



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



**REVESTIMENTOS BIOATIVOS A BASE DE ALGINATO E QUITOSANA
ADITIVADOS COM nanoZnO PARA APLICAÇÃO EM GOIABAS (*Psidium
guajava* L.)**

BETTY DEL CARMEN JARMA ARROYO

Recife

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

BETTY DEL CARMEN JARMA ARROYO

**REVESTIMENTOS BIOATIVOS A BASE DE ALGINATO E QUITOSANA
ADITIVADOS COM nanoZnO PARA APLICAÇÃO EM GOIABAS (*Psidium
guajava* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADORA: Prof^a Dr^a Andrelina Maria Pinheiro Santos

CO-ORIENTADORA: Prof^a Dr^a Enayde de Almeida Melo

Recife
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**REVESTIMENTOS BIOATIVOS A BASE DE ALGINATO E QUITOSANA
ADITIVADOS COM nanoZnO PARA APLICAÇÃO EM GOIABAS (*Psidium
guajava* L.)**

Por Betty Del Carmen Jarma Arroyo

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em __/__/__ pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:

Profª Drª. Maria Inês Sucupira Maciel
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Drª. Cristiana Maria Pedroso Yoshida
Universidade Federal de São Paulo

Profª Drª. Alda Verônica Souza Livera
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a todo aquele que tenha interesse em conhecer e fazer parte de projetos “eco-friendly”, que, nos dias atuais, são ações de bastante importância a nível mundial. A indústria de alimentos precisa de indivíduos que contribuam com ideias e atuações sustentáveis, de maneira que os processos existentes até o dia de hoje sejam reestruturados para atingir tal fim.

AGRADECIMENTOS

A Ele, que é autor de nossas vidas e que permanece conosco a cada dia de nossa caminhada. Pai, não existem palavras para agradecer-Lhe pelo quanto é generoso e bondoso.

À minha orientadora, Dra. Lia Pinheiro e minha co-orientadora, Dra. Enayde Almeida, cuja direção, paciência e apoio constante ao longo desta jornada me proporcionaram uma base sólida para os meus futuros passos profissionais e também para a vida.

Aos meus colegas, Anderson e Lara, que me permitiram chegar para fazermos um trabalho em equipe, deixando a certeza em nossos corações de que cada um, com seu jeito particular, ajudou no crescimento do outro.

À minha amada família, minha mãe Sulay, que com suas palavras sempre cheias de sabedoria e amor, me deu a força para continuar trabalhando nos meus objetivos; ao meu pai, Alfredo, onde seu conhecimento e ensinamentos permitiram-me aprofundar em temas específicos deste trabalho e à minha querida irmã, Sara, que me fez sentir e entender que a distância não é mais do que um simples número quando há amor envolvido.

Ao Thiago, meu amor, pelos dias e noites que trabalhamos juntos nas jornadas que pareciam ser intermináveis nos laboratórios, muito obrigada!

RESUMO

O alginato é um polissacarídeo formador de filme devido à sua não toxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, e baixo custo. Por sua vez, a quitosana é um dos materiais biológicos mais abundantes do mundo e é depois da celulose e ao lado da lignina, o polímero mais biossintetizado. Entretanto, os filmes ou hidrogéis feitos exclusivamente de biopolímeros têm baixas propriedades de barreira de vapor de água e flexibilidade. A incorporação de nanoZnO em matrizes poliméricas tem demonstrado a capacidade de melhorar as propriedades de barreira, resistência mecânica e estabilidade da embalagem. Assim, com objetivo de desenvolver revestimentos bioativos capazes de retardar a maturação de frutos, foram realizados hidrogéis com Alginato (100%A); Quitosana (100%Q) e três misturas poliméricas nas proporções de 90%(A)-10%(Q), 10%(A)-90%(Q), 50%(A)-50%(Q); todos aditivados com nanoZnO (1% v/v_{gel}), para aplicação em goiabas *in natura* (*Psidium guajava* L.). As frutas se encontravam no estágio de maturação semimaduras e, após a aplicação do revestimento foram armazenadas durante 15 dias, a 21± 1°C e umidade relativa (UR) de 80± 2%. Para averiguar o efeito dos revestimentos sobre o processo de amadurecimento, os frutos em intervalos regulares de 3 dias foram submetidos as determinações de perda de água, textura, cor, lesões externas, pH, sólidos solúveis (SS), acidez total titulável (ATT) e a relação SST/ATT). Os dados demonstraram que os revestimentos inibem o aparecimento de podridão, em função da ação antibacteriana do nanoZnO, e que revestimentos contendo alginato (90%) não retardaram o processo de amadurecimento dos frutos. Entretanto, os revestimentos contendo maior proporção de quitosana na matriz (100% e 90%) protegeram os frutos contra a perda excessiva de água e as alterações físico-químicas relacionadas ao amadurecimento dos frutos foram retardadas. Sendo, assim, é possível aumentar a vida de prateleira de goiabas com o revestimento de quitosana (100%) ou com a blenda quitosana e alginato (90% e 10%, respectivamente), aditivados com nanoZnO.

Palavras chaves: Hidrogéis, blendas poliméricas, embalagens bioativas, nanopartículas.

ABSTRACT

Alginate is a film-forming polysaccharide due to its non-toxicity, biodegradability, biocompatibility, and low cost. As well, chitosan is one of the most abundant biological materials in the world and is after cellulose and next to lignin, the most biosynthesized polymer. However, films or hydrogels made exclusively from biopolymers have reduced water vapor barrier properties and flexibility. In order to improve these properties, several methods have been used, such as the incorporation of ZnONPs in polymer matrices, than has been demonstrated their ability to improve the barrier properties, mechanical strength and stability of the packaging. Thus, in order to develop bioactive coatings capable of delaying fruit maturation, coatings with Chitosan (100% Q); Alginate (100% A) and three polymer blends in the proportions of 50% Q-50% A; 90% Q-10% A and 90% A-10% Q, added with nanoZnO (1% w/v) were made and applied to guavas (*Psidium guajava* L.). The fruits were in a green maturity stage and, after the coating application, were stored for 15 days at 21 ± 1 °C and relative humidity (RH) of $80 \pm 2\%$. To determine the effect of the coatings on the ripening process, the fruits at regular intervals of 3 days were submitted to water loss, texture, color, rot index, pH, SST/ATT ratio). The results showed that the coatings avoid the appearance of rot, as a function of the antibacterial action of nanoZnO, and that coatings containing alginate (90%) did not delay the fruit maturation process. However, the coatings containing a higher proportion of chitosan in the matrix (100% and 90%) protected the fruits against excessive mass loss and the physico-chemical changes related to fruit maturation were also delayed. Thus, it is possible to extend guava shelf life with the chitosan coating (100%) or with chitosan and alginate blends (90% and 10%, respectively), added with nanoZnO.

Key words: Hydrogels, polymer blends, bioactive packaging, nanoparticles (NPs).

LISTAS

INTRODUÇÃO e REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO	12
2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
3. HIPÓTESE.....	14
4. REVISÃO DA LITERATURA	14
4.1 Goiaba	15
4.2 Variedades de goiabas no Brasil.....	15
4.3 Pós-colheita da goiaba.....	16
4.4 Embalagens, função e impacto ambiental	17
4.4 Biopolímeros com alternativa de embalagens.....	19
4.5 Alginato.....	22
4.6 Quitosana	24
4.7 Papel da nanotecnologia na indústria de embalagens	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

ARTIGO

ADIÇÃO DO nanoZnO EM REVESTIMENTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E QUITOSONA PARA APLICAÇÃO EM GOIABAS (*Psidium guajava* L.)

1. INTRODUÇÃO.....	43
1. MATERIAIS E MÉTODOS	45
2.1 Local de desenvolvimento	45
2.2 Elaboração dos revestimentos	45
2.3 Aplicação dos revestimentos nas goiabas	46
2.5 Análises estatísticas	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
3.1 Primeira Etapa.....	48
3.2 Segunda Etapa.....	52
3.2.1 Razão SS/AT.....	52
3.2.2 Firmeza	56
3.2.3 Cor.....	58
3.2.4 Perda de água ou transpiração	62
3.2.5 Podridão.....	65
4. CONCLUSÕES.....	67

REFERÊNCIAS	68
-------------------	----

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO e REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Característica estrutural do alginato.....	22
Figura 2. Formação de "eggbox" durante a gelificação do alginato.....	24
Figura 3. Tipos de compostos que podem ser formados pela inserção de silicato entre as camadas de polímeros.....	27

ARTIGO

Figura 1. Aplicação dos revestimentos em goiabas.....	47
Figura 2. Influência dos revestimentos na perda de água de goiabas armazenadas a $21 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 20 dias.....	51
Figura 3. Efeito de diferentes revestimentos na relação Brix/Acidez (SS/AT) em goiabas armazenadas à temperatura $21 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%$ UR, durante 15 dias.....	56
Figura 4. Efeito de diferentes revestimentos na perda da firmeza em goiabas armazenadas à temperatura $21 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%$ UR, durante 15 dias.....	58
Figura 5. Efeito de diferentes revestimentos na perda de água em goiabas armazenadas à temperatura $21 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%$ UR, durante 15 dias.....	63
Figura 6. Goiabas sem revestimento com aparecimento de lesões inerentes à podridão.....	66

LISTAS DE TABELAS

ARTIGO

Tabela 1. Matriz da composição da blenda biopolimérica de quitosana, alginato e nanoZnO.....46

Tabela 2. Efeito do géis aditivados com nanoZnO na maturação em goiabas armazenadas durante 20 dias.....50

Tabela 3. Análises físico-químicas de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas armazenadas durante 15 dias.....55

Tabela 4. Mudanças nos valores L^* , a^* , b^* e na cor total ΔE^* da casca de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas vs controle, armazenadas durante 15 dias.....61

Tabela 5. Mudanças nos valores L^* , a^* , b^* e na cor total ΔE^* da polpa de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas vs controle, armazenadas durante 15 dias.....62

ANEXOS

Anexo 1: Avaliação da cor externa e interna das frutas revestidas com os géis aditivados com nanoZnO vs frutas controle nos dias 0, 15 e 20.....76

INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos busca sempre satisfazer as necessidades dos consumidores, uma vez que as mudanças nos estilos de vida exigem a evolução na preparação rápida dos alimentos. Os produtos de rápido consumo marcam os novos hábitos de alimentação no mundo. A produção destas últimas tornou-se uma linha importante na indústria devido às suas características de conveniência por serem consideradas como produtos de rápido consumo, e que trazem benefícios para a saúde dos consumidores (GARCÍA *et al.*, 2011; BICO *et al.*, 2010). No entanto, no momento da embalagem e comercialização são utilizados materiais não biodegradáveis como o plástico, portanto, o impacto ambiental não depende apenas do produto em si, mas também da embalagem (MAGNIER *et al.*, 2016).

Além disto, à medida que a sociedade se torna cada vez mais exigente, os usuários (produtores de alimentos, processadores de alimentos, operadores logísticos, retalhistas e consumidores) demandam continuamente embalagens de alimentos inovadoras e criativas para garantir a segurança, qualidade e rastreabilidade dos alimentos (VANDERROOST, 2014). Assim, as embalagens de bens de consumo enfrentam desafios atuais e futuros que garantem alimentos mais seguros e saudáveis com uma vida útil mais longa, uma maior conveniência e que atendam à legislação e mercados globais, oferecendo autenticidade e diminuição na perda de resíduos alimentares cumprindo com as devidas preocupações ambientais (KERRY, 2014; REALINI e BEGONYA, 2014).

Neste sentido, as embalagens bioativas ou materiais compósitos derivados de fontes de base biológica têm atraído a atenção durante os últimos anos, e atualmente é uma das tecnologias mais dinâmicas utilizadas para preservar a qualidade, segurança e propriedades sensoriais dos alimentos. Esses tipos de materiais são considerados seguros para o meio ambiente e atuam como materiais para embalagem de alimentos; sendo uma ótima opção de revestimento para os alimentos minimamente processados, pois os mesmos são susceptíveis ao rápido escurecimento enzimático, contaminação

microbiana e perda indesejável de compostos voláteis, resultando na redução da validade comercial (ATARÉS e CHIRALT, 2016; FABRA *et al.*, 2016; BARBOSA-PEREIRA *et al.*, 2014; KAMMOUNA, *et al.*, 2013; GARCÍA *et al.*, 2011; HANSEN e PLACKETT, 2008; KRISTO *et al.*, 2007).

Diversos polissacarídeos, como o alginato e a quitosana, despertam o interesse das indústrias de embalagens devido a sua capacidade de formação de filmes e géis não tóxicos, apresentando fácil biodegradabilidade, biocompatibilidade (VU e WON, 2013), e particularmente no caso da quitosana, propriedades antibacterianas (CRUZ-ROMERO *et al.*, 2013; CLIFFORD *et al.*, 2007). Entre os atributos desses polissacarídeos encontram-se as propriedades espessantes, de suspensão e estabilização de emulsões; (DHANAPAI *et al.*, 2012; PEREDA *et al.*, 2011; NORAJIT *et al.*, 2010), dando como resultado filmes e hidrogéis altamente transparentes com alta resistência mecânica, (ABDOLLAHI *et al.*, 2013; MOON *et al.*, 2011). Não obstante, estes revestimentos apresentam baixas propriedades de barreira e de vapor de água, além de baixa flexibilidade (HUQ *et al.*, 2012; CHENG *et al.*, 2012).

As nanopartículas pertencem a uma nova geração na tecnologia de embalagens, se tornando uma das áreas mais desenvolvidas e estudadas, pois representam uma alternativa viável para as embalagens convencionais de alimentos. As nanopartículas são utilizadas para melhorar e modificar as propriedades físico-químicas de películas de biopolímeros a base de hidrogel (HUANG *et al.*, 2015; MYUNG *et al.*, 2008). O óxido de zinco, ZnO, em particular, tem despertado considerável interesse porque exibe excelentes propriedades antimicrobianas, além de ser estável e seguro para o consumo humano (SHARMA *et al.*, 2010).

