alguns produtos por meio de embalagens primárias (ajudando a embalagem convencional a cumprir sua função de proteção, ao mesmo tempo diminuindo a quantidade de polímeros não-biodegradáveis usados para cada aplicação), eles estendem o tempo de conservação de alguns produtos devido à sua capacidade de reduzir a troca de gases e de umidade entre o alimento e o espaço que o circunda, podendo trazer benefícios como a redução da proliferação de microrganismos na superfície ou evitando a oxidação ou perda de voláteis do alimento devido ao menor contato do mesmo com o ar atmosférico (HAN, 2014).

Os filmes também podem servir como carreadores de agentes antimicrobianos e antioxidantes ou até mesmo serem utilizados na superfície dos alimentos auxiliando no controle da taxa de difusão de substâncias conservantes da superfície para o interior do alimento (BOURTOOM, 2008). Ainda é possível utilizar filmes comestíveis como camadas entre componentes alimentares, criando barreiras a vapor de água, por exemplo, entre massas e recheios de pizzas, a fim de evitar migração de água com consequentes alterações de textura (OTONI *et al.*, 2017).

Além disso, as matrizes usadas em muitos filmes comestíveis têm ação de fibra alimentar, com conhecidos benefícios à saúde humana e recomendada em dietas saudáveis ou de controle de peso (ZOGHI, *et al.* 2020).

Filmes comestíveis devem ter somente componentes de grau alimentício em sua composição, sendo requeridos pelo menos dois componentes: uma matriz, composta por biomacromoléculas capazes de formar uma estrutura coesa, e um solvente para formar a dispersão (geralmente água). Os filmes comestíveis geralmente têm o objetivo de aumentar a estabilidade de um produto, reduzindo a permeação de vapor de água e/ou de oxigênio entre o produto e o ambiente circundante, ou mesmo entre partes de um produto multicomponente (como pizzas, sanduíches etc.).

Os componentes utilizados na preparação de filmes comestíveis podem ser classificados em três categorias: hidrocoloides (como proteínas, polissacarídeos e alginato); lipídeos (como ácidos graxos, acilglicerol e ceras); e compósitos. (BOURTOOM, 2008). Os principais componentes da nossa alimentação são capazes de atender aos requisitos na preparação de filmes comestíveis. De maneira generalizada, as gorduras são importantes para reduzir a migração de água; os polissacarídeos para controlar a migração de oxigênio e outros gases, enquanto as proteínas auxiliam na estabilidade mecânica. A depender do objetivo de aplicação desses filmes ou revestimentos, os atributos, concentrações e interações de cada componente irão influenciar nas propriedades físicas ou químicas desejadas. Filmes de proteínas têm baixa capacidade de prevenir a migração de umidade e gases, mas são ótimos proporcionadores de estabilidade estrutural, ou seja, trazem vantagens sobre essas propriedades físicas (exemplo, como invólucro para elo de salsicha). Os filmes de polissacarídeos são ótimos para minimizar o transporte de oxigênio, importante para prevenção da oxidação de alimentos. Enquanto as ceras são as melhores barreiras à umidade devido a sua hidrofobicidade e ainda retardam ou

impedem completamente a migração de outros gases (PAVLATH e ORTS, 2009). Dessa forma, tais macromoléculas podem servir como recursos a serem combinados na formação de filmes com propriedades desejadas, como flexibilidade, resistência mecânica ou como barreira de migração. Além disso, outros compostos orgânicos de grau alimentício como purês de frutas podem ser adicionados a fim de otimizar o desenvolvimento do filme ou revestimento desejado, trazendo maior quantidade de nutrientes e antioxidantes na dieta do consumidor.

1.1.2 Filmes comestíveis com polpas de frutas

Diversos trabalhos têm descrito o desenvolvimento de filmes utilizando-se sucos ou extratos de frutas, como Azeredo et al., 2009 ou McHugh & Senesi, 2000. E eles mostram que os polissacarídeos presentes em frutas podem trazer aos filmes: cor, sabor e aroma por meio de pigmentos e compostos voláteis que ao serem combinados com as propriedades mecânicas e de barreira da matriz principal podem resultar em excelentes filmes a depender de sua aplicação. Pois, esses açúcares podem atuar como plastificantes naturais, aumentando a mobilidade da cadeia polimérica. Por exemplo, nos trabalhos de Andrade et al., 2016 é mostrado o desenvolvimento filmes comestíveis homogêneos e flexíveis a base de laranja, maracujá, e melancia sem a necessidade da adição de plastificantes. Além disso, há vantagens econômicas que seu uso traz, pois este, pode ser o destino do reaproveitamento de subprodutos do processamento de frutas (VIANA *et al.*, 2018; AZEREDO et al., 2009). Plastificantes adicionados à composição dos filmes, a fim de alterar suas propriedades mecânicas, reduzem as forças intermoleculares e aumentam a mobilidade e volume da cadeia polimérica, pois são capazes de se posicionar entre as moléculas da matriz e interferir na interação polímero-polímero aumentando a distância entre essas moléculas, o que resulta no aumento de sua alongação e flexibilidade. No entanto, esse efeito ocorre às custas de diminuir a resistência do material à tração, interferindo em suas propriedades mecânicas, pois o plastificante diminui a razão entre porção cristalina e amorfa dos filmes (HAN, 2014).

De maneira geral, os resíduos vegetais são complexos e podem ter diferentes aplicações dependendo de sua origem, pois a fração e o tamanho das macromoléculas que os compõem irão servir influenciar especificamente em cada

aplicação, seja como fibra alimentar ou como componente principal na matriz dos filmes a serem produzidos (GALUS et al., 2020).

A adição da polpa do abacate por meio do guacamole adicionado nos filmes do presente trabalho pode trazer uma combinação importante nas propriedades de barreira dos filmes, pois sua composição majoritária de lipídeos auxiliam a matriz na função de barreira à umidade e podem influenciar positivamente na percepção sensorial do consumidor (DREHER e DAVENPOR, 2013).

Dentre as diversas inovações para alimentos nas mais variadas aplicações tecnológicas que um filme comestível como componente de barreira pode ter, o guacamole tornou-se um importante investimento de apelo sensorial devido à sua aceitação pela população, que cada vez mais, está consumindo mais produtos da culinária mexicana. Segundo *Statista Research Department*, somente nos EUA, 238,27 milhões de pessoas consumiram comida mexicana ou seus ingredientes somente no ano de 2020 (STATISTA, 2021). Estima-se que, em 2020, havia 65 000 restaurantes de comida mexicana nos EUA. Eles já representam 7% de todos os restaurantes daquele país e movimentaram cerca de US \$ 2.876 bilhões em agosto de 2020 (CHDEXPERT, 2020). No Brasil, empresas de *fast-foods* mexicanos como Taco Bell, Rints e Mexcla investem grandemente na expansão do número de seus restaurantes. Somente no ano de 2017, foram 18 novas unidades da rede Taco Bell, enquanto a Rints estimou investimentos de R\$ 100 milhões com a abertura de 150 lojas até o fim de 2022 (VEJA SÃO PAULO, 2017).

1.1.3 Polissacarídeos como matrizes

As características dos materiais a serem utilizados para a formação dos filmes são influenciados por uma série de fatores, como a fonte do biopolímero, a organização estrutural da cadeia, o tipo de processamento, grau de reticulação e cristalinidade do material. Logo torna-se importante o estudo tanto das características físicas quanto as propriedades funcionais do material para cada aplicação proposta (GALUS et al., 2020).

Geralmente os polissacarídeos utilizados na formação de filmes comestíveis são derivados de celulose, alginato, algas marinhas, amido ou gomas de fermentação. E apesar de sua natureza hidrofílica, sugerindo sutis propriedades como barreira à umidade e à gases, os filmes de polissacarídeos (exemplo,

carragenina e alginato) podem atuar com “agentes de sacrifício” em vez de barreira, prevenindo a migração de água e retardando a perda de umidade de produtos alimentícios. (BOURTOOM, 2008; PAVLATH e ORTS, 2009).

A celulose possui boas características de formação de filmes geralmente resultando em filmes, flexíveis e de resistência moderada, resistentes a óleos e gorduras. Porém, apresentam resistência moderada à umidade e à transmissão de oxigênio. Enquanto os filmes de quitosana, obtida a partir da desacetilação da quitina, são interessantes na produção de revestimentos semipermeáveis usadas no retardamento do amadurecimento de frutas e legumes, funcionando como boas barreiras ao oxigênio. Os filmes de amido por sua vez, são interessantes por serem feitos por um polissacarídeo de baixo custo já frequentemente utilizado pela indústria, com boas propriedades mecânicas e mostraram serem resistentes a permeabilidade de oxigênio com ou sem adição de plastificante glicerol (BOURTOOM, 2008).

1.1.4 Celulose bacteriana com matriz

Dentre as possíveis matrizes poliméricas de polissacarídeos geralmente utilizadas para a formação dos filmes, como o amido e a quitosana, existe a celulose bacteriana (CB) que assim como as celuloses vegetais, é um polímero formado por cadeias homogêneas e lineares de moléculas de β -glicoses com ligações β -1,4-glicosídicas (CAMPBELL, 2015; CAZÓN et al. 2017). Porém, em contraste com a celulose formada pelas plantas, a CB tem um menor diâmetro de suas fibras que atribui a ela maior área de superfície, resultando em propriedades mecânicas superiores como alta resistência mecânica e biocompatibilidade, além de ser produzida sem a presença de outros compostos, como lignina, pectina e hemicelulose dispensando, portanto, a necessidade de tratamentos mecânicos e enzimáticos ou a utilização de agentes químicos agressivos para sua purificação. A CB é produzida por bactérias de diversos gêneros, como *Acetobacter*, *Agrobacterium* e *Pseudomonas*. Porém a espécie mais utilizada em estudos com alto rendimento de produção são as bactérias gram-negativas do gênero *Komagataeibacter xyliunus*, capazes de produzir celulose pura extracelularmente, na forma de uma película constituída por uma rede tridimensional de cadeias de celulose (CAZÓN et al. 2020; DUARTE, 2019; PICHETH, 2017).

Para melhorar a manipulação, transporte, processamento e a variedade de propostas em que a CB pode ser aplicada, é mais conveniente seu uso na forma de pó. Para isso, é necessário o uso de processos físicos como homogeneização de alta pressão, moagem ou ultrassonicação, resultando na sua desagregação mecânica. Além disso, durante a secagem de celulose, acontece um processo conhecido como “hornificação” (*hornification*), em que sua capacidade de reter água é reduzida devido à formação de uma malha cruzada entre as microfibrilas da celulose, pois há a formação de ligações de hidrogênio e interações de van der Waals durante a secagem, criando agregados que resistem às forças de expansão durante a reidratação, tornando-a predominantemente insolúvel em água e dificultando sua homogeneização nas dispersões que a contém (SALMÉN e STEVANIC, 2018). Para evitar a hornificação, pode ser feita a incorporação de cargas elétricas ao meio por meio de um outro tipo de glicosídeo, a carboximetilcelulose (CMC), que é um polissacarídeo aniônico linear e solúvel em água, usado para reduzir as interações fibra-fibra, aumentando a carga de superfície e o espaço entre as moléculas, resultando em uma melhor estabilidade coloidal em suas dispersões de CB+CMC (SILVA-CARVALHO, 2019).

1.1.5 Compostos hidrofóbicos em filmes

A grande vantagem dos revestimentos lipídicos é que devido à sua baixa polaridade são capazes de minimizar a migração de umidade, porém, geralmente formam filmes espessos e quebradiços e sua adesão em superfícies hidrofílicas como a de legumes e frutas cortadas é fraca, e por isso frequentemente são associados a outros componentes formadores de filmes, como os derivados de celulose ou proteínas. Dessa forma, a combinação de polissacarídeos e compostos hidrofóbicos são promissoras para o desenvolvimento de filmes com boa resistência mecânica e barreira à umidade (BOURTOOM, 2008). A exemplo da combinação dessas macromoléculas, existem os trabalhos de Pavlath et al., 1993 e Wong et al., 1994, em que foram utilizadas gorduras e polissacarídeos emulsionados por proteína (caseína), para produzir um revestimento capaz de reduzir as perdas de umidade de fatias de maçã em 75% em relação às fatias não revestidas, nesse trabalho eles sugerem que a proteína foi capaz de fornecer uma ponte entre o composto hidrofílico (alginato) e o lipídio hidrofóbico, melhorando a capacidade de

adesão do revestimento em superfícies hidrofílicas como as das maçãs (PAVLATH e ORTS, 2009).

Dessa forma, ao adicionar substâncias hidrofóbicas à composição dos filmes, é possível observar o aumento da hidrofobicidade de superfície dos filmes melhorando sua resistência à umidade e diminuindo a permeabilidade a vapor de água em filmes que servem como componente de barreira (OTONI *et al.*, 2017; SITOMPUL e ZUBAIDAH, 2017). Como nos trabalhos de L Indrarti e Indriyati 2017, em que a adição de óleo essencial de limão a filmes de celulose bacteriana melhoraram as propriedades de barreira dos filmes reduzindo a permeabilidade a vapor de água dos mesmos em comparação a dos filmes controle.

O guacamole, além de responder pelo apelo sensorial, pode ser considerado um componente que deve contribuir positivamente para a barreira a vapor de água, graças à característica hidrofóbica da polpa do abacate, conferido por seu teor de cerca de 15,4% em lipídios (DREHER e DAVENPOR, 2013). Dessa forma, levantou-se a hipótese de que a combinação adequada entre uma matriz polissacarídica e um componente de característica hidrofóbica (guacamole) resulte em um filme com apelo sensorial, boas propriedades mecânicas e boa barreira a vapor de água, de modo a agir como barreira a umidade em alimentos multicomponentes (como tacos, sanduíches e pizzas).

1.2 Objetivos

Como ilustrado no diagrama abaixo (Figura 1), o objetivo deste trabalho é desenvolver e caracterizar filmes comestíveis de celulose bacteriana com guacamole, visando uma possível aplicação entre os nachos e o recheio de tacos mexicanos que principalmente, em casos de comida entregue em domicílio, perdem sua crocância após absorverem umidade do recheio, resultando na perda de sua qualidade sensorial ou mesmo em desintegração dos tacos.

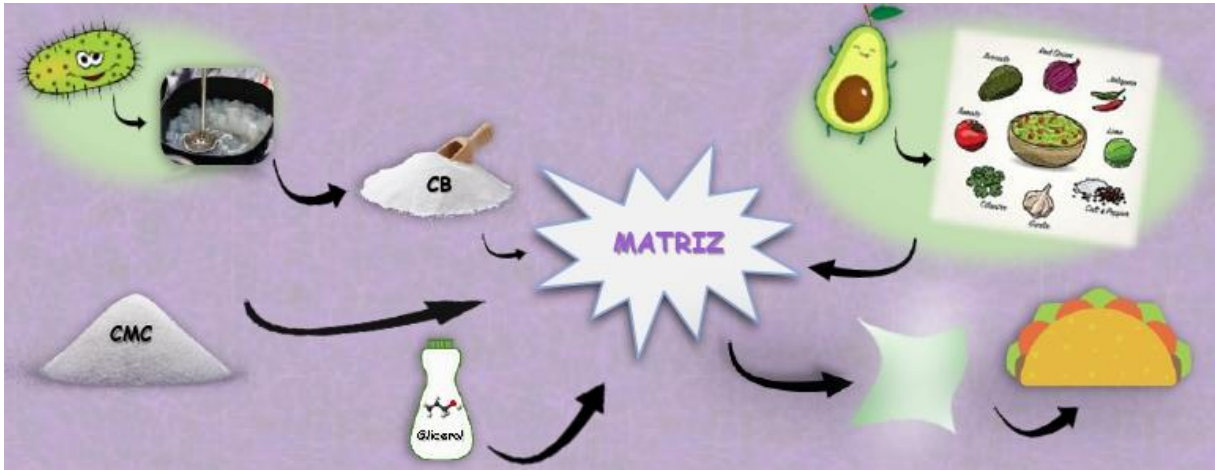


Figura 1. Diagrama ilustrativo com os componentes dos filmes (CB + CMC, glicerol e guacamole) a serem utilizados como componente de barreira a umidade em alimentos multicomponente.

Capítulo 2 – Material e Métodos

2.1 Formação dos filmes

2.1.1 Preparo da celulose bacteriana (CB)

Cedidas pelo grupo empresarial Seven (Londrina, PR) e previamente purificadas e esterilizadas pela empresa, as folhas de CB foram submetidas a processos de trituração em moinho de facas A11 (IKA A11) e posteriormente pulverizadas em um moinho de alta rotação a 380 rpm durante 20 minutos. (SERVITECH - CT-241).

2.1.2 Preparo do guacamole

O guacamole foi feito em um único lote, conforme as proporções indicadas na Tabela 1, mantendo suas proporcionalidades para a produção da quantidade de guacamole necessário para formulação de todos os filmes.

Todos os ingredientes foram homogeneizados em liquidificador (Figura 2) por 5 minutos e armazenados em porções menores de 120 g a cerca de -25°C.

Durante os testes preliminares e para evitar o escurecimento enzimático dos filmes (devido à ação da enzima polifenol oxidase – PPO - presente no abacate), aqueceu-se o guacamole a 90°C por 5 minutos, porém ficou evidente um sabor

amargo. E segundo os estudos de Degenhardt et al. (2010), isso ocorreu devido a oxidação lipídica de moléculas precursoras de oxilipinas em oxilipinas durante o aquecimento, conferindo o sabor amargo desagradável. Devido a isso, foi utilizada uma maior concentração de suco de limão nos componentes do guacamole, para que o baixo pH do suco auxiliasse na inibição da atividade da enzima PPO (Concentração de suco de limão já atualizada na tabela 1) (TOLEDO E AGUIRRE, 2017). Devido a essa característica e conclusões dos testes preliminares, foi feito o controle da temperatura de todo o processo de produção dos filmes para que a dispersão filmogênica não ultrapassasse 40°C durante a homogeneização ou durante a secagem.

Tabela 1. Ingredientes do guacamole

Ingrediente	Massa (g)
Polpa de abacate maduro	375
Tomate salada inteiro	100
Cebola branca	75
Coentro	3
Sal iodado	4
Molho de pimenta (<i>tabasco tradicional</i>)	2
Suco de limão (Taiti)	50



Figura 2. Guacamole homogeneizado em liquidificador.

2.1.3 Testes preliminares

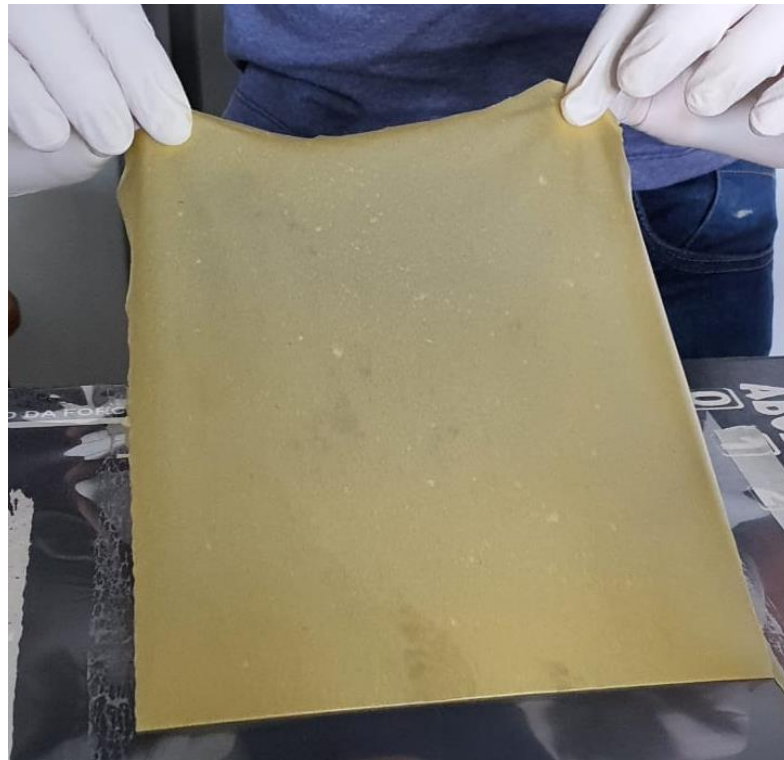
Foram feitos testes preliminares a fim de se estabelecer e otimizar uma metodologia de formação de filmes que resultasse em películas coesas sem bolhas aparentes com distribuição homogênea de seus componentes e de sabor agradável. Houve formulações sem a utilização de plastificantes ou com diferentes períodos de homogeneização e degaseificação, porém resultaram em filmes rígidos e quebradiços ou com descontinuidades. Os valores de tempo, temperatura e proporção média dos componentes foram ajustados e descritos na secção 2.1.4.

2.1.4 Preparo da Matriz e secagem dos filmes

O pó de CB obtido foi adicionado em solução aquosa com CMC (SIGMA, Código 419303) em uma proporção mássica CB:CMC de 5:1 (proporção definida segundo o trabalho de Silva-Carvalho *et. al*, 2019 e testes preliminares do grupo de pesquisa) e plastificante glicerol (Ls Chemicals). As dispersões (4% de polissacarídeos/água) foram homogeneizadas em Ultra-Turrax T18 (IKA) a 24.000 rpm por dois períodos de 15 min intercalados por uma pausa de 5 min, sob banho de gelo, para evitar o aquecimento da dispersão. Após esse procedimento, foi adicionado o guacamole, e a dispersão foi homogeneizada em Ultra-Turrax novamente por dois períodos de 5 min intercalados por uma pausa de 5 min, sob banho de gelo, e uso de termômetro, a fim de monitorar a temperatura da dispersão evitando níveis a cima de 40°C. A proporção de cada componente seguiu o delineamento apresentado na Tabela 2. Após homogeneização, o material foi degaseificado com uso de kitassato e bomba a vácuo de diafragma D-LAB (Edwards), a 800 mbar por 90 min, e depositado sobre placas com o substrato de poliéster (*Mylar*), espalhado com o uso de barra de *casting* de 20 cm de largura padronizada para 2 mm de espessura, e seco em estufa com circulação de ar SL-223 (SOLAB) a 30°C, após 24 h foi destacado do mylar (figura 3), identificado e armazenado em câmara climatizada a 25°C a 50% UR.

Tabela 2. Proporções pelo delineamento de misturas - Centróide simplex.

Tratamento	Guacamole	CB + CMC	Glicerol
1	0,45	0,3	0,25
2	0,3	0,45	0,25
3	0,3	0,3	0,4
4	0,375	0,375	0,25
5	0,375	0,3	0,325
6	0,3	0,375	0,325
7	0,35	0,35	0,3
8	0,4	0,325	0,275
9	0,325	0,4	0,275
10	0,325	0,325	0,35

**Figura 3.** Filme sendo destacado do substrato de *Mylar*.

2.2 Caracterizações do guacamole, CB, CMC e dos filmes

Os filmes foram destacados do substrato, tiveram suas faces (em contato com ar ou com o substrato, durante a secagem) devidamente identificadas, e foram cortados conforme o tamanho da amostra para a análise proposta. A espessura dos filmes foi determinada calculando-se a média de 10 medições para cada amostra através de medidor de espessura AKROM, KR1250 (margem de erro: $\pm 1 \mu\text{m}$) e os

mesmos foram condicionados por pelo menos 40 h a 25°C a 50% UR em uma câmara climatizada, (Ethik Technology, 420-CLDTS) antes de serem submetidos aos seguintes testes:

- Permeabilidade a vapor de água (PVA), feita por gravimetria (método E96-10, ASTM, 2010b), com 8 replicatas, em câmara climática a 50% UR e 25°C, usando células de permeação de acrílico com 2,4 cm de diâmetro contendo 1,5 mL de água ultrapura.
- Teor de matéria insolúvel, determinada pelo teor de matéria seca mantida após 24h de imersão em água, segundo método utilizado por Pena-Serna e Lopes-Filho (2013) com modificações. O ensaio foi feito em 4 replicatas para cada formulação, com amostras de cerca de 1 g secas em estufa a 105°C por 24 h, pesadas (massa inicial, m_i) e imersas em 50 mL de água destilada a 25°C por 24h sob agitação em shaker orbital SL-223 (SOLAB) a 100 rpm. Após a imersão, as amostras foram retiradas e secas nas mesmas condições iniciais. Após secagem, os filmes foram acondicionados por 1h em dessecador antes da última pesagem (massa final, m_f). O teor de matéria insolúvel (MI) foi determinado por uma porcentagem do peso da matéria seca inicial:

$$MI = (m_f \div m_i) \times 100$$

- Ensaio de tração, para medir tensão na ruptura (σ), alongação na ruptura (ϵ), e módulo de elasticidade (E - coeficiente angular da porção linear da curva tensão x deformação) foram feitos segundo método D882-10 (ASTM, 2010a), em máquina universal Emic DL-3000, com célula de carga de 100 N em 12 replicatas com corpos de prova de 125 mm x 12,5 mm, separação inicial entre as garras de 100 mm e velocidade de deformação de 12,5 mm/min.
- Análise da força de cisalhamento foi feito em texturômetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Reino Unido), com lâmina Knife Edge e base de fenda (HDP/BS, Stable Micro Systems Ltd.), em velocidade 2 mm.s⁻¹ (LIN; HUANG, 2003). O resultado foi medido em Newtowns (N) representando o valor da força máxima necessária para o rompimento transversal do filme, o ensaio foi

realizado em 5 replicatas utilizando-se fitas de 5 cm x 1 cm para cada formulação.

- Hidrofobicidade de superfície. Os ângulos de contato estático da água com os filmes foram determinados com um medidor de ângulo de contato óptico CAM 101 (KSV Instruments) equipado com uma câmera digital CCD KSV-5000, pelo método da gota séssil. Cada medição foi conduzida depositando 4 μL de água ultrapura na superfície do filme, especificamente sobre o lado do filme que secou em contato com o ar. Foram feitas medidas para cada amostra e 40 imagens foram registradas automaticamente em um intervalo de tempo experimental de aproximadamente 3s. Foram feitas pelo menos três replicatas e os valores apresentados são referentes ao ângulo de contato após 2 s de contato com a água.
- Análise termogravimétrica (TGA), (TA Instruments - Q500) temperatura de 0-850°C, 10°C/min, sob atmosfera de O₂;
- Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - ATR), feita em espectrômetro Vertex 70 (Bruker), na faixa de 4000 a 500 cm^{-1} , em 32 scans e resolução espectral de 4 cm^{-1} na CB, CMC e no guacamole (Liofilizado previamente em Liotop L-101 a -41 °C por 72 h, a fim de evitar interferências pela presença de água) e nas 10 formulações de filmes.
- Microscopia eletrônica de varredura em microscópio JSM-6510 (JEOL) nas superfícies das faces que foram secas em contato com o ar e das criofraturas para avaliar as interações entre os componentes. As criofraturas foram feitas após o congelamento sob banho de nitrogênio líquido e as amostras foram recobertas com ouro em Sputter Coater SCD 050 (LEICA) utilizando corrente de 40 mA por 60s e mantidas em dessecador até serem analisadas. Foram feitas imagens das microscopias de superfície em 3 aumentos 230X, 650X e 3500X. E das criofraturas em 100X, 200X e 350X.

2.3 Teste de Aplicabilidade

A melhor formulação foi avaliada como componente de barreira à umidade em nachos, por meio de análise de textura de nachos em texturômetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Reino Unido), com lâmina Knife Edge TA-42 (3 mm de espessura e 68 mm de largura) e base de fenda (HDP/BS, Stable Micro Systems

Ltd.), em velocidade 2 mm.s^{-1} , em 7 replicatas (LIN; HUANG, 2003), seguindo o procedimento experimental esquematizado na figura 4, em que salgadinhos (nachos) de milho com queijo (Doritos® - PEPSICO) de um mesmo lote foram divididos em 3 tratamentos, a saber: controle (sem filme ou molho), cobertos com cerca de 2 g de molho de tomate (Pomarola Tradicional, Cargill Brasil), cobertos com uma amostra de filme, por sua vez coberta com o molho. Os nachos foram deixados por 50 min em contato com o molho ou conjunto filme + molho. Os valores de força, deslocamento e o perfil da área sob a curva foram registrados utilizando o *software Texture Exponent lite*. (SALVADOR et al. 2009; TAIWO e BAIK, 2007).