Frente a estas constatações, este trabalho teve como objetivo desenvolver revestimentos comestíveis, a partir da combinação dos biopolímeros alginato e quitosana, em diferentes proporções, aditivados com nanoZnO. Os revestimentos produzidos foram aplicados em goiaba Paluma (*Psidium guajava* L.) com vistas a averiguar a sua eficácia em retardar o amadurecimento, preservando a qualidade, e estendendo a vida de prateleira dos frutos.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

O maior setor de crescimento dentro do domínio do mercado é o das embalagens para alimentos, sendo que o plástico demanda uma parte integrante das operações de processamento de alimentos. As embalagens plásticas, no entanto, ao serem descartadas pelos consumidores, geralmente, causam impacto ambiental. Com emprego de tecnologias limpas, é possível obter uma embalagem primária (contato direto com alimento) comestível e segura para o meio ambiente? O revestimento a base de uma matriz biodegradável de quitosana e alginato aditivada com nanoZnO poderia minimizar as alterações físico-químicas e microbiológicas em frutas ao longo do tempo de armazenamento? Em quais proporções de alginato e quitosana seriam viáveis para obter um revestimento adequado para goiabas?

3. HIPÓTESE

Revestimentos de alginato e quitosana aditivados com nanoZnO apresentam propriedades de barreira que os tornam capazes de prolongar a vida de prateleira de goiabas (*Psidium guajava* L.).

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Goiaba

A goiabeira (*Psidium guajava*) é um arbusto de pequeno porte que pertence à família *Mytaceae*, que, em pomares adultos, pode atingir de três a seis metros de altura (GOUVEIA *et al.*, 2004). A *P. guajava* é nativa da América do Sul (RISTERUCCI *et al.*, 2005), de onde foi levada, pelos navegantes europeus, para as colônias africanas e asiáticas, tendo se espalhado para todas as regiões tropicais; apresenta fácil adaptação às variações ambientais, podendo se desenvolver em climas subtropicais, desde o nível do mar até 1.700 m de altitude (GONZAGA-NETO e SOARES, 1994).

No Brasil, os cultivos de goiabeira com finalidades comerciais estendem-se desde o estado do Rio Grande do Sul até a região Nordeste, ocupando um lugar de destaque entre as frutas tropicais brasileiras, posição garantida pelo seu agradável aroma, sabor peculiar e pelo seu valor nutricional (SILVA *et al.*, 2010). Segundo dados do IBGE, até o ano 2015, o Brasil produziu em torno de 424.305 t do fruto por ano, numa área de aproximadamente 18 mil hectares. Em 2015, o valor da produção teve um acréscimo de 3,4% quando comparado ao obtido em 2014, onde o município de Petrolina, localizado no estado de Pernambuco, liderou o ranking nacional na produção desse cultivo (IBGE, 2016).

4.2 Variedades de goiabas no Brasil

As variedades de goiabeiras diferem em diversos aspectos, como: formato da copa (eretas ou esparramadas), produtividade, início de produção (precoce, meia estação e tardia), número, tamanho e formato do fruto, e coloração da polpa. Diferenciam-se também quanto à finalidade da produção (SILVA *et al.*, 2010). Entre as variedades disponíveis e mais cultivada pelos produtores brasileiros, destaca-se a Paluma. Atualmente, a variedade Paluma é a mais difundida no Brasil, são árvores bastante vigorosas e altamente produtivas (mais de 50 t/ha). Os frutos são grandes (acima de 200 g), de formato piriforme, com “pescoço” curto e casca lisa (**Figura 1**). A sua polpa é espessa (de 1,3 cm a 2,0 cm), firme, de cor interna vermelho-intensa e de sabor agradável (10°Brix de sólidos solúveis e acidez equilibrada). Seus frutos

são adequados para a industrialização; contudo, sua boa conservação pós-colheita vem favorecendo a comercialização para o consumo *in natura* (KAVATI, 2004; GONZAGA-NETO, 2001).

O conhecimento das propriedades químicas e físicas da goiaba é um fator altamente relevante, uma vez que são utilizados como referência para a aceitabilidade das mesmas no mercado nacional e internacional (PEREIRA *et al.*, 2003). Análises físico-químicas para determinação de sólidos solúveis totais (SS), firmeza da polpa (textura), e a coloração do fruto, são os mais utilizados na pós-colheita dado que avaliam os atributos mais importantes que definem o destino do fruto, mas também definem as características que influenciam a consideração quanto à comercialização e preferência do consumidor (CHITARRA e CHITARRA, 2005; AZZOLINI, 2004; CARVALHO *et al.*, 2001; BLEINROTH *et al.*, 1996).

4.3 Pós-colheita da goiaba

Em goiaba (*Psidium guajava* L.), o processo de amadurecimento ocorre rapidamente após a colheita. Goiabas colhidas completamente maduras apresentam capacidade de conservação de um a dois dias (MANICA *et al.*, 2000), o que inviabiliza a comercialização em mercados distantes. Porém, a antecipação da colheita é motivo de dúvidas em relação à qualidade final do fruto (AZZOLINI *et al.*, 2004).

O ponto de colheita da goiaba com destino à comercialização *in natura* varia de acordo com o destino do consumo final. Para a comercialização próxima da área de produção, devem-se colher somente os frutos firmes, de coloração verde com a base ligeiramente amarela. As frutas destinadas aos mercados mais distantes devem ser colhidas ainda verdes, mas fisiologicamente maduras e com polpa firme (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

No entanto, um dos fatores que limitam sua exportação é a intensa atividade metabólica da fruta durante a maturação. Por apresentarem um padrão climático de respiração, os frutos da goiabeira exibem no período pós-colheita uma rápida senescência o que impede seu armazenamento por

maiores períodos (SRISVASTAVA e NARASIMHAN, 1967). Esse aspecto é de fundamental importância, pois dificulta ou até impossibilita o produtor de enviar seus frutos a centros consumidores mais distantes, em face das perdas que ocorrem durante o percurso (LOPES, 1980).

Alterações nas atividades metabólicas ou mudanças fisiológicas de respiração, transpiração e biossíntese são afetadas por fatores intrínsecos (fruto climatérico), e extrínsecos como temperatura, etileno, concentração de O_2 e CO_2 influenciam na conservação e qualidade de frutos (BROSNAN e SUN, 2001). Em condições não controladas a respiração leva à rápida senescência dos tecidos vegetais tornando-os susceptíveis ao ataque de microrganismos e à perda de água (DUSSÁN-SARRIA e HONÓRIO, 2005).

A taxa respiratória e o amadurecimento comportam-se em resposta a diferentes temperaturas, tipo de estocagem e condições de comercialização (BRON *et al.*, 2005). Assim, a modificação da atmosfera de armazenamento das frutas, onde se reduz a concentração de oxigênio (O_2) e aumenta a de gás carbônico (CO_2) em relação aos níveis existentes no ar, pode reduzir a taxa respiratória, de maneira que as frutas possam ter uma maior vida de prateleira (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Assim, devido à alta perecibilidade da goiaba, se reforça a necessidade de estudos pós-colheita que visem retardar esses eventos metabólicos. Geralmente, filmes poliméricos são utilizados para modificar a atmosfera. Esses filmes, devido a propriedades de permeabilidade específicas, promovem o acúmulo de CO_2 e a redução do nível de O_2 em torno do fruto (BRIONES e GUERRERO-BELTRÁN, 2013; BICO *et al.*, 2010; CHITARRA e CHITARRA, 2005).

4.4 Embalagens, função e impacto ambiental

Entre as matérias primas básicas para uso de embalagens, encontram-se os materiais plásticos derivados do petróleo, que têm sido amplamente utilizados desde meados do século XX; principalmente pelo baixo custo, estética, qualidade, conveniência de uso, pelas boas propriedades de processamento e físico-químicas (resistência à chama, cristalinidade, estabilidade térmica, resistência à ação química entre outras) (RHIM *et al.*, 2013).

Embora os materiais de plástico sintético tenham sido extensamente utilizados para as embalagens de vários tipos de alimentos, causam um grave problema ambiental, uma vez que não são facilmente degradados no ambiente após o uso, dessa forma, o impacto dos resíduos persistentes de embalagens plásticas aumenta a preocupação global geral, uma vez que os métodos de disposição são limitados (REALINI e BEGONYA, 2014; KERRY, 2014; BORDES *et al.*, 2009; WEBER *et al.*, 2002).

Após a vida útil de qualquer embalagem, é desejável que os materiais sejam biodegradáveis em um período de tempo razoável sem causar problemas ambientais (VANDEROOST *et al.*, 2014).

As tecnologias de embalagens para alimentos se desenvolvem como uma resposta às demandas dos consumidores ou à tendência da produção industrial aos produtos alimentares ligeiramente preservados, frescos, saborosos e convenientes, com vida útil prolongada e qualidade controlada (OTHMAN, 2014; DAINELLI *et al.*, 2008; MARAN *et al.*, 2013; PASCALL e LIN, 2013).

Segundo Yam *et al.*, (2005), as inovações em embalagens de alimentos devem se direcionar a melhorar, combinar ou ampliar as quatro funções básicas das embalagens alimentares tradicionais, a saber:

- **proteção:** Manter os produtos alimentícios num volume limitado, impedir o vazamento ou destruição e proteger contra possíveis contaminações e mudanças.

- **comunicação:** Referir informações importantes sobre o produto alimentar contido e seu conteúdo nutricional, juntamente com diretrizes sobre preparação.

- **conveniência:** Permitir que os consumidores desfrutem dos alimentos da maneira que quiserem, à sua conveniência. Podem ser projetados para estilos de vida individuais através, por exemplo, de portabilidade e múltiplas porções.

-**contenção:** É a função mais básica de uma embalagem, importante para transporte fácil e a manipulação.

Conseqüentemente, nas últimas décadas, um dos desenvolvimentos mais inovadores na área de embalagens de alimentos são as embalagens "ativas e inteligentes", baseadas em interações deliberadas com o ambiente alimentar ou o próprio alimento (OTHMAN, 2014; DAINELLI *et al.*, 2008).

Enquanto o principal objetivo de segurança para as embalagens tradicionais é ser o mais inativo ou inerte possível, isto é, um mínimo de interação entre o alimento e o pacote, as embalagens ativas superam as funções tradicionais, onde a embalagem, o produto e seu ambiente interagem para prolongar a vida útil dos alimentos para melhorar sua segurança e aprimorar suas propriedades sensoriais, ou bem, para manter e/ou melhorar a sua qualidade (REALINI e BEGONYA, 2014; AHVENAINEN, 2003).

Estas tecnologias são projetadas para satisfazer a crescente demanda por segurança de alimentos com vida útil mais longa, porém, contribuem de igual maneira para uma melhor gestão de estoque, reduzindo o desperdício e favorecendo a diferenciação da marca (OTHMAN, 2014; REALINI e BEGONYA, 2014).

4.4 Biopolímeros com alternativa de embalagens

Os biopolímeros têm sido considerados como potencial substituto ecológico para os materiais de embalagens plásticas não biodegradáveis e não renováveis (RHIM *et al.*, 2013).

Os polímeros naturais são uma matéria prima abundante, acessível e de baixo custo, apresentam boa biocompatibilidade, biodegradabilidade e propriedades mecânicas e de barreira que permitem sejam amplamente utilizados como biomateriais (ZHAO *et al.*, 2013).

Além disso, os biopolímeros podem ser uma opção de revestimento para os alimentos minimamente processados, uma vez que estes se encontram sujeitos ao rápido escurecimento enzimático, contaminação microbiana e perda indesejável de compostos voláteis, resultando numa vida de prateleira limitada (GARCÍA *et al.*, 2017).

Os materiais mais comuns para a formulação de embalagens ativas (filmes e revestimentos comestíveis) são os polissacarídeos (amido, alginato, quitosana), proteínas (glúten, gelatina, proteína do soro do leite, colágeno), lipídios e poliésteres alifáticos, e que a combinação dos mesmos, permite a produção de revestimentos com características melhoradas (FABRA, *et al.*, 2009; TSERKI *et al.*, 2006).

Os filmes comestíveis são camadas finas de biomateriais, que uma vez formados, podem ser colocados nos alimentos ou entre os componentes do mesmo, enquanto que um revestimento comestível é formado como um recobrimento em um produto alimentar (ATARÉS e CHIRALT, 2016).

Para a elaboração destes hidrogéis, podem ser utilizados dois processos principais:

- a) O “*molten state*” que é uma técnica de processamento sem solvente (isto é, extrusão, mistura por fusão) garantindo a mistura de um polímero e os aditivos ativos que podem ser por revestimento de uma camada adicional realizada em estado fundido (mas a uma temperatura mais baixa usando copolímeros), ou por selantes poliméricos (MANSO *et al.*, 2015; GUTIÉRREZ *et al.*, 2009; LÓPEZ *et al.*, 2007; RODRÍGUEZ *et al.*, 2007).
- b) Técnica do “*solution casting*” (BASTARRACHEA *et al.*, 2015; SOARES e HOTCHKISS 1998). Neste processo, uma matriz

polimérica (ou uma mistura) é solubilizada num solvente com os componentes ativos para formar uma solução formadora de filme a ser moldada ou pulverizada sobre um substrato relevante (plástico, papel, alimento).

Ambas as técnicas têm sido muito aplicadas, Fabra *et al.*, (2014), evidenciaram que a capacidade antioxidante do alfa-tocoferol foi reduzida após a incorporação dentro das matrizes de proteína de ervilha e de caseinato de sódio pelo método *solution casting*. Essa redução variou de 20% a 30% em relação aos valores teóricos inicialmente adicionados ao filme, valores altos que foram atribuídos à perda de atividade de alfa-tocoferol durante os estágios de formação de filme, concluindo que é importante definir a técnica de elaboração de filmes ou revestimentos que não interfiram de maneira significativa na atividade dos componentes das matrizes elaboradas.

A justificativa para a incorporação de agentes antimicrobianos na embalagem é a de prevenir o crescimento de microrganismos na superfície dos alimentos, local onde ocorre grande parte da deterioração e da contaminação. Esta abordagem pode reduzir a adição de maiores quantidades de antimicrobianos que geralmente são incorporados nos alimentos (LONG *et al.*, 2016).