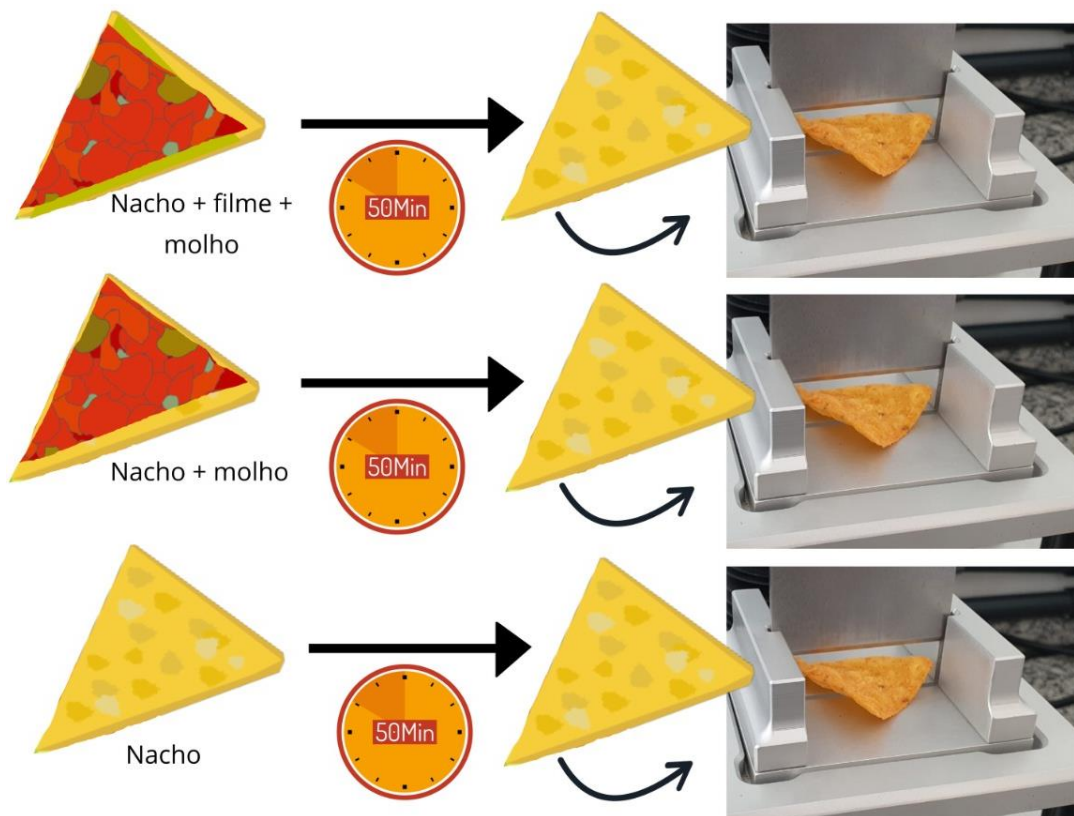


Figura 4. Procedimento experimental esquematizado para teste de textura em nachos.

2.4 Análise estatística

Os modelos foram construídos e analisados usando o *software* Minitab 19, segundo o delineamento de misturas centroide simplex e o ajuste do modelo foi feito em termos de pseudocomponentes. As respostas médias para cada tratamento foram ainda comparadas entre si por meio de testes de Tukey. E a partir disso, foi

estabelecida qual é a melhor formulação para a produção dos filmes de CB com guacamole com as melhores propriedades mecânicas e de barreira a umidade para o teste de aplicação. Os gráficos do teste de aplicação foram construídos e analisados utilizando o *software* OriginLab 2018.

Capítulo 3 - Resultados e Discussão

3.1 Caracterização dos filmes

3.1.1 Força de Cisalhamento, Permeabilidade a vapor de água, Ângulo de contato, Teor de Matéria Insolúvel, Microscopia Eletrônica de Varredura Ensaio de Tração.

A Tabela 3 apresenta as condições (proporções entre componentes) dos tratamentos e os valores das respectivas respostas, acompanhados do teste de Tukey.

Para que fosse possível analisar os resultados de força de cisalhamento (**CIS**), ensaio de tração ($\sigma - \epsilon - E$) permeabilidade a vapor de água (**PVA**), hidrofobicidade de superfície (ângulo de contato em água - **ACA**) e teor de matéria insolúvel (**MI**) em função das diferenças entre as formulações, foram elaboradas as representações gráficas de curvas de contorno baseadas nos coeficientes de regressão do modelo de delineamento de misturas, centroide simplex, em função das proporções de guacamole, matriz e glicerol. Nas figuras 5, 6, 7, 8 e 9 são apresentadas as curvas de contorno relativas às propriedades analisadas e a Tabela 4 apresenta os correspondentes coeficientes de regressão com base nos pseudocomponentes.

Tabela 3. Proporções entre os componentes para cada tratamento (segundo delineamento de misturas centroide simplex) e respostas.

Tratamento	Proporções entre componentes (%)			CIS	σ	ϵ	E	PVA	ACA	MI
	GUA	PS	GLI							
1	45	30	25	7,60 ^a	0,71 ^{ab}	21,45 ^{bcd}	29,73	2,22 ^{bc}	35,12 ^a	62,98
2	30	45	25	4,63 ^c	0,92 ^a	18,84 ^{cd}	33,64	1,88 ^d	26,29	67,44
3	30	30	40	4,40 ^{cd}	0,70 ^{ab}	28,39 ^a	28,13	3,47 ^a	27,03 ^{ab}	64,56
4	37,5	37,5	25	8,03 ^a	0,79 ^{ab}	23,51 ^{bc}	31,29	2,28 ^{bc}	31,60 ^{ab}	67,31
5	37,5	30	32,5	1,96 ^e	0,60 ^b	18,16 ^d	22,20	3,28 ^a	27,98 ^{ab}	72,84
6	30	37,5	32,5	6,73 ^b	0,73 ^{ab}	24,84 ^{ab}	30,03	2,15 ^{bcd}	26,29 ^b	72,33
7	35	35	30	2,27 ^e	0,65 ^{ab}	20,70 ^{bcd}	31,02	2,38 ^b	27,40 ^{ab}	64,33
8	40	32,5	27,5	3,49 ^d	0,72 ^{ab}	18,03 ^d	28,34	2,37 ^b	34,41 ^a	63,83
9	32,5	40	27,5	4,74 ^c	0,82 ^{ab}	19,70 ^{cd}	32,89	2,05 ^{cd}	28,26 ^{ab}	65,94
10	32,5	32,5	35	2,03 ^e	0,66 ^{ab}	21,79 ^{bcd}	31,10	3,33 ^a	27,80 ^{ab}	65,22

GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol; CIS: Força de cisalhamento (N); σ : resistência à tração (MPa); ϵ : alongação na ruptura (%); E: módulo elástico (MPa); PVA: permeabilidade a vapor de água (g.mm.kPa-1.h-1.m-2); ACA: ângulo de contato em água, após 2 s ($^{\circ}$); MI: teor de matéria insolúvel (%). Para cada resposta, valores seguidos por pelo menos uma letra em comum (ou não seguidos por letras) não diferem significativamente entre si ($P>0,05$).

Tabela 4. Coeficientes de regressão (com base em pseudocomponentes).

Termo	PROPRIEDADE						
	CIS	σ	ϵ	E	PVA	ACA	MI
GUA	7,70	0,72	21,30	29,16	2,167	35,73	63,36
PS	4,90	0,93	18,78	33,24	1,878	26,16	68,04
GLI	4,51	0,70	28,52	28,57	3,578	27,04	64,72
GUA * PS	1,59	-0,11	8,82	5,20	0,558	4,81	-7,4
GUA * GLI	-22,58	-0,42	-31,31	-18,5	1,595	-10,88	19,6
PS * GLI	2,82	-0,35	0,80	5,4	-2,158	-0,53	9,1
R ² (%)	78,48	95,70	91,07	75,40	94,07	89,91	35,84
F	2,92	17,82	8,16	2,45	12,69	7,13	0,45
p	0,16	<0,01	0,03	0,20	0,01	0,04	0,80

GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol; CIS: Força de cisalhamento; σ : resistência à tração (MPa); ϵ : alongação na ruptura (%); E: módulo elástico (MPa); PVA: permeabilidade a vapor de água (g.mm.kPa-1.h-1.m-2); ACA: ângulo de contato em água, após 2 s ($^{\circ}$); MI: teor de matéria insolúvel (%). Coeficientes de interações em negrito foram estatisticamente significativos ($p<0,05$).

A análise de força de cisalhamento é responsável por identificar a força necessária para romper transversalmente um fragmento de cada formulação dos

filmes. Essa propriedade é relevante para aceitação sensorial do filme, pois a fraturabilidade do produto está associada a força da mordida inicial, dos dentes incisivos, para rompimento do filme durante o seu consumo. Tal simulação é feita usando uma lâmina de faca fazendo um corte perpendicular do filme e registrado seu pico de força (BLOG EXTRALAB, 2017; PAULA; CONTI-SILVA, 2014).

O modelo de regressão apresentado para o teor de matéria solúvel, módulo de elasticidade e para o teste de força de cisalhamento não foi estatisticamente significativo ($p > 0,05$). Apesar disso, o teste Tukey mostrou que os filmes com maiores proporções de matriz ou guacamole apresentaram maior resistência à força de cisalhamento com diferença significativa ($p < 0,05$) em relação aos que tiveram menores proporções desses componentes. Isso se deve provavelmente a reforços na microestrutura da matriz devido à presença de fibras dos componentes do guacamole e polissacarídeos como hemiceluloses e lignina presentes no filme, aumentando a resistência ao corte. A semelhança na estrutura dessas moléculas e da matriz favorecem a diminuição do espaço entre as fibras resultando em uma maior resistência à força de cisalhamento. Além da matriz celulósica, o guacamole é feito com vegetais como cebola, coentro, pimenta e abacate, que têm em sua composição polissacarídeos e lignina, conferindo auxílio na resistência do filme ao corte (VIANA *et al.* 2018; INDRIYATI *et al.* 2021). A presença dessas moléculas pode ser confirmada também pela medida de FTIR feito nos filmes, que apresentou vibrações de grupamentos funcionais específicos para hemiceluloses e lignina (1074 cm^{-1} e 1245 cm^{-1}), e em maior intensidade, no guacamole, o que sugere a origem dessas moléculas nos filmes (LOPES *et al.* 2018). Para os resultados de teor de matéria insolúvel (MI), e para o módulo de elasticidade (E) o teste Tukey realizado mostrou que não houve diferença significativa entre as formulações ($p > 0,05$), com valores próximos a 67% de matéria insolúvel e módulo de elasticidade em cerca de 29,84 MPa para todas as formulações.

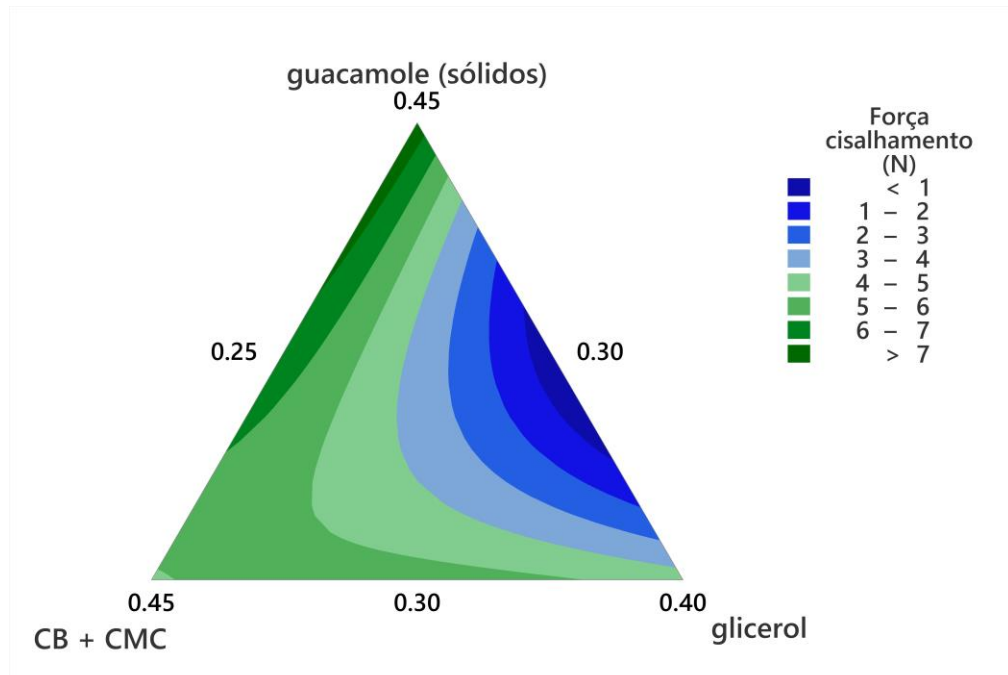


Figura 5. Curvas de contorno referentes à força de cisalhamento. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol.

Dentre os coeficientes de interação para o teste de cisalhamento apresentados na tabela 4, foi observada interação negativa (-22,58) entre os fatores guacamole e glicerol, indicando que esses componentes tiveram efeitos antagônicos, ou seja, o valor de força de cisalhamento obtido pela interação entre ambos é menor do que o que seria obtido pela simples média das respostas dos componentes puros.

Por meio do resultado da análise de permeabilidade a vapor de água e hidrofobicidade de superfície dos filmes é possível indicar a formulação com as características mais desejadas para utilização como barreira de umidade, pois com base na aplicação dos filmes, buscou-se determinar o filme com menores valores de permeabilidade a umidade e maiores valores de hidrofobicidade de superfície. Os modelos de regressão apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9 foram significativos para PVA, ACA, resistência a tração (RT) e alongação na ruptura (ER) ($p < 0,05$) com coeficiente de determinação R^2 em cerca de 90% (Tabela 4).

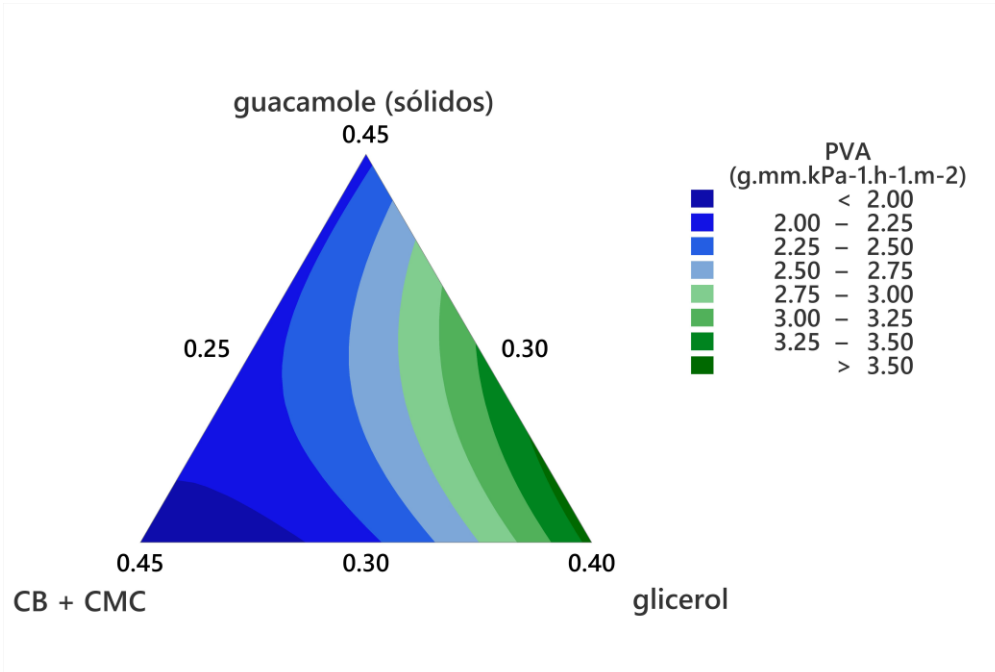


Figura 6. Curvas de contorno referentes à permeabilidade a vapor de água.
GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol.

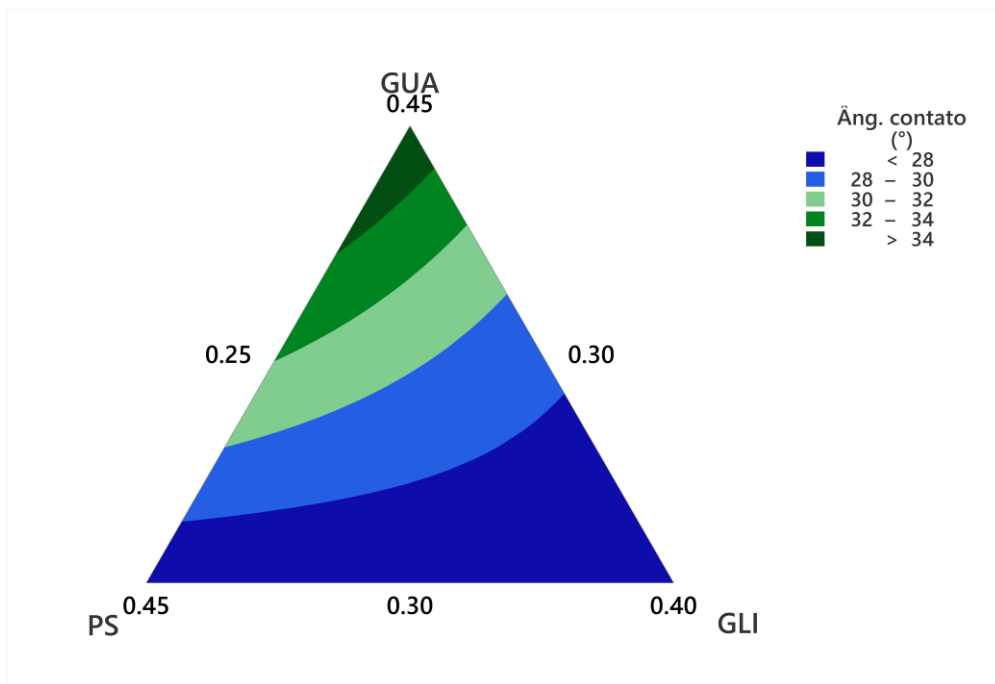


Figura 7. Curvas de contorno referentes ao ângulo de contato em água (após 2s).
GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol.

Visualizando as figuras 6 e 7 dos modelos de regressão para os testes de PVA e ACA, é visível um perfil decrescente de permeabilidade a vapor de água nos filmes conforme ocorrem maiores proporções de matriz em suas composições. Enquanto para o ângulo de contato, observou-se uma tendência de aumento dos

ângulos conforme maiores quantidades de guacamole na formulação. Tal hidrofobicidade pode ser proveniente dos lipídeos, que, segundo DREHER e DAVENPORT (2013), estão presentes em polpa de abacate em torno de 15,4%, sendo 71% monoinsaturados, 13% poliinsaturados e 16% saturados.

Porém, se por um lado o guacamole auxilia para minimizar a permeabilidade a vapor de água devido à hidrofobicidade provinda dos lipídeos da polpa do abacate, por outro provoca descontinuidades nos filmes devido à presença das fibras de seus componentes (observáveis nas microscopias de superfícies – figura 10) que, aliados a influência do plastificante glicerol, de natureza altamente hidrofílica, aumentam o espaço entre as moléculas da matriz, diminuindo a compactação dos filmes e aumentando a difusividade de toda a estrutura filmogênica (MUSCAT *et al.*, 2012). Além disso, existe o risco de outras descontinuidades ocorrerem em um filme devido a possível diferença de polaridade resultante da adição de um componente hidrofóbico em uma matriz hidrofílica (NIRO *et al.* 2021). Como nos trabalhos de Fasihi *et al.*, 2017 que sugerem que a adição de 0,5% de óleo essencial de alecrim em filmes de PVA e CMC provocou alguns poros e orifícios na estrutura filmogênica.

Dessa forma, a coesão estrutural dos filmes com maiores proporções de matriz, dá mais vantagens para eles como barreira à umidade devido a melhor compactação de sua estrutura. Devido a isso, foi definido que os filmes feitos utilizando as proporções da formulação 2, são os melhores para o teste de aplicabilidade.

Por meio das micrografias das criofraturas e superfícies (figuras 8a, 8b, 9a, 9b, 10 e 11) obtidas nos ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) é possível comparar as formulações 2 e 3 que tiveram, respectivamente, a menor e a maior permeabilidade a vapor de água.

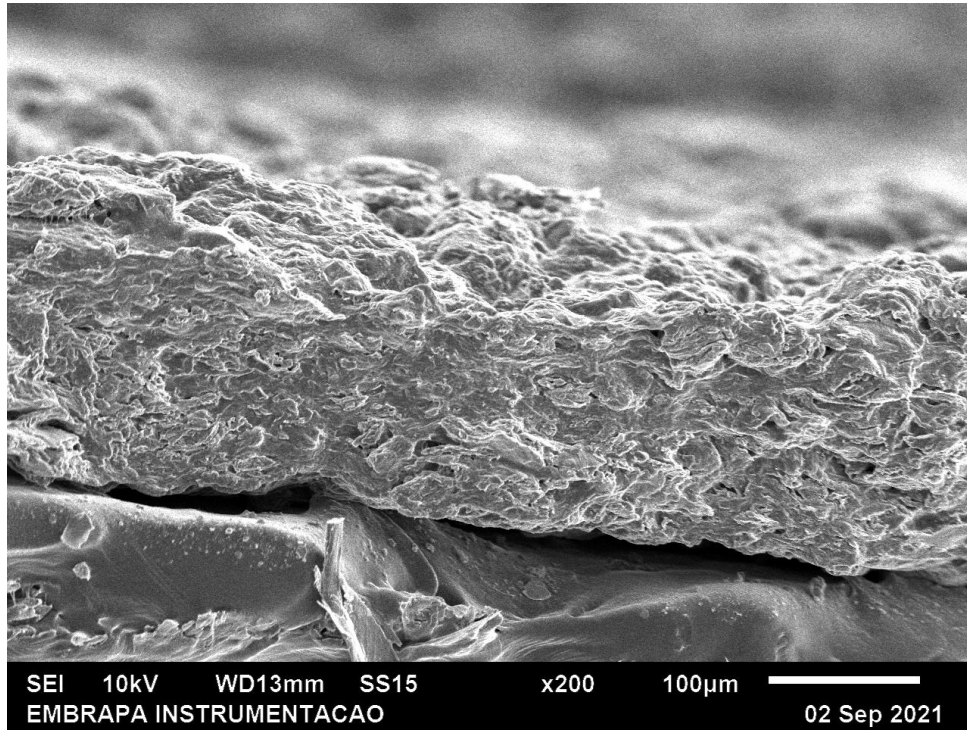


Figura 8a. Microscopia da criofratura da formulação 2

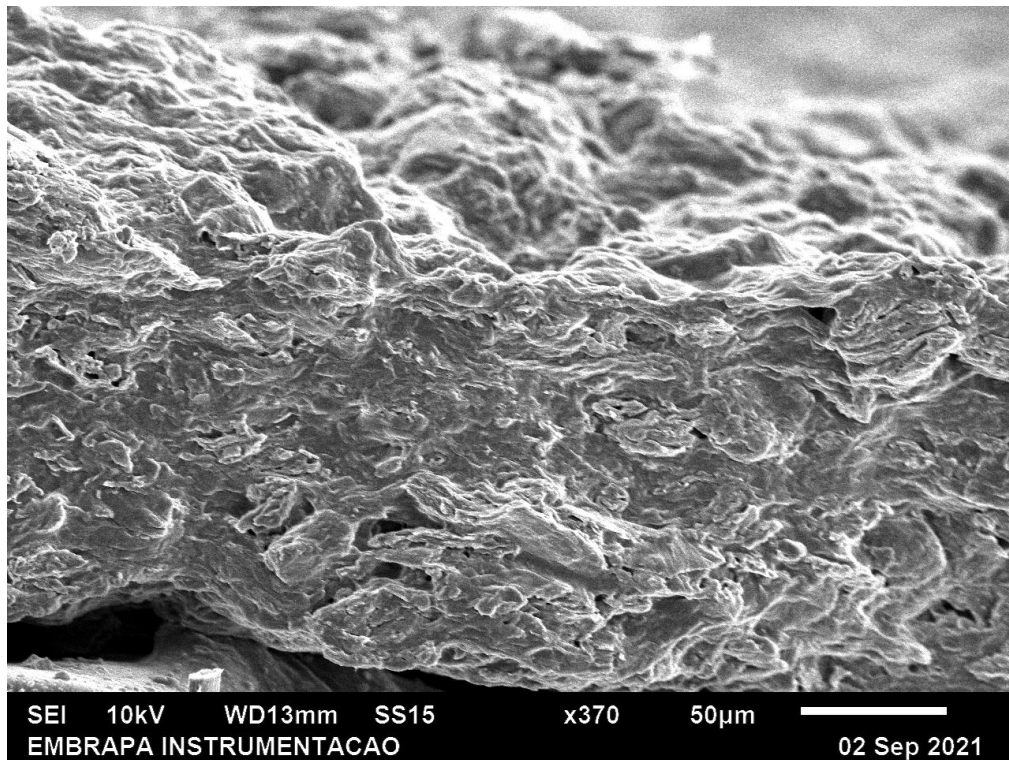


Figura 8b. Microscopia da criofratura da formulação 2.

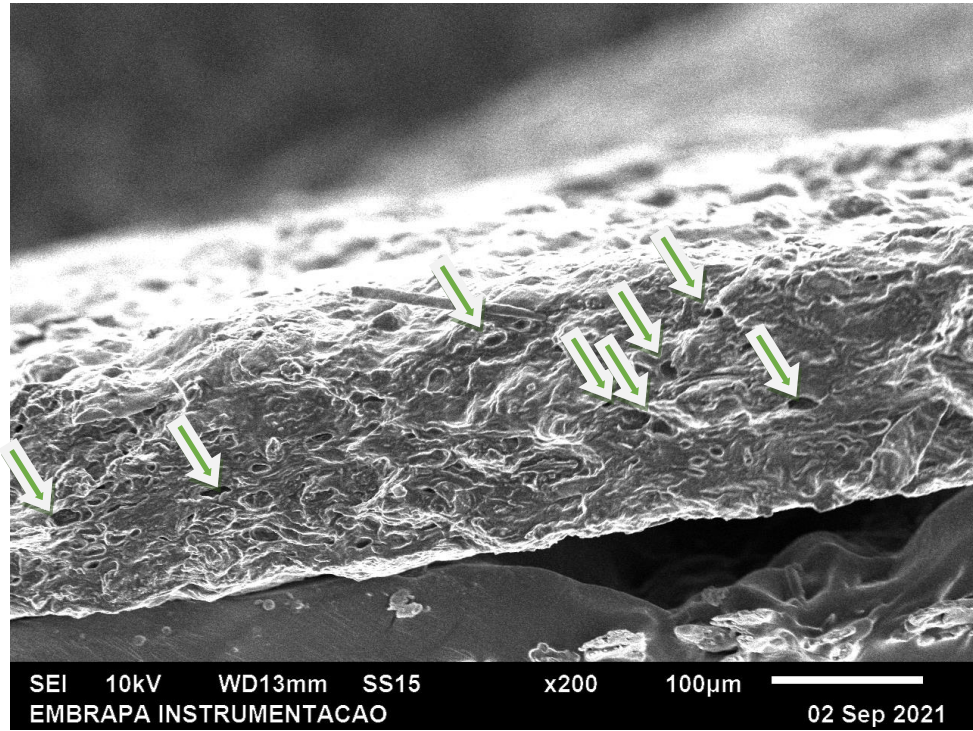


Figura 9a. Microscopia da criofratura da formulação 3.