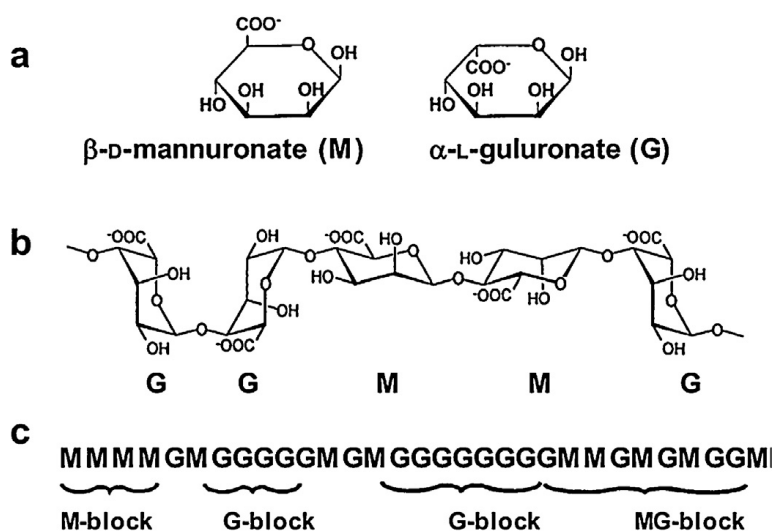
Com exceção das embalagens de atmosfera modificada (EAP), os materiais das embalagens antimicrobianas são projetados para a liberação de moléculas antimicrobianas previamente incorporadas em toda a parede de embalagem, bem como filme; ou camada ativa revestida sobre um substrato polimérico (ou de papel), ou também revestida diretamente sobre o alimento (revestimento comestível) (LONG *et al.*, 2016; GOMIDE -OTONI *et al.*, 2014; SELLAMUTHU *et al.* 2013; MPHU *et al.*, 2013; VALERO *et al.*, 2006).

4.5 Alginato

O alginato é um tipo de polissacarídeo linear, constituído por unidades de ligações (1-4) β -D-manuronato e α -L-gulonato (**Figura 3**). As proporções relativas de manurato e gulonato variam de acordo com a fonte do alginato (JOHNSON *et al.*, 1997). Possui tendência de carga negativa e tem ampla gama de valores de pH (ŞEN *et al.*, 2017; HARN SILAWAT *et al.*, 2006). A fonte mais comum é a parede celular de algas marrons (*Phaeophyceae*), como *Laminaria hiperborea*, *Macrocystis pirifera*, *Laminaria digitata* e *Ascophyllum nodosum* (WANG *et al.*, 2017; SIRVIÖ *et al.*, 2014).

A propriedade mais útil e única do alginato, que causa o gel forte ou o polímero pouco solúvel, refere-se à sua capacidade de reagir com cations metálicos polivalentes, especificamente íons de cálcio (ZACTITI e KIECKBUSCH, 2006). Esses íons ajudam a formar associação entre os blocos M e G. O comprimento dos blocos G determina a capacidade e seletividade do alginato para formar essas interações (**Figura 1**) (HAMBLETON *et al.*, 2012). Os blocos M e os blocos MG não possuem quase seletividade. A difusão de íons na solução de alginato provoca o processo de troca de ânions em que o alginato solúvel em água (por exemplo, forma de sódio ou potássio) tem que trocar seus contra-íons com Ca^{2+} para obter uma transição solução/gel (TAVASSOLI-KAFRANI, 2016).

Figura 1. Característica estrutural do alginato: a) monómeros de alginato, b) conformação da cadeia, c) distribuição do bloco.



Fonte: Tomado de Draget e Taylor (2011).

Em 2013, De'Nobili *et al.*, desenvolveram filmes de alginato reticulados com cálcio, de uma determinada composição de copolímeros e diferentes quantidades de plastificante glicerol com o intuito de conseguir maior estabilidade do L-(+)- ácido ascórbico (AA) objetivando melhorar as propriedades dos biocompósitos. Os pesquisadores avaliaram a capacidade da rede de alginato para preservar o AA da hidrólise ao expô-lo ao armazenamento sob vácuo (25 °C) e umidade relativa (UR) constante (33,3 e 75,2%). A pesquisa determinou que a água foi o fator responsável pela hidrólise do AA e que o aumento do nível de glicerol também pode afetar a estabilidade do AA, ambos dependendo da composição ou característica estrutural do copolímero de alginato utilizado.

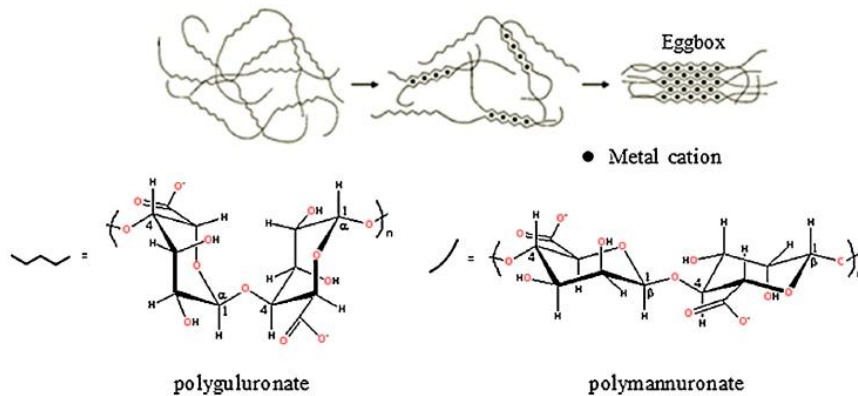
Os biocompósitos à base de alginato têm sido utilizados, por exemplo, como adsorventes para corantes iônicos (SUI *et al.*, 2012), filmes antibacterianos (BENAVIDES *et al.*, 2012), materiais de cicatrização de feridas (SIKAREEPAISAN *et al.*, 2011) materiais de liberação de fármaco de resposta ao estímulo (MOURIÑO *et al.*, 2011), como polímeros matriciais para encapsulamento de drogas, proteínas, células e DNA (ASHIKIN *et al.*, 2010). Geralmente se encontra disponível como sal de sódio chamado alginato de sódio. O alginato de sódio é comumente usado como estabilizante, espessante e gelificante em diversos alimentos, como sopas, molhos e bebidas (ŞEN *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2011).

O alginato atraiu especial interesse na indústria de alimentos devido à sua capacidade de retenção de água e de formação de filmes ou hidrogéis em condições moderadas ou a temperatura ambiente (WANG *et al.*, 2017; PEREDA *et al.*, 2011; NORAJIT *et al.*, 2010; AUGST *et al.*, 2006). Os filmes são altamente transparentes com alta resistência mecânica, no entanto, possuem baixa propriedade de barreira de vapor de água com baixa flexibilidade, assim como outros filmes baseados exclusivamente em biopolímeros (ABDOLLAHI *et al.*, 2013; HUQ *et al.*, 2012; MOON *et al.*, 2011).

As propriedades mecânicas dos filmes estão diretamente relacionadas ao número de sites "eggbox" ou "caixa de ovos". Ao formar géis de alginato, dois resíduos gulorônicos contíguos, ligados diaxialmente, formam uma

cavidade que atua como um local de ligação para íons de cálcio (CUADROS *et al.*, 2012). Este arranjo é representado como modelo de "caixa de ovo" (**Figura 2**).

Figura 2. Formação de "eggbox" durante a gelificação do alginato



Fonte: Tomado de de Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016.

Como resultado, características de filme como resistência mecânica, propriedades de barreira, coesão e rigidez podem ser melhoradas (ZACTITI e KIECKBUSCH, 2006).

4.6 Quitosana

A quitosana é um copolímero constituído por unidades de β - (1-4) -2-acetamido-D-glicose e β - (1-4) -2-amido-D-glucose, este último geralmente excedendo 60%. A quitosana é descrita em termos de grau de desacetilação (GD) e massa molecular média (YOUNES *et al.*, 2014). Esse polissacarídeo é geralmente obtido por desacetilação em condições alcalinas de quitina, que após a celulose é o segundo biopolímero mais abundante encontrado na natureza (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013). Possui as características de um antibacteriano de amplo espectro, não tóxico, biodegradabilidade e biocompatibilidade (LIM e HUDSON, 2003), e é muito usada na preservação de frutas e hortaliças (XIE *et al.*, 2017).

A importância da quitosana consiste nas suas propriedades antimicrobianas (ZHANG *et al.*, 2011; JAYAKUMAR *et al.*, 2010) em conjunto

com a sua capacidade de cationismo e formação de filmes (ELSABEE e ABDU, 2013). Porém, a atividade antifúngica da quitosana tem demonstrado ser menos eficiente que sua atividade contra bactérias (TSAI *et al.*, 2000). A atividade antimicrobiana deste copolímero é inerente devido ao fato de que suas moléculas carregadas positivamente interagem com bactérias carregadas negativamente causando ruptura na célula (ZIVANOVIC *et al.*, 2005; COMA *et al.*, 2003).

Xie *et al.*, (2017) avaliaram a capacidade inibitória da quitosana na formação de biofilme de *V. parahaemolyticus*. Os resultados mostraram que a taxa de inibição e a taxa de erradicação do microrganismo cresceram significativamente com o aumento da concentração de quitosana, evidenciando que a concentração mínima inibitória (MIC) de quitosana contra *V. parahaemolyticus* foi de 1,25 mg/mL, concluindo que altas concentrações de quitosana podem erradicar efetivamente o biofilme maduro de *V. parahaemolyticus*.

Em 2016, Liu *et al.*, investigaram os efeitos combinados dos revestimentos de quitosana e do ácido cítrico na redução da decomposição de frutos de cherimoya. A fruta submetida ao tratamento mostrou taxas mais lentas de decaimento, escurecimento e divisão, que responderam a uma qualidade melhorada e tempo de armazenamento prolongado.

Outras pesquisas têm avaliado os efeitos da quitosana em alimentos que não são de origem vegetal. No ano 2014, por exemplo, Olaimat *et al.*, analisaram as propriedades bactericidas do isotiocianato de alilo incorporado no revestimento de carragenina/quitosana contra *Campylobacter jejuni* em frango. Os autores descobriram que os revestimentos de carragenina/quitosana contendo isotiocianato de alilo tinham um excelente potencial para reduzir a atividade da *C. jejuni* no frango cru. A quitosana e a carragenina são polissacarídeos carregados de forma oposta, de modo que a mistura deles possui boas propriedades de barreira e pode causar a liberação retardada de compostos incorporados de forma inativa.

Assim, a eficácia bactericida da quitosana depende de vários fatores que podem ser classificados em quatro categorias: as espécies de microorganismos relacionadas com fármacos microbianos, o fator intrínseco desta como o peso molecular e concentração, o seu estado físico (revestimento ou filme) e as condições ambientais como pH e temperatura (KONG *et al.*, 2010).

4.7 Papel da nanotecnologia na indústria de embalagens

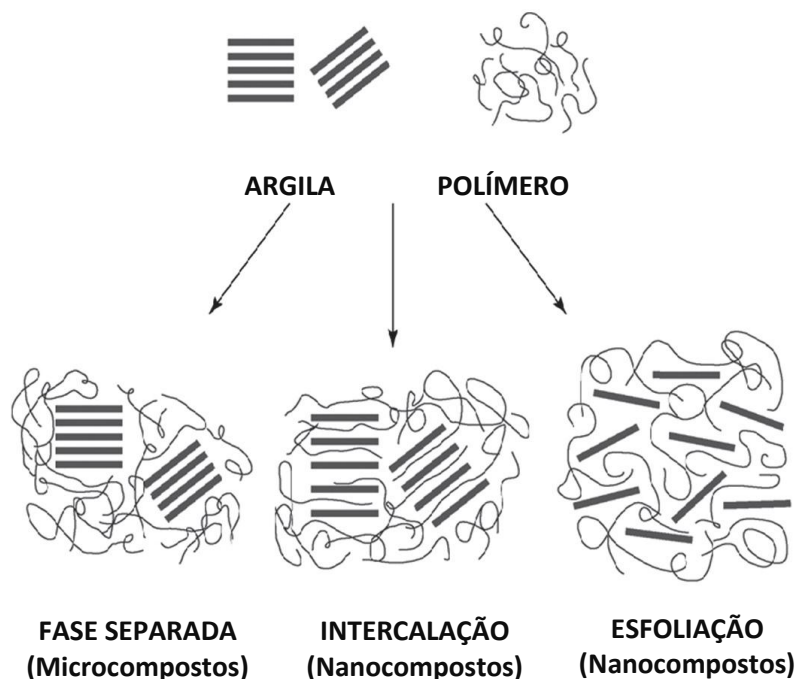
O conceito de nanotecnologia foi introduzido por Richard Feynman em 1959 em uma reunião da American Physical Society (KHADEMHOSEINI e LANGER, 2006). Na embalagem ativa, a nanotecnologia tem um grande e interessante potencial, uma vez que as nanopartículas (NPs) apresentam uma alta relação superfície/volume e propriedades específicas da superfície. Uma dispersão uniforme de NPs altera a mobilidade molecular da matriz, levando a área interfacial a um comportamento de relaxamento e consequentemente altera as propriedades térmicas e mecânicas do material (AZEREDO, 2009; DALMAS *et al.*, 2007).

As nanopartículas são utilizadas para melhorar as propriedades dos materiais de embalagem convencionais disponíveis (SILVESTRE *et al.*, 2011; TIMOTHY, 2011; HENRIETTE, 2009). Estudos têm relatado que as NPs ajudam a reforçar as matrizes poliméricas e a reduzir a permeabilidade dos gases (SILVESTRE *et al.*, 2011; BALAKRISHNAN *et al.*, 2010; ZHONG *et al.*, 2007).

A teoria mais conhecida para explicar as propriedades de barreira dos polímeros baseia-se no modelo de permeabilidade de compósitos proposto por NIELSEN (1967), onde devido à capacidade de constituir barreira aos gases e à água pela adição de argilas, os permeantes são forçados a seguir um caminho tortuoso para se difundir através do material (SORRENTINO *et al.*, 2007; WEISS *et al.*, 2006).

Dois tipos de formações são usados para a inserção de nanocompósitos: a intercalação e a esfoliação (**Figura 3**). Intercalação é o estado no qual as camadas de argila em cadeia estão dispersas no polímero, resultando numa estrutura de multicamadas com alternância entre as camadas inorgânicas e o polímero. Esfoliação é um estado onde as camadas inorgânicas estão completamente separadas e dispersas numa matriz polimérica contínua. A estrutura e as propriedades resultantes desses nanocompósitos podem ser alteradas por meio do controle da interação polímero-argila (WEISS *et al.*, 2006).

Figura 3. Tipos de compostos que podem ser formados pela inserção de silicato entre as camadas de polímeros.