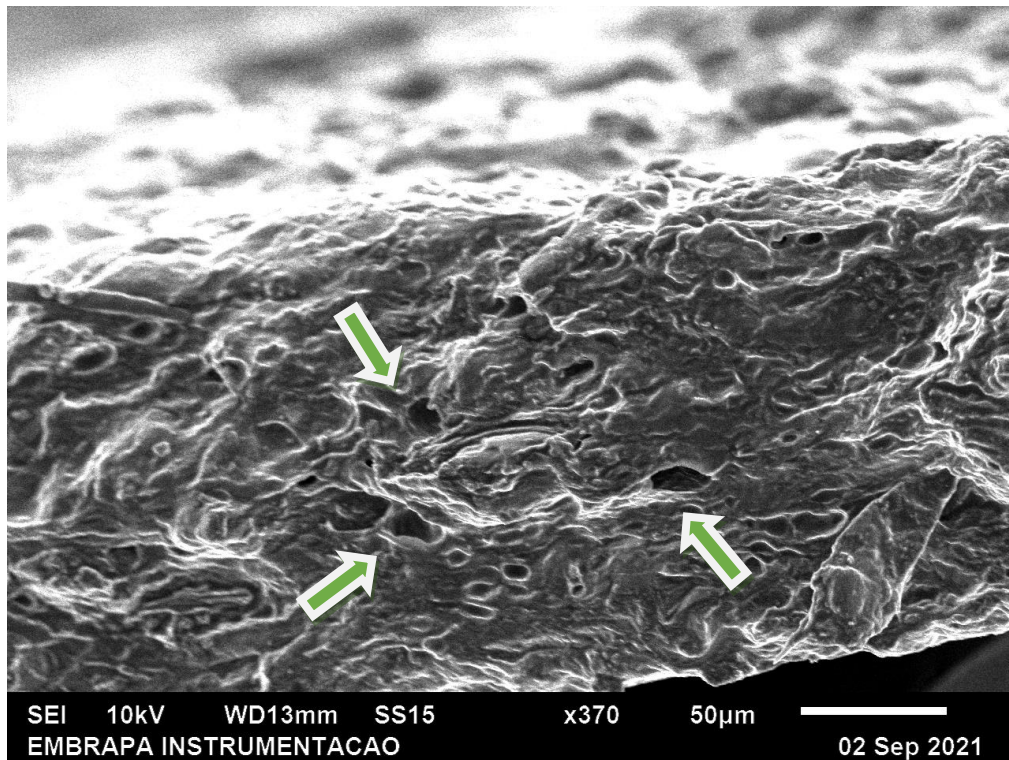


Figura 9b. Microscopia da criofratura da formulação 3.

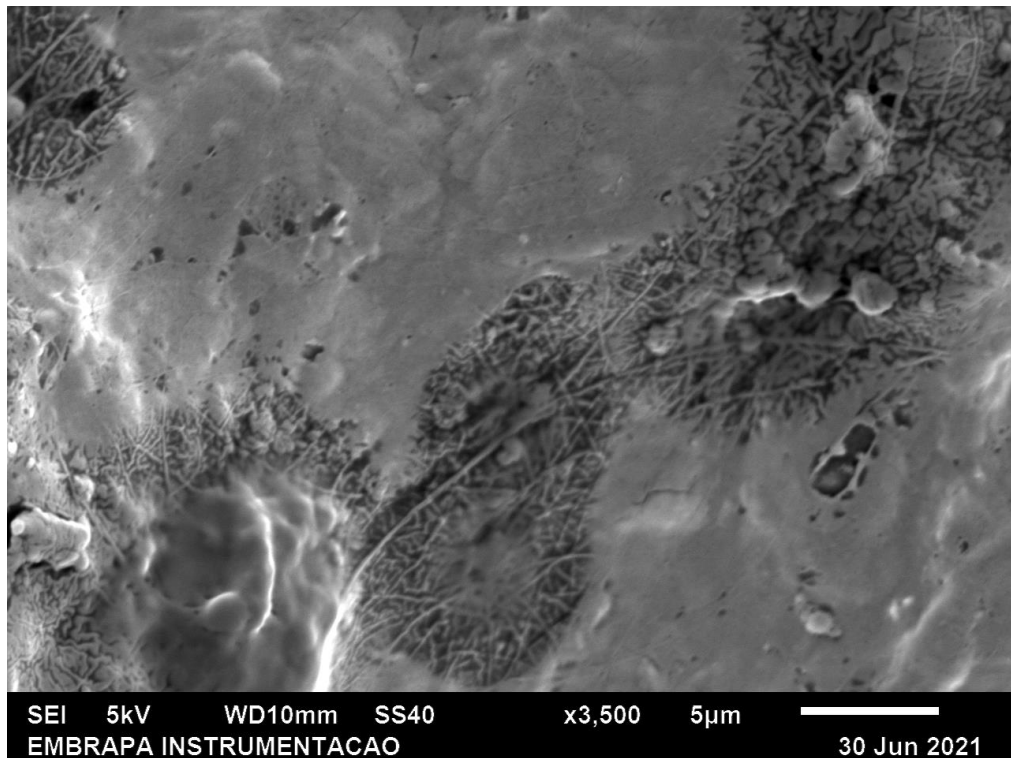


Figura 10. Microscopia da superfície da formulação 2.



Figura 11. Microscopia da superfície da formulação 3.

Por meio das imagens da criofratura (figuras 8a e 8b) da formulação 2, que contém a maior concentração de matriz, é possível visualizar uma maior compactação do filme em comparação com as imagens da criofratura da formulação

3 (figuras 9a e 9b), garantindo aos filmes dessa formulação uma menor difusividade da estrutura filmogênica, corroborando para que a formulação 2 tenha os menores valores de PVA. Apesar do padrão heterogêneo de distribuição da rugosidade das imagens 10 e 11 é perceptível um maior número de descontinuidades nas superfícies da formulação 3 (figura 11) em comparação a superfície da formulação 2 (figura 10) que apresenta maior concentração de fibras de polissacarídeos em sua composição, fazendo com que a formulação 2 seja a mais promissora tanto para PVA quanto para melhores resultados no teste de resistência a tração, em que descontinuidades ou rachaduras sugerem falhas que podem servir como pontos de tensão e promover menor resistência do material (MUSCAT *et al.*, 2012).

O ensaio de tração é extremamente relevante para se obter informações que caracterizam algumas propriedades mecânicas dos materiais, como resistência à tração (σ) e alongação na ruptura (ϵ). Os resultados obtidos no ensaio de tração e os coeficientes de regressão para a representação das curvas de contorno estão contidos nas tabelas 3 e 4.

Os valores obtidos de resistência a tração foram muito baixos variando entre 0.65 e 0.90 MPa em comparação aos resultados de resistência a tração de outros trabalhos com filmes comestíveis de celulose bacteriana como os de Abrial *et al.* 2021 (3,6 – 4.7 MPa); A Yanti *et al.* 2021 (10.9 – 61.9 MPa) e Wang *et al.* 2018 (44.5 MPa). Porém nestes trabalhos o objetivo dos filmes foi de aplicação como embalagens alternativas para alimentos, o que torna mais relevante a resistência mecânica destes materiais a depender da aplicação proposta. Apesar disso, outros trabalhos como o desenvolvido por Viana *et al.*, 2018, obtiveram valores entre 6,94 – 10,80 MPa para resistência a tração e 21,46 – 33,29% para alongação na ruptura em filmes comestíveis de CB e pectina com purês de goiaba e manga, mostrando mais uma vez, maiores valores de força e alongação se comparado aos 18 – 28% do presente trabalho.

Nos modelos de regressão disponíveis nas figuras 12 e 13 abaixo é possível visualizar um perfil crescente de resistência a tração no mesmo sentido em que ocorre o aumento da proporção de polissacarídeos nos filmes. Esse resultado já era esperado, pois os polissacarídeos majoritários das formulações são de matriz celulósica que dão coesividade ao filme, de modo que seu parcial grau de cristalinidade auxilia no aumento da resistência a tração nos filmes que contém maiores proporções de matriz. O oposto é visível na lateral direita da figura 12, em

que estão representadas as curvas de menores valores de RT dos filmes que tinham maiores diluições da matriz. Em um delineamento de misturas, ao passo que se eleva a concentração de um componente, diluem-se os outros, por conseguinte (OTONI *et al.*, 2017).

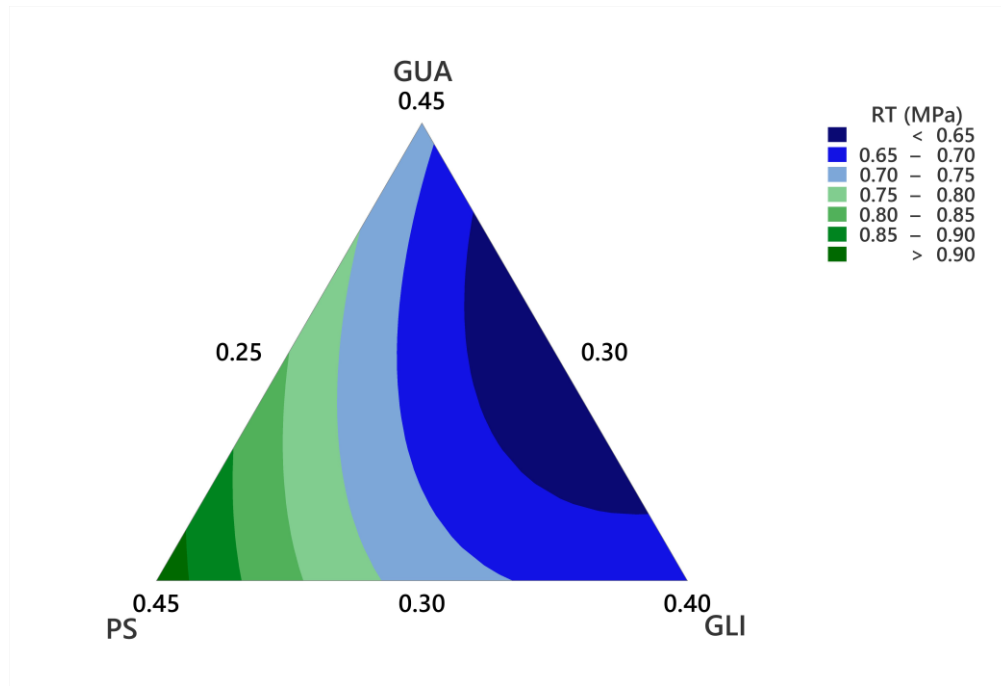


Figura 12. Curvas de contorno referentes à resistência à tração. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol.

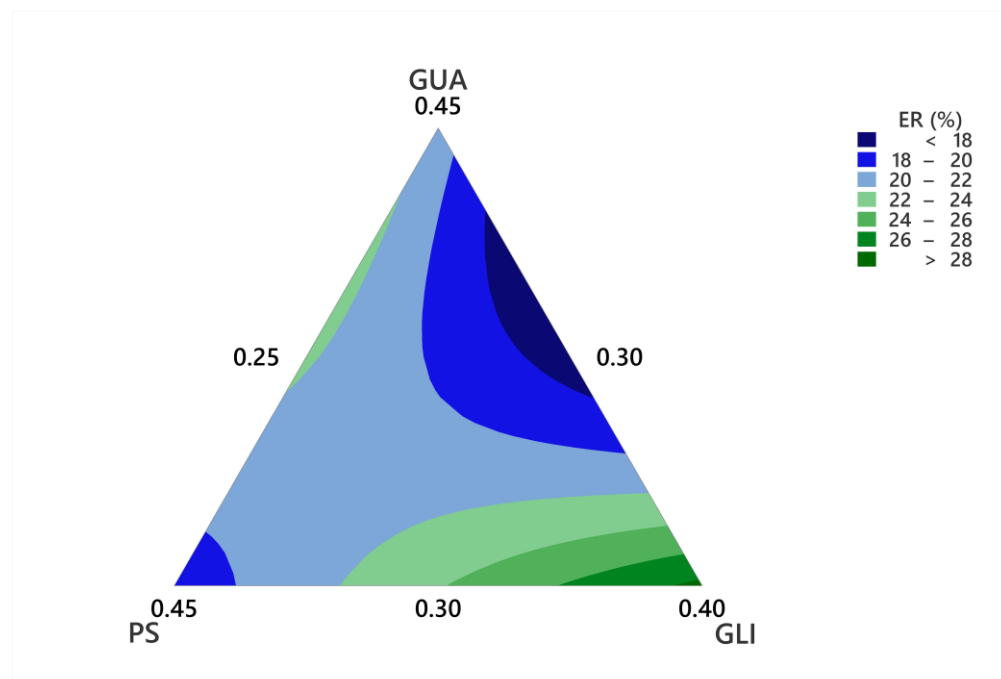


Figura 13. Curvas de contorno referentes à elongação na ruptura. GUA: guacamole (sólidos); PS: polissacarídeos (CB + CMC); GLI: glicerol.

Na figura 13 é observado um aumento significativo da alongação na ruptura (ER) dos filmes com maiores proporções de glicerol. Resultado esperado, pois o glicerol adicionado tem a função plastificante no compósito, pois seu baixo tamanho molecular permite que ele adentre os espaços intermoleculares da cadeia polimérica reduzindo as forças de ligação de hidrogênio e aumentando a mobilidade de toda estrutura, resultando em maiores valores de alongação na ruptura em detrimento de menores valores de resistência a tração (RT), observados na figura 12 (SITOMPUL e ZUBAIDAH, 2017).

A área superior-direita da figura 13 encontra-se em uma região intermediária do encontro das curvas de contorno dos filmes com maiores proporções de guacamole e glicerol, apresentando os menores valores obtidos de alongação na ruptura, isso provavelmente se deve a uma interação negativa (-31,31) estatisticamente significativa ($p < 0,05$) expressa na tabela 4 com os valores de regressão desses componentes, mostrando que os mesmos tiveram efeitos antagônicos, ou seja, a porcentagem de alongação na ruptura obtida pela interação entre ambos é menor do que o que seria obtido pela simples média das respostas desses componentes puros. O mesmo ocorre para os resultados de RT em que houve uma interação negativa (-0,42) estatisticamente significativa entre os mesmos componentes (GUA*GLI) que aliados à diluição da matriz citada anteriormente, corroboram para a obtenção de menores valores de resistência à tração nos filmes que os contêm em maiores proporções.