Fonte: Tomado de Sozer e Kokini (2009) e Weiss *et al.*, (2006).

Entre as inúmeras NPs usadas para a funcionalização de materiais poliméricos, encontram-se os íons metálicos (prata, cobre, ouro, platina) e óxidos metálicos (TiO_2 , ZnO , MgO) que são amplamente utilizados, principalmente devido às suas propriedades antimicrobianas (LONG *et al.*, 2016).

Os óxidos metálicos são utilizados como fotocatalisadores que derivam à atividade catalítica absorvendo energia de uma fonte de luz. Quando o fotocatalisador é irradiado com radiação ultravioleta, são geradas espécies de oxigênio altamente reativas o que parece ser um dos mecanismos de sua atividade antimicrobiana (DONG *et al.*, 2011; APPLEROT *et al.*, 2009).

Particularmente, o óxido de zinco (ZnO) é um material inorgânico que pode ser sintetizado usando várias técnicas, tais como métodos de sol-gel (BHADURI e BHADURI, 1997), poliol (LEE *et al.*, 2008), entre outros (VASEEM *et al.*, 2010). Esse óxido possui muitas aplicações em diferentes tipos de indústrias (medicamentos, cosméticos e dispositivos médicos) (YAN *et al.*, 2009), devido ao seu forte efeito antimicrobiano sobre um amplo espectro de micro-organismos (JONES *et al.*, 2008).

Os mecanismos antimicrobianos e citotóxicos das NPs de ZnO não são totalmente compreendidos. Alguns autores concordam que as propriedades antimicrobianas podem estar baseadas nas interações eletrostáticas entre as NPs de ZnO e a superfície de uma célula (agregação e danos) (FERIS *et al.*, 2010).

Hsiao *et al.*, (2013), demonstraram que a área de contato entre um NP e uma célula (ou seja, a área de superfície) é muito importante na determinação da atividade antimicrobiana, pois essa interação permite que as NPs entrem na célula através da membrana celular e alcancem as mitocôndrias, causando a morte celular por via apoptose (FOLDBJERG *et al.*, 2009).

No entanto, pensa-se também que a geração de espécies reativas ao oxigênio (ROS) poderia desempenhar um papel fundamental nesses mecanismos (FANG *et al.*, 2006). Quando as NPs interagem com células, os mecanismos de defesa celular são ativados para minimizar os danos nelas, assim, se a produção (ROS) excede a capacidade antioxidante de uma célula, o dano oxidativo pode ser induzido, causando morte celular (XIE *et al.*, 2011).

Durante a síntese controlada de ZnO, as propriedades físico-químicas (forma, tamanho, composição, dispersão e área superficial) das NPs finais têm

uma influência significativa sobre seus efeitos antimicrobianos e citotoxicidade (ESPARZA-GONZÁLEZ, 2016; SONG e KIM, 2009).

Por outro lado, a energia superficial das NP aumenta com o aumento da área superficial, o que pode, por sua vez, resultar em maior eficácia biológica, garantindo uma alta eficácia na inibição do crescimento de micro-organismos patogênicos, mesmo em concentrações muito baixas (ESPARZA-GONZÁLEZ, 2016; SONG e KIM, 2009).

É importante ressaltar que o ZnO foi listado como GRAS (geralmente reconhecido como seguro) pela “Food and Drug Administration” (FDA) (21CFR182.8991, XIE *et al.*, 2011).

De acordo com o explícito, o grande desafio na indústria de embalagens é desenvolver materiais ativos capazes de preservar suas propriedades mecânicas e de barreira originais, além da sustentabilidade relacionada aos atributos intrínsecos e extrínsecos dos produtos. No entanto, o alto custo associado a essas tecnologias têm sido um dos principais constrangimentos para a introdução mais significativa deste tipo de produtos no “marketing” de algumas indústrias.

Portanto, devem-se priorizar estudos dirigidos à elaboração de compósitos, materiais e/ou matrizes que ofereçam a facilidade na implantação nas linhas dos processos de produção, tendo em conta o custo do investimento, e a velocidade do retorno. Pois tem sido demonstrado que as embalagens de fontes naturais/biodegradáveis em produtos alimentares influenciam positivamente a escolha e a vontade de pagar por parte dos consumidores (VAN LOO *et al.*, 2011; NAPOLITANO *et al.*, 2010; TAGBATA e SIRIEIX, 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHI, M., ALBOOFETILEH, M., REZAEI, M., & BEHROOZ, R. Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers. **Food Hydrocolloids**, v: 32, pp. 416-424, 2013.

AHVENAINEN, R. Active and intelligent packaging: An introduction. R. Ahvenainen (Ed.), **Novel food packaging techniques**, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd; pp. 5–21, 2003.

APPLEROT, G., LIPOVSKY, A., DROR, R., PERKAS, N., NITZAN, Y., LUHART, R., GEDANKEN, A. Enhanced antibacterial activity of nanocrystalline ZnO due to increased ROS-mediated cell injury. **Advanced Functional Materials**, v: 19, pp. 842–852, 2009.

ASHIKIN, W. H. N. S., WONG, T. W., & LAW, C. L.. Plasticity of hot air-driedmannuronate- and guluronate-rich alginate films. **Carbohydrate Polymers**, v: 81(1), pp. 104–113, 2010.

ATARÉS, L., CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v: 48, pp. 51–62, 2016.

AUGST, A.D., KONG, H.J., MOONEY, D.J. Alginate hydrogels as biomaterials, *Macromol.* **Bioscience**, v: 7, pp. 623–633, 2006.

AZEREDO, H. M.C. Nanocomposites for food packaging applications. **Food Research International**, v:42, pp. 1240–1253, 2009.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; FILLETE S. M. H. ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE GOIABAS 'PEDRO SATO. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal**, v: 26, (1), pp. 29-31, 2004.

BALAKRISHNAN, H., HASSAN, A., WAHIT, M.U., YUSSUF, A.A., RAZAK, S.B.A. Novel toughened polylactic acid nanocomposite: mechanical, thermal and morphological properties. **Mater Des**, v: 31, pp. 3289–3298, 2010.

BARBOSA-PEREIRA, L., ANGULO, I., LAGARÓN, J. M., PASEIRO-LOSADA, P., & CRUZ, J. M. Development of new active packaging films containing bioactive nanocomposites. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v: 26, pp. 310-318, 2014.

BASTARRACHEA, L.J., DENIS-ROHR, A., GODDARD, J.M. Antimicrobial food equipment coatings: applications and challenges. **Annual Review of Food Science and Technology**, v:6, pp.97–118, 2015.

BENAVIDES, S., VILLALOBOS-CARVAJAL, R., & REYES, J. E. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. **Journal of Food Engineering**, v: 110, pp. 232–239, 2012.

BHADURI, S., BHADURI, S.B. Enhanced low temperature toughness of Al₂O₃-ZrO₂ nano/nano composites. **Nanostructured Materials**, V:8 (6), pp. 755–763., 1997.

BICO, S., RAPOSO, M., MORAIS, R., MORAIS, A. Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. **Food Control**, v: 20, pp. 508–514, 2010.

BORDES, P., POLLET, E., AVÉROUS, L. Nano-biocomposites: biodegradable polyester/nanoclay systems. **Progress in Polymer Science**, v:20, pp. 125-155, 2009.

BLEINROTH, E. W. Goiaba para exportação: Procedimentos de colheita e pós-colheita. **EMBRAPA-SP Informação Tecnológica: Colheita e Beneficiamento** (FrupeX, 20), pp. 12-25, 1996.

BRIONES, M.C.V., GUERRERO-BELTRÁN, J.A. Recubrimiento de frutas con biopelículas. **Temas selectos de ingeniería de alimentos**, v:7(2), pp. 5-14, 2013.

BRON, I. U. et al. Temperature-related changes in respiration and Q10 coefficient of guava. **Scientia Agricola**, v:62, (5), pp. 458-463, 2005.

BROSNAN, T.; SUN, Da-Wen. Precooling techniques and applications for horticultural products - a review. **International Journal of Refrigeration**, v: 24 (2), pp. 154-170, 2001.

CARVALHO, H. A.; CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, H. S. Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. **Ciência e Agrotecnologia**, v: 25 (3), pp. 605-615, 2001.

CHENG, Y., LU, L., ZHANG, W., SHI, J., & CAO, Y. Reinforced low density alginate based aerogels: Preparation, hydrophobic modification and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v: 88, pp. 1093–1099, 2012.

CLARINVAL, A.M., HALLEUX, J. Classification of biodegradable polymers. In: Smith R, editor. **Biodegradable polymers for industrial applications**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.; pp. 3–31, 2005.

CLIFFORD, L., BURROWS, F., ABAZINGE, M., ONOKPISE, O. Extraction and Evaluation of Chitosan from Crab Exoskeleton as a Seed Fungicide and Plant Growth Enhancer. **Journal of Agricultural and Environmental Science**, v: 2, pp.103–111, 2007.

COMA, V., DESCHAMPS, A., MARTIAL-GROS, A. J. Bioactive Packaging Materials from Edible Chitosan Polymer-Antimicrobial Activity Assessment on Dairy-Related Contaminants. **Food Science**, v: 68 pp. 2788–2792, 2003.

CRUZ-ROMERO, M.C., MURPHY, T., MORRIS, M., CUMMINS, E., KERRY, J.P. Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilisates for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications. **Food Control**, v: 34 pp. 393–397, 2013.

CUADROS, T. R., SKURTYS, O., & AGUILERA, J. M. Mechanical properties of calcium alginate fibers produced with a microfluidic device. **Carbohydrate Polymers**, v: 89, pp. 1198–1206, 2012.

CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manejo**. 2. ed. Lavras: UFLA, p. 785, 2005.

DAINELLI, D., GONTARD, N., SPYROPOULOS, D., ZONDERVAN-VAN DEN BEUKEND, E., TOBBACK, P. **Trends in Food Science & Technology**, v: 19, pp.103-112, 2008.

DALMAS, F., CAVAILLE, J. Y., GAUTHIER, C., CHAZEAU, L., & DENDIEVEL, R. Viscoelastic behavior and electrical properties of flexible nanofiber filled polymer nanocomposites. Influence of processing conditions. **Composites Science and Technology**, v:, 67, pp. 829–839, 2007.

DE OLIVEIRA, P.R., TAKAKI, M., CASTILHO GORAYEB, T.C., DEL BIANCHI, V.L., THOMEIO, J.C., TIERA, M.J., DE OLIVEIRA TIERA, V.A. Synthesis, characterization and antifungal activity of quaternary derivatives of chitosan on *Aspergillus flavus*. **Microbiological Research**, v: 168, pp.50–55, 2013.

DE'NOBILI, M.D., CURTO, L.M., DELFINO, J.M., SORIA, M., FISSORE, E.N., ROJAS, A.M. Performance of alginate films for retention of L-(+)-ascorbic acid. **International Journal of Pharmaceutics**, v: 450, pp. 95-103, 2013.

DHANAPAL, A., SASIKALA, P., RAJAMANI, L., KAVITHA, V., YAZHINI, G., & BANU, M. S. Edible films from polysaccharides. **Food Science and Quality Management**, v: 3, pp.9–18, 2014.

DONG, C., SONG, D., CAIRNEY, J., MADDAN, O.L., HE, G., DENG, Y. Antibacterial study of Mg(OH)₂ nanoplets. **Materials Research Bulletin**, v: 46, pp. 576–582, 2011.

DUSSÁN-SARRIA, S. S., HONÓRIO, S. L. Parâmetros de resfriamento rápido do figo (*Ficus carica* L.) cv. Roxo de Valinhos embalado em caixa de exportação. **Revista UDO Agrícola**, v: 5 (1), pp. 96-102, 2005.

ELSABEE, M.Z., ABDU, E.S. Chitosan based edible films and coatings: a review. **Materials Science and Engineering**, v: 33, pp. 1819–1841, 2013.

ESPARZA-GONZÁLEZ, S.C., SÁNCHEZ-VALDÉS, S., RAMÍREZ-BARRÓN, S.N., LOERA-ARIAS, M.J., BERNAL, J., MELÉNDEZ-ORTIZ, H.I., BETANCOURT-GALINDOA, R. Effects of different surface modifying agents on the cytotoxic and antimicrobial properties of ZnO nanoparticles. **Toxicology in Vitro**, v:37, pp. 134–141, 2016.

FABRA, M. J., JIMENEZ, A., ATARES, L., TALENS, P., & CHIRALT, A. Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. **Biomacromolecules**, v:10, pp.1500-1507, 2009.

FABRA, M. J., JIMENEZ, A., TALENS, P., & CHIRALT, A. Influence of homogenization conditions on physical properties and antioxidant activity of fully biodegradable pea protein- α -tocopherol films. **Food and Bioprocess Technology**, v:7, pp.3569-3572, 2014.

FABRA, M. J., LÓPEZ, R. A., LAGARON, J. M. Use of the electrohydrodynamic process to develop active/bioactive bilayer films for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, v: 55, pp. 11-18, 2016

FERIS, K., OTTO, C., TINKER, J., WINGETT, D., PUNNOOSE, A., THURBER, A., *et al.*. Electrostatic interactions affect nanoparticle-mediated toxicity to Gram-negative bacterium *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. **Langmuir**, v:26 (6), pp. 4429–4436, 2010.

FOLDBJERG, R., OLESEN, P., HOUGAARD, M., DANG, D.A., HOFFMANN, H.J., AUTRUP, H. PVP coated silver nanoparticles and silver ions induce reactive oxygen species, apoptosis and necrosis in THP-1 monocytes. **Toxicology Letters**, v: 190 (2), 156–162, 2009.

GARCÍA, J., RUIZ-DURÁNTEZ, E., VALDERRUTENA, N.E.. Interpenetrating polymer networks hydrogels of chitosan and poly (2-hydroxyethyl methacrylate) for controlled release of quetiapine. **Reactive and Functional Polymers**, V:117, pp. 52–59, 2017.

GARCÍA, M.A., VENTOSA, M., DÍAZ, R., E CASARIEGO, A. Efecto de coberturas de alginato de sodio enriquecidas con aloe vera en la calidad de zanahoria mínimamente processada. **Ciencia y Tecnología de Alimentos**, pp. 62-67, 2011.

GOMIDE-OTONI, C., FERREIRA SOARES, N.F., DA SILVA, W.A., ALVES MEDEIROS, E.A., BAFFA JUNIOR, J.C. Use of allyl isothiocyanate-containing sachets to reduce *Aspergillus flavus* sporulation in peanuts. **Packaging Technology and Science**, v: 27, pp. 549–558, 2014.

GONZAGA-NETO, L. (Ed.). Goiaba: produção. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido. **Frutas do Brasil**, v: 17, 2001.

GONZAGA-NETO, L.; SOARES, J. M. Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: **Embrapa-SPI**: FRUPEX (FRUPEX. Publicações Técnicas, 5), p. 49,1994.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; MEDEIROS, B. G. S.; RIBEIRO, C. F. A.; DUARTE, S. M. A. Determinação de características físico-químicas da goiaba: Goiabeiras adubadas no semi-árido da paraíba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v: 6, pp.35-38, 2004.

GUTIÉRREZ, L., ESCUDERO, A., BATTLE, R., NERÍN, C. Effect of mixed antimicrobial agents and flavors in active packaging films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v: 57, pp.8564–8571, 2009.

HAMBLETON, A., PERPIÑAN-SAIZ, N., FABRA, M. J., VOILLEY, A., DEBEAUFORT, F. The schroeder paradox or how the state of water affects the moisture transfer through edible films. **Food Chemistry**, v: 132(4), pp. 1671–1678, 2012.

HAN, J.H. Antimicrobial food packaging. **Food Technology**, v: 54 (3), pp.56-65, 2000.

HANSEN, N. M. L., & PLACKETT, D. Sustainable films and coatings from hemicelluloses: A review. **Biomacromolecules**, v: 9, pp. 1493–1505, 2008.

HARNSILAWAT, T., PONGSAWATMANIT, R., & MCCLEMENTS, D. J. Characterization of b-lactoglobulin-sodium alginate interactions in aqueous solutions: calorimetry, light scattering, electrophoretic mobility and solubility study. **Food Hydrocolloids**, v: 20, pp. 577–585, 2006.

HENRIETTE, M.C DE A. Nanocomposites for food packaging applications. **Food Research International**, v: 42, pp. 1240–53, 2009.

HSIAO, I.L., HUANG, Y.J., Effects of various physicochemical characteristics on the toxicities of ZnO and TiO nanoparticles toward human lung epithelial cells. **Science of the Total Environment**, v: 409 (7), pp. 1219–1228, 2011.

HUANG, J.Y., LI, X., ZHOU, W. Safety assessment of nanocomposite for food packaging application. **Trends in Food Science & Technology**; v: 45, 187-199, 2015.

HUQ, T., SALMIERI, S., KHAN, A., KHAN, R. A., TIENA, C. L., RIEDL, B. Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate based biodegradable nanocomposite film. **Carbohydrate Polymers**, v: 90, pp. 1757-1763, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2015_v42_br.pdf. Acesso em: 12 dez. 2017.

JAYAKUMAR, R., PRABAHARAN, M., NAIR, S.V., TOKURA, S., SELVAMURUGAN, N. Novel carboxymethyl derivatives of chitin and chitosan materials and their biomedical applications. **Progress in Materials Science**, v:55, pp. 675–709, 2010.

JOHNSON, F. A., CRAIG, D. Q. M., & MERCER, A. D. Characterization of the block structure and molecular weight of sodium alginates. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v: 49, pp. 639–643, 1997.

JONES, N., RAY, B., RANJIT, K. T., & MANNA, A. C. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, v: 279(1), pp. 71–76, 2008.

KAMMOUNA, M., HADDARC, M., KALLELC, T.K., DAMMAKC, M., SAYARI, A. Biological properties and biodegradation studies of chitosan biofilms plasticized with PEG and glycerol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v: 62, pp. 433–438, 2013.

KAVATI, R., MATOS, D., PINTO, A. C. de Q.; SOUSA, E. dos S.; RAMOS, V. H. V. (Ed.). Tecnologia de produção e comercialização da lima ácida 'Tahiti', do maracujá-azedo e da goiaba para o Cerrado. MAPA, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: **Embrapa**, pp.23-45, 2004.

KERRY, J. P. New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products. In J. H. Han (Ed.), **Innovations in food packaging** (2nd ed.). San Diego, USA: Academic Press, pp. 549–584, 2014.

KHADEMHOSEINI, A., & LANGER, R. Nanobiotechnology: drug delivery and tissue engineering. **Chemical Engineering Progress**, v:102 (2), pp.38–42, 2006.

KONG, M., CHEN, X.G., XING, K., PARK, H.J. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. **International Journal of Food Microbiology**, v: 144, pp. 51–63, 2010.

KRISTO, E., BILIADERIS, C. G., & ZAMPRAKA, A. Water vapour barrier and tensile properties of composite caseinate-pullulan films: Biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination. **Food Chemistry**, v:101, pp.753–764, 2007.

LEE, S., JEONG, S., KIM, D., HWANG, S., MOON, J., ZnO nanoparticles with controlled shapes and sizes prepared using a simple polyol synthesis. **Superlattices and Microstructures**, v: 43 (4), pp. 330–339, 2008.

LIM, S.H., HUDSON, S.M.. Review of chitosan and its derivatives as antimicrobial agents and their uses as textile chemicals. **Journal of Macromolecular Science-Polymer Review**, v: 43 (2), pp. 223-269, 2003.

- LIU, K., LIU, J., LI, H., YUAN, C., ZHONG, J., CHEN, Y. Influence of postharvest citric acid and chitosan coating treatment on ripening attributes and expression of cell wall related genes in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v: 198, pp. 1–11, 2016.
- LONG, N.N.V., JOLY, C., DANTIGNY, P. Active packaging with antifungal activities. **International Journal of Food Microbiology**, v: 220, pp. 73–90, 2016.
- LÓPEZ, P., SÁNCHEZ, C., BATTLE, R., NERÍN, C. Development of flexible antimicrobial films using essential oils as active agents. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v: 55, pp. 8814–8824, 2007.
- LOPES, L.C. Anotações de fisiologia pós-colheita de produtos hortícolas. **Embrapa Informática Agropecuária: Embrapa Semiárido**, p.104, 1980.
- MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Fruticultura Tropical-Goiaba: Cinco Continentes**, p. 373, 2000.
- MAGNIER, L., SCHOORMANS, J., MUGGE, R. Judging a product by its cover: Packaging sustainability and perceptions of quality in food products. **Food Quality and Preference**, v: 53 pp. 132–142, 2016.
- MANSO, S., BECERRIL, R., NERÍN, C., GÓMEZ-LUS, R. Influence of pH and temperature variations on vapor phase action of an antifungal food packaging against five mold strains. **Food Control**, v: 47, pp. 20–26, 2015.
- MARAN, J.P., SIVAKUMAR, V., SRIDHAR, R., IMMANUEL, V. P. Development of model for mechanical properties of tapioca starch based edible films. **Industrial Crops and Products**, v: 42, pp. 159–168, 2013.
- MOON, R. J., MARTINI, A., NAIRN, J., SIMONSEN, J., & YOUNGBLOOD, J. Cellulose nanomaterials review: Structure, properties and nanocomposites. **Chemical Society Review**, v: 40, pp.3941 - 3994, 2011.
- MOURIÑO, V., NEWBY, P., PISHBIN, F., CATTALINI, J. P., LUCANGIOLI, S., & BOCCACCINI, A. R. Physicochemical, biological and drug-release properties of gallium crosslinked alginate/nanoparticulate bioactive glass composite films. **Soft Matter**, v: 7, pp. 6705–6712, 2011.
- MPHO, M., SIVAKUMAR, D., SELLAMUTHU, P.S., BAUTISTA-BAÑOS, S.. Use of lemongrass oil and modified atmosphere packaging on control of anthracnose and quality maintenance in avocado cultivars. **Journal of Food Quality**, v: 36, pp.198–208, 2013.
- MYUNG, D., WATERS, D., WISEMAN, M., DUHAMEL, P.E., NOOLANDI, J., TA, C.N. Progress in the development of interpenetrating polymer network hydrogels. **Polymers for Advanced Technologies**, v: 19 (6), pp. 647–657, 2008.
- NAPOLITANO, F., BRAGHIERI, A., PIASENTIER, E., FAVOTTO, S., NASPETTI, S., & ZANOLI, R. Effect of information about organic production on beef liking and consumer willingness to pay. **Food Quality and Preference**, v: 21(2), pp. 207–212, 2010.
- NIELSEN, L. E. Models for the Permeability of Filled Polymer Systems. **Journal of Macromolecular Science**, v: 1, pp.929-942, 1967.

NORAJIT, K., KIM, K. M., & RYU, G. H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v: 98, pp.377-384, 2010.

OLAIMAT, A. N., FANG, Y., & HOLLEY, R. A. Inhibition of *Campylobacter jejuni* on fresh chicken breasts by kappa-carrageenan/chitosan-based coatings containing allyl isothiocyanate or deodorized oriental mustard extract. **International Journal of Food Microbiology**, v: 187, pp. 77–82, 2014.

OTHMAN, S. H. Bio-nanocomposite Materials for Food Packaging Applications: Types of Biopolymer and Nano-sized Filler. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v: 2, pp. 296 – 303. 2014.

PASCALL, M.A., LIN, S.J. The application of edible polymeric films and coatings in the food industry. **Food Processing and Technology**, v: 4, p. 116, 2013.

PEREDA, M., AMICA, G., RACZ, I., & MARCOVICH, N. E. Structure and properties of nanocomposite films based on sodium caseinate and nanocellulose fibers. **Journal of Food Engineering**, v: 103, pp. 76-83, 2011.

PEREIRA, L.M., RODRIGUES, A.C.C., SARANTÓPOULOS, C.I.G., JUNQUEIRA, V.C.A., CARDELLO, H.M.A.B., HUBINGER, M.D. Shelf life of minimally processed guavas stored in modified atmosphere packages. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v: 23 (3), pp. 427-433, 2003.

REALINI, C. E., BEGONYA, M. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v: 98, pp. 404–419, 2014.

RHIM, J. W., PARK, H. M., & HA, C. S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v: 38, pp. 1629-1652, 2013.

RISTERUCCI, A. M., DUVAL, M. F., ROHDE, W., BILLOTE, N. Isolation and characterization of microsatellite loci from *Psidium guajava* L. **Molecular Ecology Notes, Oxford**, v: 5, pp. 745- 748, 2005.

RODRÍGUEZ, A., BATLLE, R., NERÍN, C. The use of natural essential oils as antimicrobial solutions in paper packaging. Part II. **Progress in Organic Coatings**, v: 60, pp. 33–38, 2007.

SELLAMUTHU, P.S., MAFUNE, M., SIVAKUMAR, D., SOUNDY, P. Thyme oil vapour and modified atmosphere packaging reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado. **Science of Food and Agriculture**. v: 93, pp. 3024–3031, 2013.

ŞEN, F., UZUNŞOYB, I., BASTÜRK, E., KAHRAMAN, M. V. Antimicrobial agent-free hybrid cationic starch/sodium alginate polyelectrolyte films for food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, v: 170, pp. 264–270, 2017.

SHARMA, D., RAJPUT, J., KAITH, B.S., KAUR, M., SHARMA, S., 2010. Synthesis of ZnO nanoparticles and study of their antibacterial and antifungal properties. **Thin Solid Films**, v: 519 (3), pp.1224–1229, 2010.

SIKAREEPAISAN, P., RUKTANONCHAI, U., & SUPAPHOL, P. Preparation and characterization of asiaticoside-loaded alginate films and their potential for use as effectual wound dressings. **Carbohydrate Polymers**, v: 83, pp. 1457–1469, 2011.

SILVA, A. L.; MENDES, A. M.S.; OLIVEIRA, A. R.; PARANHOS, B. A. J.; SANTOS, C. A. F.; SILVA, D. J.; BASTOS, D. C.; BATISTA, D. C. *et al.* A cultura da goiaba. 2ª edição, Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, pp. 11-54, 2010.

SILVESTRE C, DURACCIO D, CIMMINO S. Food packaging based on polymer nanomaterials. **Progress in Polymers Science Journal**, v: 36, pp. 1766–82, 2011.

SRISVASTAVA, H.C.; NARASIMHAN, P. Physiological studies during the growth and development of different varieties of guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Horticultural Science**, v:48, pp.97-104, 1967.

SIRVIÖ, J.A, KOLEHMAINEN, A., LIIMATAINEN, H., NIINIMÄKI, J., HORMI, O.E.O. Biocomposite cellulose-alginate films: Promising packaging materials. **Food Chemistry**; v: 151, pp. 343–351, 2014.

SOARES, N. F. F., HOTCHKISS, J. H. Bitterness reduction in grapefruit juice through active packaging. **Packaging Technology and Science**, v: 11, n:1, pp. 9-18, 1998.

SONG, J.Y., KIM, B.S. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. **Bioprocess and Biosystems Engineering**. v: 32 (1), pp. 79–84, 2009.

SORRENTINO, A.; GORRASI, G.; VITTORIA, V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v:18, 2,pp. 84-95, 2007.

SOZER, N., KOKINI, J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector. **Trends in Biotechnology**, Oxford, v: 27, 2, pp. 82-89, 2009.

SUI, K., LI, Y., LIU, R., ZHANG, Y., ZHAO, X., LIANG, H., *et al.* Biocomposite fiber of calcium alginate/multi-walled carbon nanotubes with enhanced adsorption properties for ionic dyes. **Carbohydrate Polymers**, v: 90, pp. 399–406, 2012.

TAGBATA, D., & SIRIEIX, L. Measuring consumer's willingness to pay for organic and Fair Trade products. **International Journal of Consumer Studies**, 32(5), pp. 479–490, 2008.

TAVASSOLI-KAFRANI, E., SHEKARCHIZADEH, H., MASOUDPOUR-BEHABADI. M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v: 137 pp. 360–374, 2016.

TIMOTHY, V.D. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. **Journal of Colloid and Interface Science**, v: 363, pp. 1–24, 2011.

TSAI, G.J.,WU, Z.Y., SU,W.H. Antibacterial activity of a chitooligosaccharide mixture prepared by cellulase digestion of shrimp chitosan and its application to milk preservation. **Journal of Food Protection**, v: 63, pp. 747–752, 2000.