Na fotografia abaixo (Figura 14) é possível visualizar os filmes correspondentes às formulações de 1 a 10.

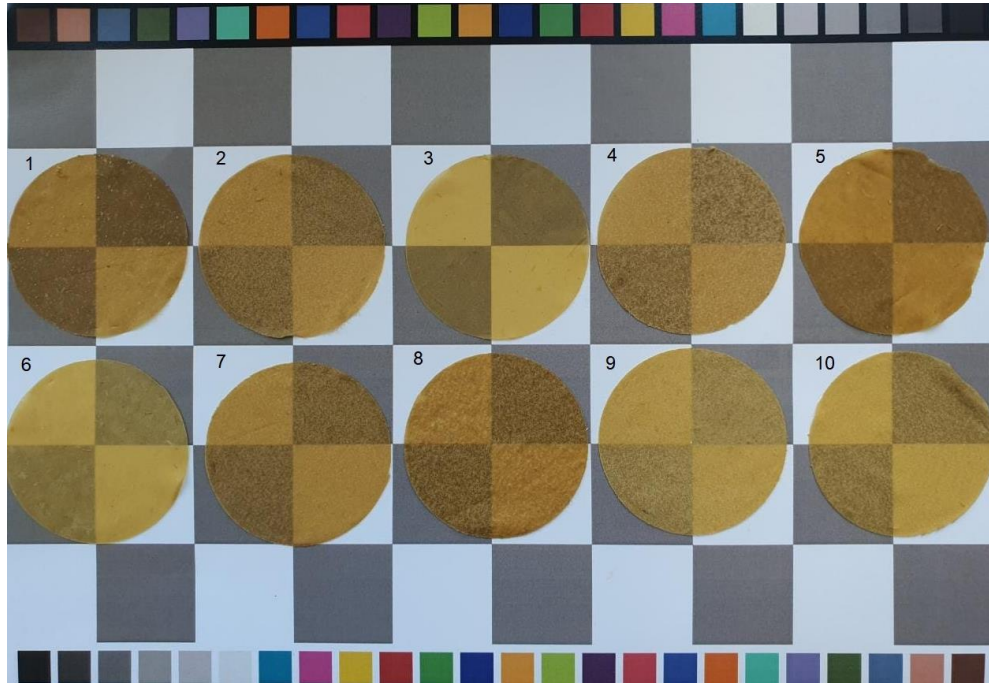


Figura 14. Fotografia dos filmes correspondentes às formulações 1-10,

3.1.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR - ATR)

Na figura 16, nota-se que as 3 principais formulações (1, 2 e 3) que receberam, respectivamente, as maiores proporções dos componentes guacamole, matriz e glicerol na produção dos filmes, apresentaram perfil similar no espectro de FTIR-ATR. Na figura 15 são observados os espectros de bandas dos componentes dos filmes (CB, CMC e guacamole) bem como a possível origem de bandas presentes nos filmes da figura 16. As bandas analisadas e relacionadas aos grupos funcionais identificados encontram-se resumidos na Tabela 5.

Como pode ser observado no espectro, as vibrações de estiramento de O-H ($\sim 3240-3300\text{ cm}^{-1}$) de todas as amostras apresentaram valores similares entre si, variando apenas em intensidade. A aparência dessas bandas, bem como aquelas observadas em $1600-1610\text{ cm}^{-1}$, sustenta a existência de polifenóis e flavonoides presentes na polpa de abacate usada na composição do guacamole. As bandas evidenciadas em torno de $1740-1745\text{ cm}^{-1}$ se referem a estiramentos C=O de aldeídos e cetonas de triglicerídeos e polifenóis, podendo ser atribuídos aos lipídios presentes também na polpa de abacate (KUMAR e CUMBAL, 2016; LOPES et al. 2018). Em $1600-1610\text{ cm}^{-1}$, as bandas intensas evidenciadas podem ser atribuídas, possivelmente, aos estiramentos cis C=C / C=O de grupos carbonila (KUMAR e

CUMBAL, 2016; LOPES et al. 2018). As bandas em 1743 cm^{-1} na figura 16 reforçam a hipótese da presença de ésteres (grupos acila mono e poliinsaturados) (KUMAR e CUMBAL, 2016; LOPES et al. 2018). Os valores destacados entre $1035\text{-}1045\text{ cm}^{-1}$ podem ser associados às vibrações do estiramento C-O de ésteres. E as vibrações evidenciadas entre $1455\text{-}1415\text{ cm}^{-1}$, 1380 cm^{-1} ; $1335\text{-}1320\text{ cm}^{-1}$ e próximas as 1430 cm^{-1} correspondem à vibração tesoura no plano (*scissoring*) de grupos CH_2 e CH_3 , além de normalmente estarem atribuídas à característica cristalina da celulose (RUAN, 2004; OH; YOO; SHIN; SEO, 2005). Em 720 cm^{-1} , a banda destacada refere-se à torção fora do plano (*rocking*) de $-\text{CH}_2$ de olefinas (QUIÑONES-ISLAS et al. 2013). Apesar de pouca nitidez devido a múltipla composição vegetal do guacamole presente no polímero, por meio deste ensaio FTIR-ATR foi possível identificar e caracterizar um semelhante perfil de alguns grupamentos funcionais e seus arranjos químicos entre os filmes e seus componentes.

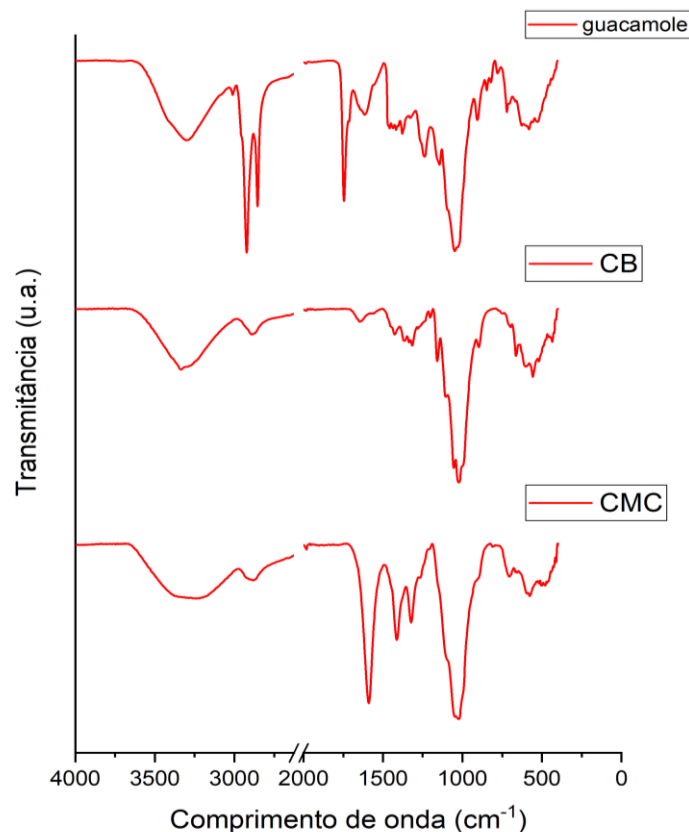


Figura 15. Espectro de FTIR do guacamole e dos polissacarídeos CB e CMC

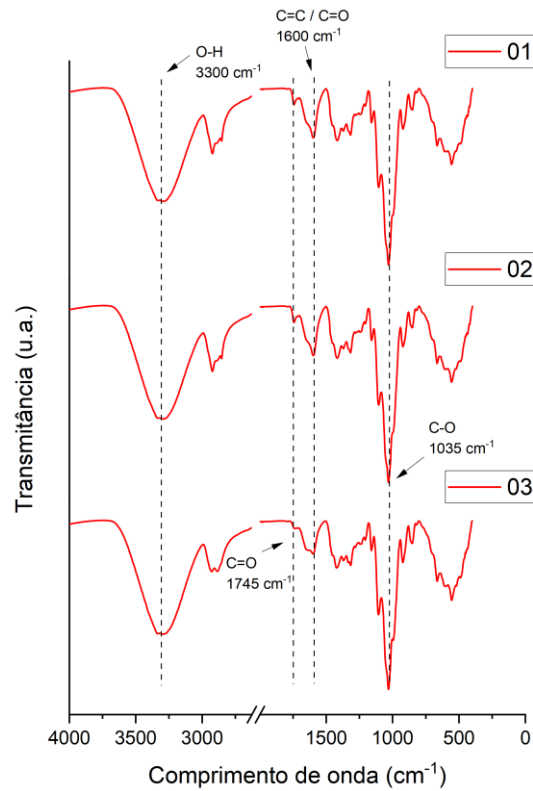


Figura 16. Espectro de FTIR das principais formulações dos filmes.

Tabela 5. Bandas de FTIR de CMC, CB, guacamole e filmes de guacamole e CB

CMC (cm ⁻¹)	CB (cm ⁻¹)	Guacamole (cm ⁻¹)	Filmes de guacamole e CB (cm ⁻¹)	Grupo funcional
3245 1320	3335	3300	3290	-OH, -NH ₂
-	-	2920	2925	Estiramento assimétrico -CH, -CH ₂
2880	-	2850	2865	Estiramento simétrico -CH e -CH ₂
-	-	1745	1740	Estiramento C=O em ésteres de lipídeos
-	1645	-	-	Dobramento H-O-H de água absorvida
1590	-	1610,40	1600	Estiramento cis C=C/ C=O carbonila
1420	1425	1455	1420	Dobramento CH ₂ e CH ₃
1320	1310	1375	1335 1320	Tesoura no plano (<i>scissoring</i>) CH ₂ e CH ₃
-	1160	1245	1245	Estiramento C-O
1020	1020	1045	1030	Estiramento C-O-C
-	-	720	-	Torção fora do plano (<i>rocking</i>) -CH ₂ em ácidos graxos

3.1.3 Análise Termogravimétrica

As figuras 17 e 18 e a tabela 6 apresentam as curvas TG, dTG e os valores de perda de massa (%) e temperatura inicial de degradação (calculada a partir da temperatura *onset*) dos eventos de degradação térmica das amostras das principais

formulações. A análise termogravimétrica é uma importante técnica de caracterização a fim de entender parâmetros sobre a estabilidade térmica, parâmetros estruturais e interações entre os componentes dos filmes.

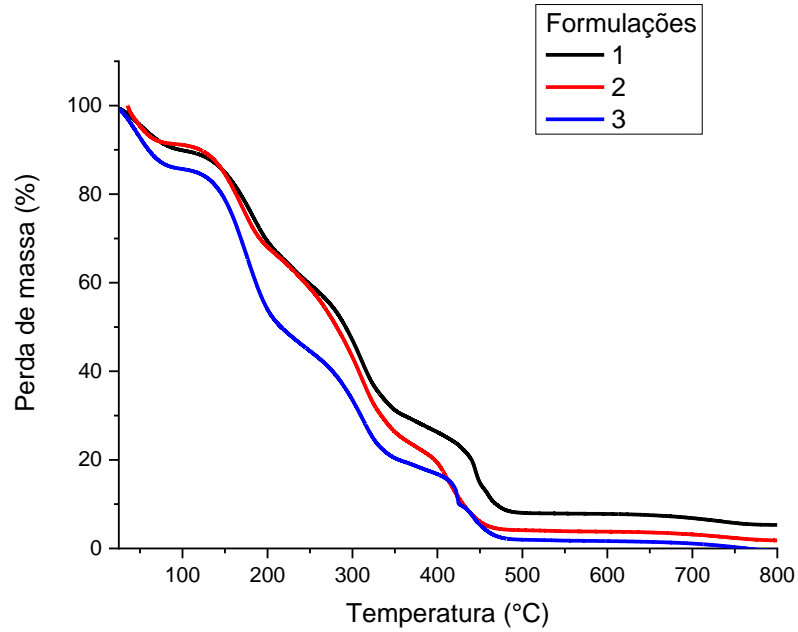


Figura 17. Curvas TG das formulações filmogênicas

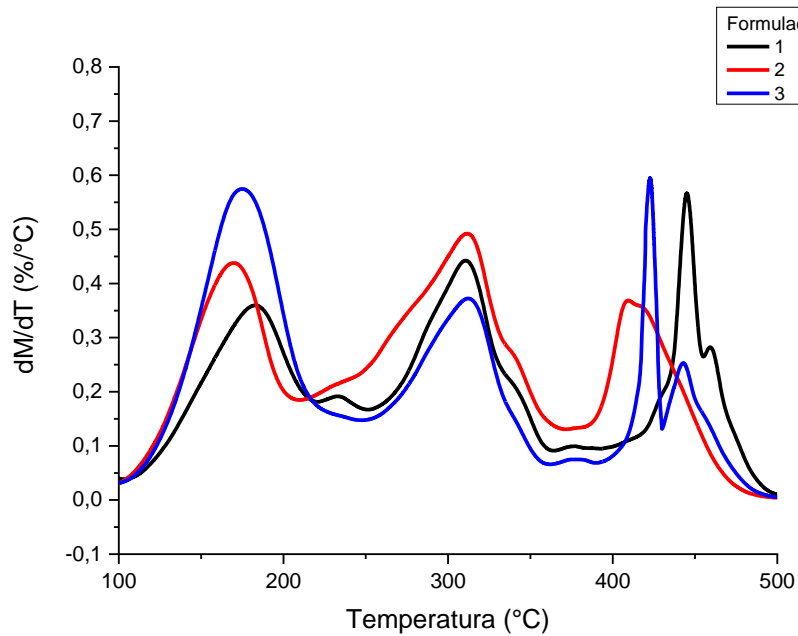


Figura 18. Curvas dTG das formulações filmogênicas

Tabela 6. Valores de perda de massa (%) em função da variação de temperatura (°C) das principais formulações (1, 2 e 3) e seus correspondentes eventos de degradação térmica

Formulação	1° evento		2° evento		3° evento		4° evento		5° evento
	Δm_1 (%)	Δm_2 (%)	T_{onset} (°C)	Δm_3 (%)	T_{onset} (°C)	Δm_4 (%)	T_{onset} (°C)	Δm_5 (%)	
1	10,27	24,83	133,6	34,95	269,5	22,04	434,5	2,54	
2	8,95	24,93	129,5	42,65	262,2	19,26	393,3	2,09	
3	14,22	41,17	131,8	24,83	267,3	17,57	412,2	2,2	

A perda de massa no primeiro evento observado, entre 0 e 100°C, é atribuída a perda de umidade. O segundo evento, entre 130 e 220°C, está relacionado à decomposição do glicerol (DOU et al. 2009). Observa-se a formulação 3 que há maior proporção do plastificante em sua composição (40%) e degradou sua massa em cerca de 40% no respectivo evento. O terceiro evento de degradação ocorreu na faixa de 240° - 400°C, e é referente a celulose bacteriana e alguns compostos de origem vegetal. Pode-se notar que a formulação 2 que possui 45% de matriz em sua constituição teve degradação em quantidade similar nessa faixa de temperatura. Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Liu *et al* (2018) em que a degradação dessas moléculas ocorreu em parâmetros equivalentes de temperatura.