TSERKI V, MATZINOS P, ZAFEIROPOULOS NE, PANAYIOTOU C. Development of biodegradable composites with treated and compatibilized lignocellulosic fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, v: 100, pp. 4703–4710, 2006.

VALERO, D., VALVERDE, J.M., MARTÍNEZ-ROMERO, D., GUILLÉN, F., CASTILLO, S., SERRANO, M. The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v: 41, pp. 317–327, 2006.

VAN LOO, E. J., CAPUTO, V., NAYGA, R. M., MEULLENET, J. F., & RICKE, S. C. Consumers' willingness to pay for organic chicken breast: Evidence from choice experiment. **Food Quality and Preference**, v: 22(7), pp. 603–613, 2011.

VANDERROOST, M., RAGAERT, P., DEVLIEGHERE, F., DE MEULENAER B. Intelligent food packaging: The next generation. **Trends in Food Science & Technology**, v: 39, pp. 47-62, 2014.

VASEEM, M., UMAR, A., HAHN, Y., ZnO nanoparticles: growth, properties, and applications. **Metal Oxide Nanostructures and their Applications**, Chapter: 4, Publisher: American Scientific Publishers, v: 5, pp. 1–36, 2010.

VU, C.H.T., WON, K. Bioinspired Molecular Adhesive for Water-Resistant Oxygen Indicator Films. **Biotechnology progress**, v: 29 (2), pp. 513-519, 2013.

WANG, L-F., SHANKAR, S., RHIM, J-W. Properties of alginate-based films reinforced with cellulose fibers and cellulose nanowhiskers isolated from mulberry pulp. **Food Hydrocolloids**, v: 63, pp. 201-208, 2017.

WEBER, C.J., HAUGAARD, V., FESTERSEN, R., BERTELSEN, G. Production and application of biobased packaging materials for the food industry. **Food Additives & Contaminants**, v: 19, pp.172-177, 2002.

WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; MCCLEMENTS, J. Functional Materials in Food Nanotechnology. **Journal of Food Science**, Chicago, v: 71, 9, pp. 107-116, 2006.

XIE, T., LIAO, Z., LEI, H., FANG, X., WANG, J., ZHONG, Q. Antibacterial activity of food-grade chitosan against *Vibrio parahaemolyticus* biofilms. **Microbial Pathogenesis**, v: 110, pp. 291-297, 2017.

YAN, S., SALLEY, S. O., NG, K. Y. S. Simultaneous transesterification and esterification of unrefined or waste oils over ZnO–La₂O₃ catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v: 353(2), pp. 203–212, 2009.

YANG, J. S., XIE, Y. J., & HE, W. Research progress on chemical modification of alginate: A review. **Carbohydrate Polymers**, v: 84, pp. 33–39, 2011.

YOUNES, I., HAJJI.S., FRACHET, V., RINAUDO, M., JELLOULI, K., NASRI, M. Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. Antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v: 69, pp. 489-498, 2014.

ZACTITI, E. M., & KIECKBUSCH, T. G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree. **Journal of Food Engineering**, v: 77(3), pp.462–467, 2006.

ZHANG, H.Y., LI, R.P., LIU, W.M. Effects of chitin and its derivative chitosan on postharvest decay of fruits: a review. **International Journal of Molecular Science**, v: 12, pp. 917–934, 2011.

ZHAO, W., JIN, X., CONG, Y., LIU, Y., & FU, J. Degradable natural polymer hydrogels for articular cartilage tissue engineering. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v: 88(3), pp. 327–339, 2013.

ZHONG, Y., JANES, D., ZHENG, Y., HETZER, M., DE KEE, D. Mechanical and oxygen barrier properties of organoclay–polyethylene nanocomposite films. **Polymer Engineering and Science**, v: 47, pp. 1101–1107, 2007.

ZIVANOVIC, S., CHI, S., A.F. DRAUGHON, J. Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. **Food Science**, v: 70, pp. 45–51, 2005.

ARTIGO:

**Adição do nanoZnO em revestimentos de alginato de sódio e quitosona
para aplicação em goiabas (*Psidium guajava* L.)**

RESUMO

Revestimentos elaborados com quitosana (100%Q); Alginato (100%A) e com três blendas poliméricas nas proporções de 50%Q-50%A; 90%Q-10%A e 90%A-10%Q, aditivados com nanoZnO (1% v/v_{gel}), foram aplicados em goiabas *in natura* (*Psidium guajava* L.). As frutas se encontravam no estágio de maturação semimaduras e, após a aplicação do revestimento foram armazenadas durante 15 dias, a 21± 1°C e umidade relativa (UR) de 80± 2%. Para averiguar o efeito dos revestimentos sobre o processo de amadurecimento, os frutos em intervalos regulares de 3 dias foram submetidos as determinações de perda de água, textura, cor, lesões externas, pH, relação SST/ATT. Os dados demonstraram que os revestimentos dificultam o aparecimento de podridão, em função da ação antibacteriana do nanoZnO, e que revestimentos contendo alginato (90%) não retardaram o processo de amadurecimento dos frutos. Entretanto, os revestimentos contendo maior proporção de quitosana na matriz (100% e 90%) protegeram os frutos contra a perda excessiva de massa e as alterações físico-químicas relacionadas ao amadurecimento dos frutos foram retardadas. Sendo, assim, é possível ampliar a vida de prateleira de goiabas com o revestimento de quitosana (100%) ou com a blenda quitosana e alginato (90% e 10%, respectivamente), aditivados com nanoZnO.

Palavras chaves: Hidrogéis, blendas poliméricas, embalagens bioativas, nanopartículas.

ABSTRACT

Coatings made with chitosan (100% Q); Alginate (100% A) and three polymer blends in the proportions of 50% Q-50% A; 90% Q-10% A and 90% A-10% Q, added with nanoZnO (1% 1%v/v_{gel}) were applied to guavas (*Psidium guajava* L.). The fruits were in a green maturity stage and, after the coating application, were stored for 15 days at 21 ± 1 °C and relative humidity (RH) of $80 \pm 2\%$. To determine the effect of the coatings on the ripening process, the fruits at regular intervals of 3 days were submitted to water loss, texture, color, rot index, pH, SST/ATT ratio. The results showed that the coatings avoid the appearance of rot, as a function of the antibacterial action of nanoZnO, and that coatings containing alginate (90%) did not delay the fruit maturation process. However, the coatings containing a higher proportion of chitosan in the matrix (100% and 90%) protected the fruits against excessive mass loss and the physico-chemical changes related to fruit maturation were also delayed. Thus, it is possible to extend guava shelf life with the chitosan coating (100%) or with chitosan and alginate blends (90% and 10%, respectively), added with nanoZnO.

Key words: Hydrogels, polymer blends, bioactive packaging, nanoparticles (NPs).

1. INTRODUÇÃO

A goiaba é considerada uma fruta importante devido a seu alto valor nutricional proveniente de polifenóis, carotenoides e ácido ascórbico (THAIPONG *et al.*, 2006). O ponto de colheita da goiaba com destino à comercialização *in natura* varia de acordo com o destino do consumo final. Para a comercialização próxima da área de produção, devem-se colher somente os frutos firmes, de coloração verde com a base ligeiramente amarela, porém, os destinados aos mercados mais distantes devem ser colhidos ainda verdes, mas fisiologicamente maduros (CHITARRA E CHITARRA, 2005). No entanto, por ser uma fruta climatérica, o processo de maturação continua mesmo após a colheita, exibindo uma alta taxa de respiração devido às atividades metabólicas, o que contribui na sua rápida perecibilidade, impedindo seu armazenamento por longos períodos de tempo (NAIR *et al.*, 2018; SINGH e PAL, 2008; SRISVASTAVA e NARASIMHAN, 1967).

Apesar da qualidade da fruta estar associada ao manejo e às condições climáticas durante a fase da produção, requer-se, a utilização de processos que evitem a deterioração microbiológica e minimizem as mudanças fisiológicas e bioquímicas, responsáveis pela degradação da cor, textura e sabor após colheita. O controle de alguns fatores extrínsecos como a alteração dos gases da atmosfera por meio da redução do teor de O₂ para diminuir a taxa respiratória entre o fruto e o entorno, pode ser feito através de tecnologia de embalagens, no entanto, precisam-se tecnologias que permitam garantir a qualidade dos alimentos, o aumento da vida de prateleira e ainda tenham um baixo impacto ambiental (MURMU e MISHRA, 2018; WIKSTROM *et al.*, 2016; MARIESSE *et al.*, 2013; PARK *et al.*, 1998; AHVENAINEN, 1996; CHITARRA E CHITARRA, 2005; PANTASTICO, 1975).

O alginato e a quitosana vêm despertando a atenção das indústrias de embalagens pela capacidade de formação de filmes e géis não tóxicos, possuindo biodegradabilidade, biocompatibilidade, baixo custo (COSME SILVA *et al.*, 2017; ROMANAZZI, *et al.*, 2017; FABRA *et al.*, 2014; MARTÍNEZ- ABAD *et al.*, 2014; VU e WON, 2013) e, propriedades antibacterianas, no caso da

quitosana, (GARCÍA *et al.*, 2017; CRUZ-ROMERO *et al.*, 2013; CLIFFORD *et al.*, 2007). Os géis ou revestimentos comestíveis são camadas de biocompósitos que ao serem aplicados em alimentos promovem impacto positivo na conservação, distribuição e comercialização, protegendo-os de danos físicos, químicos e microbiológicos. A estes revestimentos pode-se ainda adicionar substâncias que possuam ação antioxidante, antimicrobiana, além de compostos nutracêuticos e aromatizantes, e outros aditivos, de modo a melhorar a qualidade, manuseio e integridade do produto revestido (NAIR *et al.*, 2018; TAVASSOLI-KRAFANI *et al.*, 2016). Sendo assim, filmes e revestimentos comestíveis tem a vantagem de serem elaborados a partir de blendas biopoliméricas, além de incorporar vários ativos na matriz, aumentando os atributos funcionais dessas embalagens, visto que ao serem produzidos exclusivamente com um tipo de biopolímero podem apresentar baixas propriedades de barreira de vapor de água, e flexibilidade (GARCÍA *et al.*, 2017; HUQ *et al.*, 2012; CHENG *et al.*, 2012;), restringindo desta forma o seu uso (OH e HWANG, 2013).

As nanopartículas representam uma alternativa para melhorar e modificar as propriedades físico-químicas dos filmes e hidrogéis de biopolímeros (HUANG *et al.*, 2015; MYUNG *et al.*, 2008). Dentre elas, o nanoZnO, em particular, tem despertado considerável interesse por exibir propriedades antimicrobianas, apresentando alta eficácia na inibição do crescimento de microrganismos patogênicos (RAGUVARAN *et al.*, 2017), mesmo ao ser adicionado em concentrações muito baixas (ESPARZA-GONZÁLEZ *et al.*, 2016; FERIS *et al.*, 2010).

Este trabalho teve como objetivo desenvolver revestimentos comestíveis, a partir da combinação dos biopolímeros alginato e quitosana, em diferentes proporções, aditivados com nanoZnO. Os revestimentos produzidos foram aplicados em goiaba Paluma (*Psidium guajava* L.) para averiguar a sua eficácia em retardar o amadurecimento, preservando a qualidade, e estendendo a vida de prateleira dos frutos.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de desenvolvimento

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Bioprocessos do Departamento Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e no Laboratório de Análises Físico-Químico de Alimentos do Departamento de Ciências Domésticas da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

2.2 Elaboração dos revestimentos

O estudo foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira, foram elaborados os revestimentos utilizando-se as proporções dos biopolímeros definidas por Vasconcelos *et al.*, (2015) (**Tabela 1**) e aplicados em cinquenta e um goiabas. Para a segunda parte do estudo, os revestimentos selecionados na primeira etapa por terem apresentado os melhores resultados, foram aplicados em 205 (duzentas e cinco) goiabas. As frutas foram adquiridas em estabelecimento comercial (CEASA /PE), na cidade de Recife, considerando como critérios de seleção frutas firmes de aparência uniforme, ausência de manchas, depressões ou rachaduras, de cor homogênea verde clara.

Tabela 1. Matriz da composição da blenda biopolimérica de quitosana, alginato e nanoZnO.

	Revestimento (R1)	Revestimento (R2)	Revestimento (R3)	Revestimento (R4)	Revestimento (R5)
QUITOSANA (Q)	100%	0	50%	10%	90%
ALGINATO (A)	0	100%	50%	90%	10%
nanoZnO	1%	1%	1%	1%	1%

Para a elaboração dos géis utilizou-se o método de *solution casting*, descrito por Soares e Hotchkiss (1998), com as seguintes modificações: 5% (m/v) de alginato de sódio foram solubilizados em água deionizada, e 5% (m/v) de quitosana em uma solução de ácido acético 0,5% (v/v), ambos mantidos em

agitação constante a 18.000 rpm (homogeneizador rotativo/TE-102, Tecnal), $24 \pm 2^\circ\text{C}$, até a solubilização completa do biopolímero (7 minutos). Em seguida foi adicionado glicerol 2% (v/v), e a agitação foi mantida por mais 6 minutos. Após este tempo, adicionou-se nanoZnO (1%, v/v_{gel}) (Vasconcelos *et al.*, 2015), sob agitação durante 2 minutos. Todos os hidrogéis permaneceram em repouso durante 15 minutos antes da aplicação.

2.3 Aplicação dos revestimentos nas goiabas

As goiabas foram higienizadas e sanitizadas em uma solução de hipoclorito de sódio 2% (v/v), durante 15 min. Após secagem manual, as goiabas foram imersas nos géis durante 3 minutos, em seguida, foram retiradas e colocadas numa grade, para retirar o excesso de gel. Na sequência, as goiabas foram acondicionadas em bandejas de poliestireno e armazenadas a $21 \pm 1^\circ\text{C}$ e 80% UR num local fechado, durante um período de 20 dias.

2.4 Determinações analíticas

Na primeira etapa do estudo, em intervalos regulares de 24 horas, amostras foram retiradas ao acaso e submetidas à determinação de perda de massa e observação visual para identificar danos ou lesões devido à podridão. O peso individual de cada fruta, antes da aplicação do revestimento e a cada 24 h durante o período de estocagem foi registrado utilizando balança semi-analítica, a perda de massa foi calculada pela diferença de peso inicial e final.

Na segunda parte do estudo, em intervalos regulares de 3 dias, amostras de frutos, retirados ao acaso, foram submetidos as seguintes determinações analíticas:

- a) Perda de massa, calculada pela diferença de peso inicial (antes do revestimento) e peso final;
- b) Danos ou lesões, avaliada por observação visual, e o resultado expresso em porcentagem de goiabas com podridão;
- c) Acidez titulável (AT), segundo metodologia proposta pela AOAC (2002), e os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico (% Ac. cítrico);

- d) pH por leitura direta em um pHmetro digital (modelo pH250);
- e) Teor de sólidos solúveis (SS) por leitura direta em refratômetro digital de bancada (marca reichert r2i300) e resultados expressos em °Brix;
- f) Relação SS/AT;
- g) Textura, utilizando-se um analisador de textura digital (CT3-1500GR), com probe de 8 mm de diâmetro. Procedendo-se da seguinte forma: retirou-se superficialmente uma porção da casca, cuidando que a espessura não ultrapassasse 1 mm, com auxílio de uma lâmina de corte. As medidas foram efetuadas em três pontos equidistantes, na região equatorial e os resultados expressos em $N\ cm^{-2}$;
- h) Determinação objetiva da cor usando colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta®, Japan). Para a determinação da cor externa (casca dos frutos) foram tomadas quatro leituras por fruta, duas delas em lados opostos a sua região equatorial e duas nos vértices opostos. Para avaliar a cor da polpa, as goiabas foram cortadas transversalmente, tomando uma leitura na região central de cada metade.

A cor, expressa no sistema CIE Lab ($L^* a^* b^*$), é especificada numericamente em um espaço esférico tridimensional, definido pelos três eixos perpendiculares: o eixo “L” (luminosidade) variando de preto (0%) a branco (100%); o eixo “a”, do verde (-a) ao vermelho (+a) e do eixo “b”, do azul (-b) ao amarelo (+b).

2.5 Análises estatísticas

Todos os ensaios da primeira parte do estudo foram realizados em triplicata, e os da segunda etapa com nove repetições, empregando um desenho fatorial completamente aleatório de dois fatores (Tempo e Tipo de Revestimento). Os dados foram submetidos a análises de variância de duas vias (ANOVA) para determinar os efeitos causados pelos tratamentos e pelo tempo de armazenamento sobre a maturação da goiaba, utilizando JMP Pro (versão 12.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.). O teste de Dunnett foi

aplicado aos dados da primeira etapa do estudo e o teste de Tukey na segunda etapa dos experimentos para comparação entre as médias ($P < 0,05$). Os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Primeira Etapa

Na primeira etapa do estudo, as goiabas com revestimento 100%A e 50%Q-50%A, bem como as frutas controles, mantiveram-se até o 15º dia do armazenamento em condições de consumo (cor, aroma e dureza próprios da frutas madura), enquanto que as frutas dos demais tratamento permaneceram adequadas durante todo o período de armazenamento (20 dias). Esta adequação foi atestada, principalmente, pela ausência visível de lesões. As frutas sem revestimento (controle) atingiram o grau máximo de maturação no décimo quinto (15) dia, e apresentaram sinais de podridão no epicarpo da fruta (**Anexo 1**). As frutas revestidas com 100%A e 10%Q-90%A, assim com as frutas controle, apresentaram, nesse mesmo período de tempo, casca de cor amarelada e polpa vermelha-escura, indicando que se encontravam maduras, porém, sem apresentar sinais de podridão (**Tabela 2**). Considerando a propriedade antibacteriana do nanoZnO é possível que a sua presença nos revestimentos tenha inibido o crescimento do fungo *Phyllosticta psidicola* que é um dos principais microrganismos causantes de podridão na goiaba. Esta evidencia é reforçada ao observar que nos frutos com revestimento de alginato, biopolímero que não possui esta propriedade, também houve ausência de podridão (**Anexo 1**).

As frutas revestidas com 100%Q; 10%Q-90%A e 90%Q-10%A apresentaram aos 20 dias de armazenamento cor externa verde-clara e cor interna rosa-claro, indicativo de não terem alcançado o grau máximo de amadurecimento, portanto, os revestimentos foram eficazes em retardar o amadurecimento das frutas, tendo como consequência uma maior vida de prateleira.

Tabela 2. Efeito do géis aditivados com nanoZnO na maturação em goiabas armazenadas durante 20 dias.

Tratamento	Dias											
	0			5			15			20		
	CE	CI	P	CE	CI	P	CE	CI	P	CE	CI	P
Controle	VE	RC	NE	VC	RE	NE	A	DR	E	-	-	-
100% Q	VE	RC	NE	VE	RC	NE	VC	RC	NE	VC	RC	NE
100% A	VE	RC	NE	VC	RE	NE	A	DR	NE	-	-	-
50%-50%	VE	RC	NE	VE	RC	NE	VC	RC	NE	VC	RC	NE
10%Q-90%A	VE	RC	NE	VE	RC	NE	VC	RC	NE	VC	RC	NE
10%A-90%Q	VE	RC	NE	VC	RE	NE	A	DR	NE	-	-	-

Cor externa (**CE**) avaliada como: VE: verde escuro; VC: verde-claro; A: amarelo. Cor interna (**CI**) avaliada como: RC: rosa-claro; RE: rosa-escuro; DR: vermelho-escuro. Podridão (**P**): Existe (E), Não existe (NE). Frutas não avaliadas devido ao alto grau de maturação (-).

Em todos os tratamentos, incluindo o controle, observa-se que ocorreu perda de massa do fruto. Nas goiabas, por serem frutas climatéricas, o processo de amadurecimento ocorre rapidamente após a colheita (SRISVASTAVA e NARASIMHAN, 1967), possuindo uma clara transição entre o crescimento e a senescência, caracterizado pelo aumento da atividade respiratória e da biossíntese de etileno (RODHES, 1980). No entanto, pode-se evidenciar que a perda de peso foi maior nos frutos revestidos com o tratamento 50% A - 50% Q; (25,2%) suplantando a perda de massa das frutas controle (23,2%) e das demais frutas (**Figura 2**). Evidencia-se, portanto, que revestimentos elaborados com iguais proporções dos biopolímeros, mesmo com a adição do nanoZnO, não apresentam propriedade de barreira que minimize a perda de água, e consequente perda de massa das frutas.

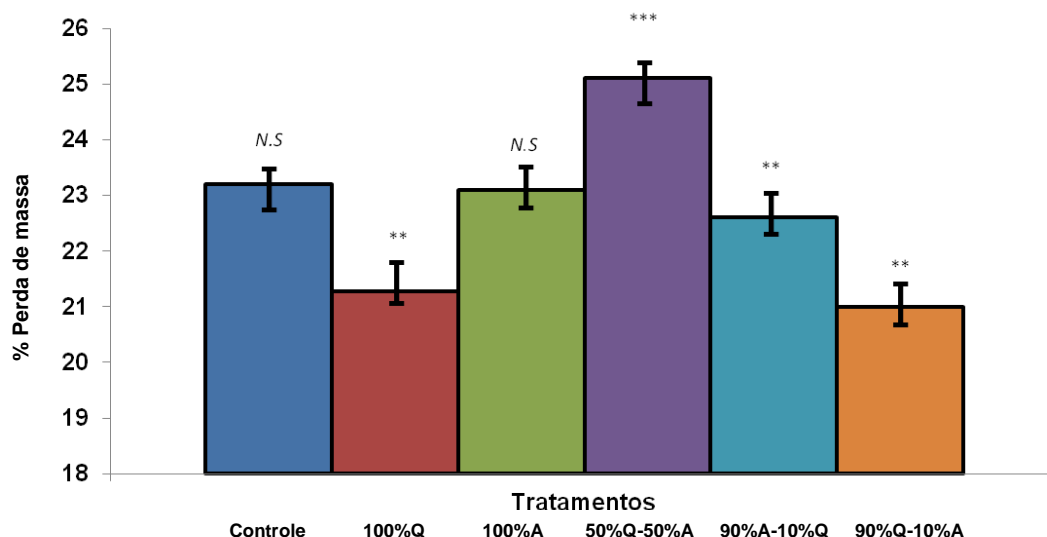


Figura 2. Influência dos revestimentos na perda de água de goiabas armazenadas a $21 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 20 dias. (**; *** diferença significativa em $P < 0,01$ e em $P < 0,001$, respectivamente; N.S não há diferença significativa em $P < 0,05$). Revestimentos elaborados com 100%Quitosana; 100%Alginato; 50%Quitosana-50%Alginato; 90% Alginato- 10% Quitosana; 90%Quitosana-10%Alginato; Controle: Sem revestimento. Todos os hidrogéis possuem 1% de nanoZnO.

As frutas revestidas com géis de 100% A, exibiram perda de massa semelhante a das frutas controles (sem revestimento). Demonstrando que o alginato mesmo aditivado com 1% nanoZnO não foi eficaz em minimizar a perda de massa das frutas. Entretanto, observa-se que os demais revestimentos protegeram melhor os frutos contra a perda de massa (**Figura 2**).

O propósito da adição de nanoZnO nos géis é o de melhorar as propriedades mecânicas e barreira de vapor de água dos biopolímeros, ademais da ação bactericidas (ŞEN, *et al.*, 2017), e desta maneira, criar uma atmosfera modificada entre o fruto e o revestimento que possa reduzir a respiração e transpiração dos frutos, prolongando de esta maneira a vida de prateleira da goiaba.

Contudo, a maior perda de massa das frutas revestidas com 100%A, bem com 50%Q-50%A, indicam que na preparação do gel (0,5% m/v) com alginato de baixa viscosidade, o nanoZnO (1% v/v_{gel}), não favoreceu a formação de redes ou estruturas entre o biopolímero e as nanopartículas (NPs) de modo a permitir diminuição na troca gasosa entre as frutas e o local de armazenamento.

Kaklamani *et al.*, (2014), afirmam que as propriedades mecânicas dos hidrogéis de alginato podem ser influenciadas pela variação do número e a sequência dos monómeros M e G, ou bem, pela concentração do polímero em solução. Observou-se que revestimentos contendo 100%A e 90%A tiveram pouca aderência no epicarpo das goiabas, podendo ser explicado pela baixa viscosidade do alginato ou pela concentração deste no gel (0,5% m/V).

Segundo Drury *et al.*, (2004), o número e sequência de M e G no alginato é o que define a rigidez das soluções filmogênicas, pois quando o alginato possui um alto teor de G, tende a produzir hidrogéis com maior rigidez e resistência mecânica do que aqueles com alto teor de M.

Os dados nesta primeira etapa do estudo demonstram que os revestimentos formulados com 100% Q, 90%Q-10%A e 10%Q-90%A foram mais eficazes em proteger os frutos contra a perda de peso, e em retardar o processo de amadurecimento, permitindo que as frutas chegassem até aos 20 dias de armazenamento em condições adequadas ao consumo. Sendo assim, estes revestimentos foram selecionados para dar continuidade ao estudo.

3.2 Segunda Etapa

3.2.1 Razão SS/AT

Os revestimentos 100%Q, 90%Q-10%A e 10%Q-90%A não apresentaram interações significativas entre eles e o tempo de armazenamento ($P > 0,05$) para o teor de sólidos solúveis e acidez titulável. Na **Tabela 3**, observa-se que a acidez das frutas diminuiu significativamente durante todo o tempo de armazenamento para todos os tratamentos ($P < 0.001$). Demonstrando que o processo de amadurecimento continuou a ocorrer durante todo o período de armazenamento. De acordo com Lira Júnior *et al.* (2005), valores de acidez elevados são importantes para a agroindústria, tendo em vista não haver a necessidade de adição de ácido cítrico para a conservação da polpa. Não obstante, o objetivo desta pesquisa é o consumo da fruta *in natura*, e Segundo Lima *et al.* (2001), baixos teores em ácidos são uma característica desejável para este fim.

Serrano *et al.* (2007) reportaram trabalho com várias cultivares onde a acidez decresce conforme o amadurecimento, atribuindo-o ao fato dos ácidos orgânicos serem um dos principais substratos utilizados nos processos respiratórios.

Contudo, as frutas tratadas com 100%Q-1% nanoZnO mostraram que a partir do sexto dia mantiveram valores constantes, e ao final do tempo de armazenamento apresentaram uma acidez significativamente maior em comparação com as outras três condições ($P < 0.001$). Isso pode ser decorrente dos revestimentos que promovem uma diminuição na degradação dos ácidos orgânicos, oferecendo às goiabas um ambiente controlado com baixo oxigênio (RANA *et al.*, 2015).

Em relação aos teores de SS houve um aumento gradual em todas as frutas ($P < 0.001$) (**Tabela 3**), entretanto, observa-se que maiores valores de SS foram apresentados pela frutas controles. Contudo, aquelas revestidas com 100%Q conseguiram manter menores valores de SS em comparação ao grupo

controle e as revestidas com 90%Q-10%A e 10%Q-90%A ($P < 0.001$). Este fato demonstra que o processo de amadurecimento ocorria mais intensamente nas frutas sem revestimento e nas frutas com revestimento de 90%Q-10%A e 10%Q-90%A.

Bashir e Abu-Goukh (2003) mencionaram que teor de SS da goiaba aumenta com o tempo de maturidade devido à hidrólise do amido em açúcares, e a maior taxa desse aumento ocorre no estágio de maturação do pico climático; após o qual, o aumento do açúcares totais é atribuído ao aumento da atividade das enzimas responsáveis pela hidrólise de amido e à diminuição da taxa de quebra de açúcar pela respiração. Segundo Vieira *et al.*, (2016), o aumento dos níveis de SS, também, pode estar associado à perda relativa de umidade.

No entanto, nas frutas revestidas com 100%Q, onde se observa uma menor taxa de SS, pode ser explicado segundo Khaliq *et al.*, (2015), pela redução na taxa de respiração da fruta, reduzindo também a formação e a utilização de metabolitos o que resulta numa menor concentração de sólidos solúveis e uma conversão mais lenta de frutos no final do armazenamento.