O quarto evento que ocorre na faixa de 400 a 600°C refere-se a possível degradação térmica de pectina e celulose, comum em matrizes vegetais complexas, que podem estar presentes no filme devido aos componentes do guacamole (como cebola, abacate e tomate) (WANG et al., 2008). Os resultados mostraram uma maior degradação de massa nesse evento, de amostras que continham maiores proporções de guacamole, como a formulação 1. O quinto evento observado está relacionado a degradação de moléculas residuais poli-hidroxiladas e de alto peso molecular. Deve-se levar em conta que o material pode sofrer interações sinérgicas ou antagônicas entre seus componentes que levam a formação de uma estrutura supramolecular complexa, a partir de ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas dessas moléculas que ocasionam nos filmes uma nova estrutura e propriedades físico-químicas distintas (Chadha e Bhandari, 2014).

Os filmes iniciam sua degradação a temperaturas baixas, em 130°C, devido ao glicerol. É importante ressaltar que isso limita parcialmente sua aplicabilidade, pois este material não é viável a ser submetido a processos que envolvam altas temperaturas, pois quando submetido a elevadas temperaturas ocorre a degradação do filme, podendo levar a alterações importantes em sua estrutura e resultar na

perda da capacidade do filme como barreira à umidade (DOU et al. 2009). Além disso, o glicerol aparenta não formar interações supramoleculares fortes com o filme, visto que sua temperatura de degradação e quantidade de massa perdida, normalizada em função de seu percentual na formulação, não é alterada frente a nenhuma proporção (Chadha e Bhandari, 2014).

3.2 Teste de Aplicabilidade

A dureza relaciona-se inversamente com a crocância, pois trata-se de uma medida de resistência de um material ao risco ou (no caso) à fratura. Se um material fratura facilmente, ele é pouco duro, logo um material mais duro resistirá mais à fratura (GONTARSKI, 2021).

Quando um alimento é considerado crocante, ele quebra facilmente, ou seja, é pouco duro, pois tem baixa resistência à fratura e baixa coesão, com pouca tendência a se deformar antes da fratura, tipicamente produzindo um estalo. Porém, há diferentes características sensoriais que definem um alimento ser mais ou menos crocante, pois essa propriedade é percebida a partir de múltiplos fatores que devem ser levados em consideração. Crocância é uma propriedade textural que geralmente está associada ao número de eventos sonoros específicos percebidos durante a mastigação, e à força mecânica necessária para quebrar o alimento em partes menores. Apesar de ainda não haver um total consenso na comunidade científica, e alguns pesquisadores acreditarem que estes valores podem ser intercambiáveis, o termo em inglês "*crispness*", que significa "crocância" está geralmente ligado à força necessária para que os dentes incisivos cortem o alimento na primeira mordida, enquanto a palavra "*crunchiness*" que também significa "crocância" está geralmente ligada ao trabalho total exercido pela mastigação molar, ou seja, à energia total necessária para que dentes molares processem o alimento (EXTRALAB 2014; TUNICK *et al.* 2013)

Dessa forma, torna-se relevante que para se obter parâmetros qualitativos de comparação de crocância entre alimentos, seja feita uma avaliação cuidadosa do padrão de fratura e que leve em consideração o máximo de aspectos sensoriais possíveis ligados à crocância, como: 1 - Distância na ruptura (em mm), que indica a fragilidade da amostra, pois mostra até que ponto a amostra pode ser deformada antes da fratura; 2 - Área sob a curva com o perfil de força por distância deslocada,

em que a integração destas grandezas, informa um valor que está relacionado ao trabalho total (em N.mm) necessário para o rompimento dos nachos; 3 - Tensão de ruptura em N/mm², quanto maior este valor, maior é a resistência ao rompimento; (EXTRALAB 2016; KROKIDA *et al.* 2000; SALVADOR *et al.* 2009; STABLE MICRO SYSTEMS, 2015; TUNICK *et al.* 2013).

No teste de aplicabilidade do presente trabalho foi obtida uma tabela-resposta de análise de textura (Tabela 7) com 3 parâmetros de textura: 1- Área sob a curva; 2- Deslocamento na ruptura; 3- Tensão de ruptura. E um gráfico de comparação (Figura 19) que mostra o perfil médio de curva dos 3 tratamentos - Nachos puros (Padrão); Nachos que receberam filme e molho (Filme + Molho); E nachos sem filme que receberam molho (Molho).

Tabela 7. Tabela-resposta da análise de textura

Tratamento	Área	Deslocamento	Tensão na ruptura
Controle (Nacho Puro)	19,52 ^c	0,736 ^b	0,22 ^b
Nacho + Filme + Molho	43,75 ^b	1,83 ^b	0,39 ^a
Nacho + Molho	69,95 ^a	8,97 ^a	0,35 ^a

Área: Área sob a Curva força x deslocamento (N.mm); Deslocamento: Distância percorrida até a ocorrência do pico principal (mm); Tensão na ruptura: Força por unidade de área de teste (N/mm²). Para cada resposta, valores seguidos por pelo menos uma letra em comum, não diferem significativamente entre si (P>0,05).

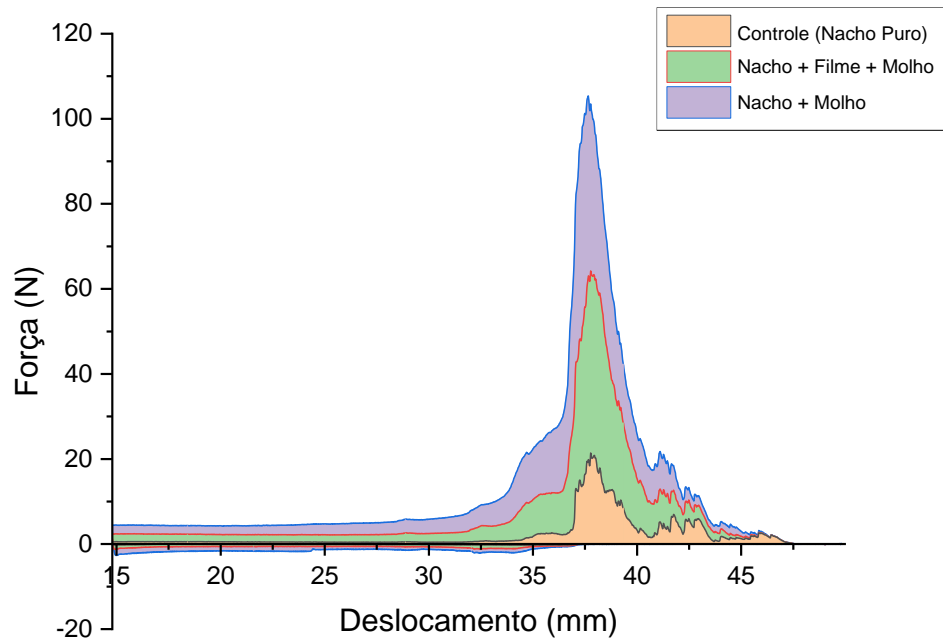


Figura 19. Gráfico do perfil médio de 3 tratamentos sobrepostos em Força (N) x Deslocamento (mm).

A Figura 19 mostra o perfil de curva de força x deslocamento dos nachos submetidos aos 3 tratamentos analisados, e ao compará-los juntamente da tabela resposta da análise de textura, é possível verificar que para o tratamento “nacho + filme + molho”, houve um perfil de área sob a curva intermediário (43,75 N.mm) entre os perfis de área dos tratamentos controle (19,52 N.mm) e “nacho + molho” (69,95 N.mm), indicando que o filme foi capaz de prevenir parcialmente a perda de crocância, já que, quanto menor esse valor de área, maior é sensação de crocância durante a mastigação, pois o trabalho para sua desintegração será menor (TUNICK *et al.* 2013).

Outro parâmetro a ser analisado é a tensão de ruptura, que é calculada pela força máxima no evento principal de ruptura dividida pela área da amostra fraturada, e informa uma medida de resistência do nacho ao rompimento, sendo que, quanto menor esse valor, mais facilmente o nacho se romperá na primeira mordida dos dentes incisivos. Porém, como visto na tabela 7, não houve diferença estatística entre os tratamentos “nacho + filme + molho” e “nacho + molho”, indicando que para este parâmetro, em comparação com o tratamento controle, o filme não foi capaz de manter em baixos valores a resistência dos nachos. Apesar disso, para o parâmetro deslocamento na ruptura, os nachos com filme + molho tiveram um valor de deslocamento sem diferença estatística em relação aos nachos puros, indicando que

para esse parâmetro, o filme foi capaz de preservar o aspecto de fragilidade dos nachos puros, ou seja, preveniu a tendência de deformação plástica (gomosidade) que os nachos adquiriram ao absorver umidade, pois esse valor mostra quanto o nacho pode ser deformado antes de se romper. Esses resultados mostram que o filme foi capaz de servir como componente de barreira a umidade, prevenindo parcialmente a migração de água entre o molho e o nacho aplicado. (EXTRALAB 2016; SALVADOR et al. 2009; STABLE MICRO SYSTEMS, 2015)

Capítulo 4 – Conclusões

Os filmes à base de celulose bacteriana com guacamole foram desenvolvidos com sucesso e foram caracterizados quanto à microestrutura e propriedades físicas e físico-químicas, mostrando potencial aplicabilidade como material de barreira à umidade para uso em tacos, wraps e outros produtos que tenham um componente de baixa umidade (crocante) em contato com um componente de alta umidade (ex: molho). Os resultados obtidos mostraram a influência das proporções de cada componente das formulações nas propriedades analisadas. Os filmes com maiores proporções de guacamole foram os mais hidrofóbicos, enquanto os que tinham maiores concentrações de glicerol tiveram as maiores elongações na ruptura. Por sua vez, os filmes com maiores teores de CB foram os mais resistentes a tração e menos permeáveis.

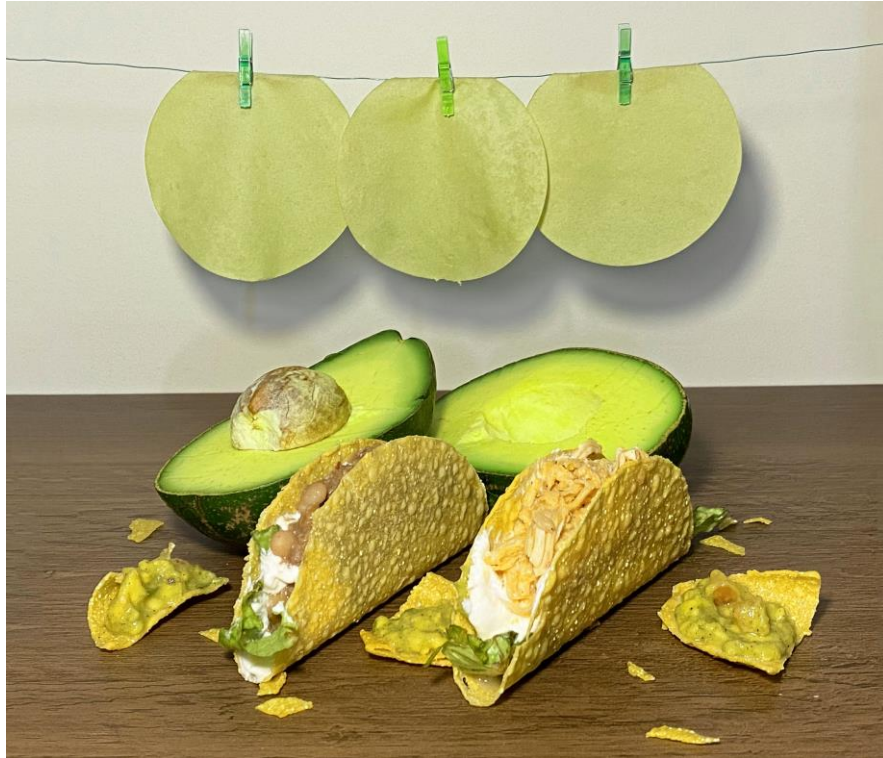


Figura 20. Fotografia ilustrativa do filme correspondente à formulação 2

O filme de formulação 2 (Figura 20) que recebeu a maior proporção de matriz(45%), 30% de guacamole e 25% de glicerol, mostrou-se o mais adequado para a aplicação proposta e, quando aplicado como camada entre nachos e molho de tomate, foi capaz de reduzir a perda de crocância dos nachos ao longo de 50 min, por inibir parcialmente a migração de umidade do molho para os nachos, sendo promissora a oportunidade de se fazer uma análise sensorial que aprimorariam os resultados e levar essa aplicação para uma maior escala em trabalhos futuros, com a possibilidade de expandir os delineamentos feitos e trazer mais informações ao trabalho.

Referências

ABRAL, Hairul; PRATAMA, Angga Bahri; HANDAYANI, Dian; MAHARDIKA, Melbi; AMINAH, Ibtisamatul; SANDRAWATI, Neny; SUGIARTI, Eni; MUSLIMIN, Ahmad Novi; SAPUAN, S. M.; ILYAS, R. A.. Antimicrobial Edible Film Prepared from Bacterial Cellulose Nanofibers/Starch/Chitosan for a Food Packaging Alternative. **International Journal Of Polymer Science**, [S.L.], v. 2021, p. 1-11, 31 mar. 2021. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/6641284>

Andrade, R.M.S.; Ferreira, S.L.; Gonçalves, É.B.A. Development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. *J. Food Sci.* **2016**, *81*, E412–E418

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D882-10: standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2010a.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM E96-10: standard test method for water vapor transmission of materials. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2010b.

A YANTI, N; AHMAD, S W; RAMADHAN, L O A N; WALHIDAYAH, T. Mechanical properties of edible film based bacterial cellulose from sago liquid waste using starch as stabilizer. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 948, n. 1, p. 012063, 1 dez. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/948/1/012063>

Azeredo, H.M.C., Mattoso, L.H.C., Wood, D., Williams, T.G., Avena-Bustillos, R.J., & McHugh, T.H. (2009). Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *Journal of Food Science*, *74*, N31–N35.

AZEREDO, H. M. C., MORRUGARES-CARMONA, R., WELLNER, N., CROSS, K., BAJKA, B., & WALDRON, K. W. (2016). Development of pectin films with pomegranate juice and citric acid. *Food Chemistry*, *198*, 101–106.

BLOG EXTRALAB. **Texturômetro no Estudo de Produtos de Surimi (parte 2)**. Disponível em: <<https://blogextralab.wordpress.com/2017/04/19/texturometro-no-estudo-de-produtos-de-surimi-parte-2/>>. Acesso em: 14 de agosto de 2021

BOTELHO, Laís Vargas, CARDOSO, Letícia de Oliveira, & CANELLA, Daniela Silva. (2020). COVID-19 e ambiente alimentar digital no Brasil: reflexões sobre a influência da pandemia no uso de aplicativos de delivery de comida. *Cadernos de Saúde Pública*, *36*(11), e00148020. Epub November 23, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00148020>

BOURTOOM, Thawie. Edible films and coatings: characteristics and properties. **International food research journal**, v. 15, n. 3, p. 237-248, 2008.

CAZÓN, Patricia; VELÁZQUEZ, Gonzalo; VÁZQUEZ, Manuel. Bacterial cellulose films: evaluation of the water interaction. *Food Packaging And Shelf Life*, [S.L.], v. 25, p. 100526, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpsl.2020.100526>.

Cazon, P., Velazquez, G., Ramirez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, *68*, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>.

CHADHA R, BHANDARI S. Drug-excipient compatibility screening--role of thermoanalytical and spectroscopic techniques. *J Pharm Biomed Anal.* 2014 Jan;87:82-97. doi: 10.1016/j.jpba.2013.06.016. Epub 2013 Jun 21. PMID: 23845418.

CHDEXPERT. The insatiable appetite for mexican food in the U.S. Jolien Demeyer. *Food Articles, US.* 2020. Disponível em: <https://www.chd-expert.com/the-insatiable-appetite-for-mexican-food-in-the-u-s/#>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

CNN BRASIL BUSINESS. Delivery de comida cresce 45% em São Paulo com agravamento da Covid-19. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/delivery-de-comida-cresce-quase-50-em-sao-paulo-com-agravamento-da-covid-19/>. Março de 2021. Acesso em 17 de janeiro de 2022.

DEGENHARDT, Andreas Georg; HOFMANN, Thomas. Bitter-Tasting and Kokumi-Enhancing Molecules in Thermally Processed Avocado (*Persea americana* Mill.). **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 58, n. 24, p. 12906-12915, 16 nov. 2010. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf103848p>.

DO NASCIMENTO, E.S., PEREIRA, A.L.S., BARROS, M.d. et al. TEMPO oxidation and high-speed blending as a combined approach to disassemble bacterial cellulose. *Cellulose* 26, 2291–2302 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2208-2>

DOU, Binlin et al. Thermogravimetric kinetics of crude glycerol. *Bioresource technology*, v. 100, n. 9, p. 2613-2620, 2009.

DREHER, M.L. and DAVENPORT, A.J. (2013) Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 738-750. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>

DUARTE, ÉDEN B. *et al.* Celulose Bacteriana Propriedades, Meios Fermentativos e Aplicações. Documento 186. ISSN 2179-8184. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE. 2019

EXTRALAB. Analisador de Textura na Mensuração da Crocância. 2014. Disponível em: <https://blogextralab.wordpress.com/2014/03/27/analizador-de-textura-na-mensuracao-da-crocancia/>. Acessado em 14 de fevereiro de 2022.

EXTRALAB. Analisador de Textura no Estudo da Fraturabilidade de Tortillas Chips. 2016. Disponível em: <https://blogextralab.wordpress.com/2016/06/29/analizador-de-textura-no-estudo-da-fraturabilidade-de-tortillas-chips/>. Acessado em 10 de fevereiro de 2022.

FARIAS, M. G. et al. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). *Quimica Nova*, v. 35, n. 3, p. 546–552, 2012.

FASIHI, Hadi; FAZILATI, Mohammad; HASHEMI, Mahdi; NOSHIRVANI, Nooshin. Novel carboxymethyl cellulose-polyvinyl alcohol blend films stabilized by Pickering emulsion incorporation method. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 167, p. 79-89, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.017>.

GALUS, S.; Arik Kibar, E.A.; Gniewosz, M.; Kraśniewska, K. Novel Materials in the Preparation of Edible Films and Coatings—A Review. *Coatings* 2020, 10, 674. <https://doi.org/10.3390/coatings10070674>

GONTARSKI, Thiago de Lima; CASALI, Rafael Machado; MIKOWSKI, Alexandre. DUREZA VICKERS – DEFINIÇÃO, NORMATIZAÇÃO E PERSPECTIVAS DE PESQUISA: uma revisão / vickers hardness

∴ definition, standardization and research perspectives. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 15736-15754, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-274>.

HAN, Jung H.. Edible Films and Coatings. *Innovations In Food Packaging*, [S.L.], p. 213-255, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-394601-0.00009-6>.

HOUGH, G. et al. O. Sensory texture of commercial biscuits as a function of water activity. *Journal of texture studies*, v. 32, n. 1. p. 57-74. Apr, 2001.

INDRARTI, L; INDRIYATI. Incorporation of citrus essential oils into bacterial cellulose-based edible films and assessment of their physical properties. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 60, p. 012018, mar. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012018>.

K. CAMPBELL, Mary (2015). «Carboidratos». *Bioquímica* 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning. p. 468. ISBN 9788522125005

Krokida, M. ., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. ., & Marinos-Kouris, D. (2001). Effect of pre-treatment on viscoelastic behaviour of potato strips. **Journal of Food Engineering**, 50(1), 11–17. doi:10.1016/s0260-8774(00)00189-8

KUMAR, Brajesh e CUMBAL, Luis. UV-Vis, FTIR and antioxidant study of Persea Americana (Avocado) leaf and fruit: A comparison. *Revista da Faculdade de Ciências Químicas*. ISSN:1390 N 14. Abril, 2016.

LIN, K. W.; HUANG, H. Y. Konjac/gellan gum mixed gels improve the quality of reduced-fat frankfurters. **Meat Science**, v. 65, n. 2, p. 749–755, 1 out. 2003.

LIU, Rui; MORRELL, Jeffrey J.; YAN, Li. Thermogravimetric analysis studies of thermally-treated glycerol impregnated poplar wood. *BioResources*, v. 13, n. 1, p. 1563-1575, 2018.

LOPES, Juliana de Oliveira; GARCIA, Rosilei Aparecida; SOUZA, Natália Dias de. Infrared spectroscopy of the surface of thermally-modified teak juvenile wood. *Maderas, Cienc. tecnol., Concepción* , v. 20, n. 4, p. 737-746, oct. 2018 . Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2018000400737&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 15 de agosto 2021. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005041901>.

MARK L. Dreher e ADRIENNE J. Davenport (2013) Hass Avocado Composition and Potential Health Effects, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53:7, 738-750, DOI: 10.1080/10408398.2011.556759

McHugh, T.H., & Senesi, E. (2000). Apple wraps: A novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, 65, 480–485

MUSCAT, D., ADHIKARI, B., ADHIKARI, R., & CHAUDHARY, D. S. (2012). Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 189–201. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019

N. QUINONES ISLAS, O. MEZA-MÁRQUEZ, G. OSORIO-REVILLA, and T. GALLARDO-VELAZQUEZ. Detection of adulterants in avocado oil by mid-ftir spectroscopy and multivariate analysis. *Food Research International*, vol. 51, pp. 148–154, 2013

Niro, C.M., Medeiros, J.A., Freitas, J.A. and Azeredo, H.M. (2021), Advantages and challenges of Pickering emulsions applied to bio-based films: a mini-review. *J Sci Food Agric*, 101: 3535-3540. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11029>

OH, Sang Youn; YOO, Dong Il; SHIN, Younsook; SEO, Gon. FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide. **Carbohydrate Research**, [S.L.], v. 340, n. 3, p. 417-428, fev. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2004.11.027>.

OJAGH SM, REZAEI M, RAZAVI SH, HOSSEINI SMH (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chem* 122, 161

OTONI, C.G., AVENA-BUSTILLOS, R.J., AZEREDO, H.M.C., LOREVICE, M.V., MOURA, M.R., MATTOSO, L.H.C. and MCHUGH, T.H. (2017), Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16: 1151-1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>

PAULA, A. M.; CONTI-SILVA, A. C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 9–14, 1 jan. 2014.

Pavlat AE , Wong DSW , Kumosinski TF (1993) New Coatings for cut fruits and vegetables. *CHEMTECH* . 23 (2) : 36 – 40

Pavlat, A.E., Orts, W. (2009). Edible Films and Coatings: Why, What, and How?. In: Huber, K., Embuscado, M. (eds) *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1

PENA-SERNA, C., & LOPES-FILHO, J. F. (2013). Influence of ethanol and glycerol concentration over functional and structural properties of zein-oleic acid films. *Materials Chemistry and Physics*, 142, 580–585.

PICHETH GF, PIRICH CL, SIERAKOWSKI MR, WOEHL MA, SAKAKIBARA CN, DE SOUZA CF, MARTIN AA, DA SILVA R, DE FREITAS RA. Bacterial cellulose in biomedical applications: A review. *Int J Biol Macromol*. 2017 Nov;104(Pt A):97-106. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.05.171. Epub 2017 Jun 3. PMID: 28587970.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; MESTRE, M. L. Influence of water on the crispness of cereal-based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies. *Journal of texture studies*, v. 29, n. 2. p. 199-213, May, 1998.

RUAN, D. Microporous membranes prepared from cellulose in NaOH/thiourea aqueous solution. **Journal Of Membrane Science**, [S.L.], v. 241, n. 2, p. 265-274, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2004.05.019>.

SALMÉN, L., STEVANIC, J.S. Effect of drying conditions on cellulose microfibril aggregation and “hornification”. *Cellulose* 25, 6333–6344 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2039-1>

SALVADOR, A.; VARELA, P.; SANZ, T.; FISZMAN, S.M.. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 763-767, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.016>.

STABLE MICRO SYSTEMS. Texture Analysis Professionals Blog. Disponível em <https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2015/04/texture-analysis-in-action-three-point.html> Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

SILVA-CARVALHO, R. et al. Inhalation of Bacterial Cellulose Nanofibrils triggers an inflammatory response and changes lung tissue morphology of mice. *Toxicological Research*, v. 35, n. 1, p. 45–63, 2019

SITOMPUL, A. J. W. S. and E. ZUBAIDAH. 2017. Effect of Plasticizer Type and Concentration on Physical Properties of Edible Film of Kolang Kaling (*Arenga pinnata*). *Journal of Food and Agro-industry* Vol.5 No. 1: 13-25

SOUZA, Maria Luzenira de; MENEZES, Hilary Castle de. Avaliação sensorial de cereais matinais de castanha-do-brasil com mandioca extrusados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 950-955, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612006000400036>

STATISTA. U.S. population: Do you use mexican food and ingredientes? Statista based on the U.S. Census data and Simmons National Consumer Survey (NHCS). 2 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/281028/us-households-consumption-of-mexican-food-and-ingredients/>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

TAIWO, K.A.; BAIK, O.D.. Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. *Lwt - Food Science And Technology*, [S.L.], v. 40, n. 4, p. 661-668, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.005>

TOLEDO, Lea e AGUIRRE, Carolina (2017) Enzymatic browning in avocado (*Persea americana*) revisited: History, advances, and future perspectives, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57:18, 3860-3872, DOI: 10.1080/10408398.2016.1175416

TUNICK, Michael H.; ONWULATA, Charles I.; THOMAS, Audrey E.; PHILLIPS, John G.; MUKHOPADHYAY, Sudarsan; SHEEN, Shiohshuh; LIU, Cheng-Kung; LATONA, Nicholas; PIMENTEL, Mariana R.; COOKE, Peter H.. Critical Evaluation of Crispy and Crunchy Textures: a review. *International Journal Of Food Properties*, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 949-963, 4 jul. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2011.573116>.

VEJA SÃO PAULO. Fast-foods mexicanos ganham mercado brasileiro. *Cidades*. 2017. Disponível em: <https://vejasp.abril.com.br/cidades/fast-foods-mercado-renovado/>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

VIANA, Rayra Melo; SÁ, Nádia M.s.M.; BARROS, Matheus O.; BORGES, Maria de Fátima; AZEREDO, Henriette M.C.. Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. *Carbohydrate Polymers*, [S.L.], v. 196, p. 27-32, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.017>.

Wang, G., Li, W., Li, B. and Chen, H., 2008. TG study on pyrolysis of biomass and its three components under syngas. *Fuel*, 87(4-5), pp.552-558.

WANG, Xuejiao; GUO, Chaofan; HAO, Wenhui; ULLAH, Niamat; CHEN, Lin; LI, Zhixi; FENG, Xianchao. Development and characterization of agar-based edible films reinforced with nano-bacterial cellulose. *International Journal Of Biological Macromolecules*, [S.L.], v. 118, p. 722-730, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.089>

Wong DWS , Tillin SJ , Hudson JS , Pavlath AE (1994) Gas exchange in cut apples with bilayer coatings . *J. Agric. Food Chem* . 42 (10) : 2278 – 2285

ZOGHI, A., KHOSRAVI-DARANI, K. & MOHAMMADI, R. Application of edible films containing probiotics in food products. *J Consum Prot Food Saf* **15**, 307–320 (2020). <https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00003-020-01286-x>.