Tabela 3. Análises físico-químicas de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas armazenadas durante 15 dias

Revestimentos	Dias (Temperatura 21 ± 1 °C, Umidade Relativa 80 ± 2 %)					
	0	3	6	9	12	15
pH						
Controle	3.8 ± 0.2 ^A	3.6 ± 0.0 ^{eA}	3.7 ± 0.1 ^{cdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdeA}	3.8 ± 0.0 ^{abA}	3.9 ± 0.1 ^{aA}
100%Q	3.8 ± 0.2 ^A	3.6 ± 0.1 ^{deA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdeB}	3.8 ± 0.1 ^{abcA}
90%Q-10%A	3.7 ± 0.2 ^{AB}	3.6 ± 0.1 ^{cdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdA}	3.8 ± 0.1 ^{abcA}	3.8 ± 0.1 ^{abcA}
90%A-10%Q	3.7 ± 0.2 ^{AB}	3.6 ± 0.1 ^{deA}	3.6 ± 0.1 ^{bcdeA}	3.7 ± 0.1 ^{bcdA}	3.7 ± 0.1 ^{abcdB}	3.8 ± 0.1 ^{abcA}
SS						
Controle	10.5 ± 1.0 ^A	12.5 ± 2.2 ^{cdeA}	12.7 ± 2.9 ^{cdeA}	13.9 ± 1.1 ^{abcB}	14.0 ± 1.1 ^{abcB}	16.4 ± 1.3 ^{aA}
100%Q	10.6 ± 1.0 ^A	9.8 ± 1.5 ^{eB}	10.0 ± 1.0 ^{deB}	11.7 ± 2.3 ^{cdeB}	12.9 ± 3.3 ^{bcdA}	13.6 ± 2.2 ^{abcB}
90%Q-10%A	10.6 ± 1.0 ^A	11.5 ± 1.1 ^{cdeA}	12.4 ± 1.0 ^{cdeA}	12.9 ± 1.6 ^{bcdAB}	13.9 ± 1.9 ^{abcAB}	14.5 ± 1.5 ^{abcA}
90%A-10%Q	10.6 ± 1.0 ^A	12.1 ± 1.6 ^{cdeA}	12.5 ± 1.9 ^{cdeA}	13.0 ± 1.1 ^{bcdB}	14.3 ± 2.2 ^{abcB}	15.9 ± 1.3 ^{abcA}
Acidez (%)						
Controle	1.1 ± 0.1 ^A	0.8 ± 0.0 ^{aA}	0.7 ± 0.0 ^{abcA}	0.6 ± 0.0 ^{defgA}	0.6 ± 0.1 ^{fghA}	0.5 ± 0.1 ^{ghB}
100%Q	1.1 ± 0.1 ^A	0.8 ± 0.1 ^{aA}	0.7 ± 0.1 ^{abA}	0.7 ± 0.1 ^{abcdB}	0.7 ± 0.1 ^{bcdeB}	0.6 ± 0.1 ^{cdefgA}
90%Q-10%A	1.0 ± 0.1 ^A	0.7 ± 0.1 ^{abB}	0.6 ± 0.0 ^{abcdB}	0.6 ± 0.1 ^{bcdefA}	0.6 ± 0.1 ^{defgA}	0.5 ± 0.0 ^{ghB}
90%A-10%Q	1.0 ± 0.1 ^A	0.7 ± 0.1 ^{aB}	0.6 ± 0.1 ^{abcdeB}	0.5 ± 0.1 ^{efghA}	0.5 ± 0.0 ^{ghC}	0.5 ± 0.1 ^{hB}

Na mesma fila, diferentes letras minúsculas representam diferencia significativa a $P < 0.001$. Na mesma coluna letras maiúsculas diferentes representam diferencia significativa a $P > 0,05$. Dados das medias de nove repetições ± desvio padrão.

A relação SS/AT, importante indicador de qualidade do *flavor* dos frutos e determinante nas interações que ocorrerão entre o suco e receptores de paladar na língua humana (responsáveis pela percepção do sabor), apresentou-se constante até o sexto dia de armazenamento, porém a partir deste dia houve variação de acordo com o tipo de revestimento aplicado a fruta. Segundo Khaliq *et al.* (2015), o aumento do SS e a diminuição da AT ocorre até a fruta atingir à senescência.

Na **Figura 3** observa-se que a relação SS/AT das frutas revestidas com 100%Q foi menor do que a dos demais tratamentos, evidenciando redução de maneira diferenciada na velocidade das reações que conduzem ao amadurecimento ($P < 0.001$). Este dados sugerem que o revestimento comestível nessa condição (100%Q- 1% nanoZnO) criou um filme semipermeável ao redor da fruta e modificou a atmosfera interna diminuindo o O₂ e aumentando produção de CO₂ (de S. Medeiros *et al.*, 2012).

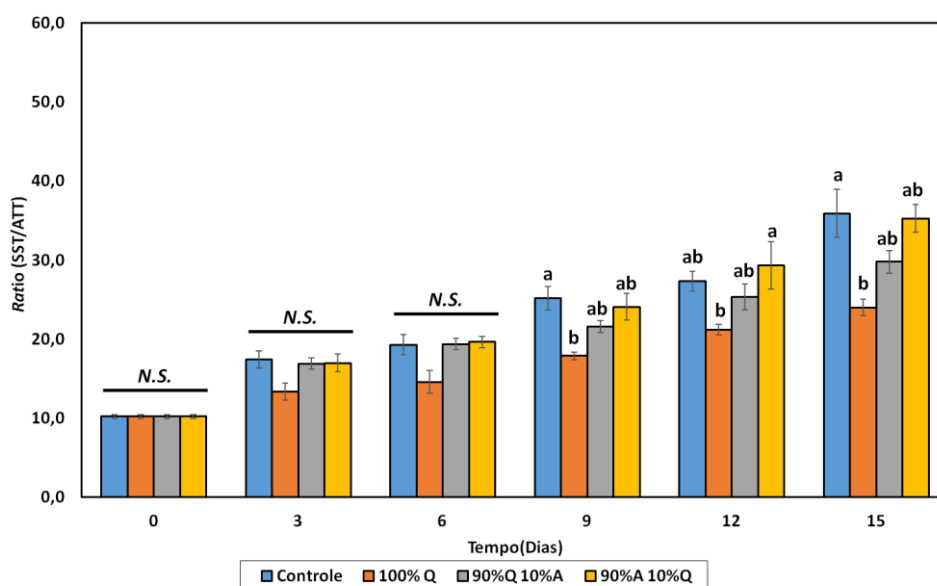


Figura 3. Efeito de diferentes revestimentos na relação SS/AT em goiabas armazenadas à temperatura 21±1°C e 80±2% UR, durante 15 dias. Revestimentos elaborados com 100%Quitosana; 90%Quitosana-10%Alginato; 90% Alginato- 10% Quitosana; Controle: Sem revestimento. Todos os hidrogéis possuem 1% de nano ZnO. Dados amostrados são as meias de nove replicações ± desvio padrão. $P < 0,05$

Os valores de pH das frutas no início do armazenamento, coincidem com os encontrados por Pereira *et al.*, (2003), Lima *et al.*, (2001), Argenta *et al.*, (1995). Estes valores, no entanto, foram aumentando com a evolução da maturação das frutas ($P < 0.001$) (**Tabela 3**); porém, não houve diferença significativa entre os valores de pH das frutas revestidas e do grupo controle ($P > 0.05$) durante a estocagem.

A não alteração significativa do pH observado nas frutas dos diversos tratamentos pode ser decorrente da variabilidade da matéria prima, e não estar relacionado com os tipos de revestimento e com o tempo de estocagem (PEREIRA *et al.*, 2003). Outra hipótese que pode justificar este comportamento é a capacidade tampão de algumas polpas/sucos, permitindo ocorrer grandes variações na acidez titulável, sem variações apreciáveis no pH. Não obstante, em testes organolépticos pequenas variações nos valores de pH são detectáveis (CHITARRA, CHITARRA, 2005).

A caracterização físico-química das goiabas revestidas demonstra que a adição de nanoZnO nas matrizes poliméricas não impede o amadurecimento da fruta, mas pode influenciar no comportamento da velocidade da maturação.

3.2.2 Firmeza

A análise estatística (ANOVA de duas vias) dos dados de firmeza das frutas demonstrou uma interação significativa entre o tipo de revestimento e o tempo de armazenamento ($P < 0.01$) (**Figura 4**). A resistência da polpa das frutas revestidas e das frutas controle mostrou valores que oscilavam entre os 90 e 100N cm⁻² nos três primeiros dias, concordando com os encontrados por Gongatti-Netto e colaboradores (1996).

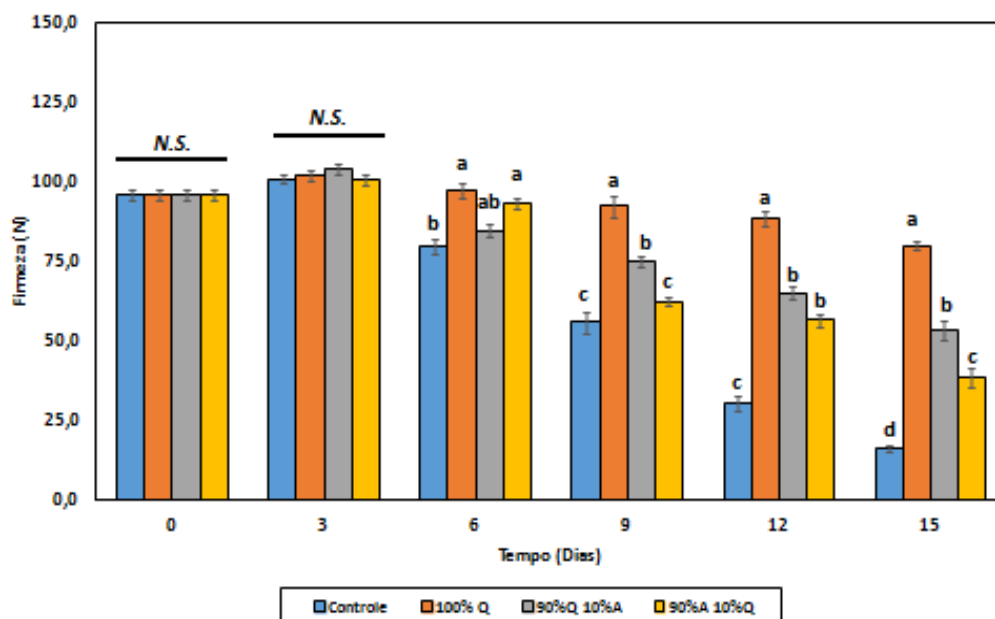


Figura 4. Efeito de diferentes revestimentos na perda da firmeza em goiabas armazenadas à temperatura $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80\pm 2\%$ UR, durante 15 dias. Revestimentos elaborados com 100% Quitosana; 90% Quitosana-10% Alginato; 90% Alginato-10% Quitosana; Controle: Sem revestimento. Todos os hidrogéis possuem 1% de nano ZnO. Dados amostrados são as meias de nove replicações \pm desvio padrão $P < 0,05$.

Entretanto, a partir do sexto dia observa-se que houve diminuição da firmeza em todas as frutas, atingindo naquelas sem revestimento valores inferiores a 25 N cm^{-2} no décimo quinto (15) dia, representado uma perda de textura aproximada de 75%. A perda de textura nos frutos é devido à mudanças na composição da parede celular, dado que as pectinas são responsáveis pela coesão do fruto e são os principais componentes da lamela média, bem como elementos estruturais na parede celular primária (MURMU e MISHRA, 2018; KHALIQ *et al.*, 2015).

Segundo Chitarra (1996), a goiaba possui alto conteúdo de pectinas, que juntamente com a fração fibra, são responsáveis pela integridade da parede celular. Durante o processo de maturação, as principais enzimas que degradam a parede celular são poligalacturonase, pectina metilesterase e pectato-liases que podem agir sinergicamente dentro da parede celular para diminuir o tamanho molecular dos polímeros de pectina levando à

despolimerização e indução de solubilidade de polissacarídeos de pectina (JAIN *et al.*, 2001; HADFIELD *et al.*, 1998).

Neste estudo, observou-se que os revestimentos protegeram as frutas contra a redução da firmeza, com destaque para o revestimento 100%Q cujos valores de firmeza foram os mais elevados (entre 80-88 N cm⁻²) (**Figura 4**), isto representa uma retenção de firmeza maior que 80% ou seja, maciez de aproximadamente 20%. A textura das frutas com este revestimento foi superior a relatada por Ribeiro *et al.*, (2005) para frutas desta variedade, cobertas com cera de carnaúba, e mantidas a temperatura ambiente, durante doze dias (73,9 N). Estes valores são semelhantes aos reportados por Murmu e Mishra, (2018), onde goiabas revestidas com uma matriz polimérica contendo goma arábica, caseinato de sódio e óleo essencial de canela, reduziram entre 18 e 20% a firmeza das frutas armazenadas sob-refrigeração entre 4-7 °C.

Nas frutas dos demais revestimentos (90%Q-10%A e 90%A-10%Q) foi registrado um aumento da maciez de 40 e 60%, respectivamente. Observa-se que os revestimentos aditivados com nano ZnO contendo quitosana em maior proporção, exercem maior efeito sobre a textura das frutas. Entretanto, vale mencionar que, segundo as Normas do Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e de Embalagens de Hortigranjeiros (BDPA) (2009), os dados de firmeza de todas as frutas revestidas, ainda, permitem que sejam comercializadas.

3.2.3 Cor

A cor visual da casca é um aspecto importante, pois determina a qualidade de uma fruta em termos de maturidade e tempo de colheita (NAIR *et al.*, 2018). As tonalidades da casca e da polpa das goiabas variaram de acordo com o estágio de maturação das mesmas. Wills *et al.* (1981) relataram que a degradação da clorofila está associada não só a alterações dos ácidos e do pH, como também ao aumento dos processos oxidativos.

Na cor da casca, denominada cor externa, houve interação significativa entre os revestimentos e o tempo para o parâmetro diferença total da cor ΔE^* ($P < 0,001$), que foi calculada considerando os valores de L^* , a^* e b^* ($\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5}$). Desta maneira, todas as frutas, independente do tratamento, apresentaram comportamento similar para este parâmetro de cor até o 9º dia. A partir deste dia observam-se maiores alterações nos parâmetros de cor, uma vez que houve aumento nos valores de L^* , as frutas tornando-se mais claras, menor participação da cor verde ($-a^*$) e maior participação da cor vermelha ($+a^*$) e amarela ($+b^*$), demonstrando o amadurecimento das frutas. No entanto, aquelas com revestimento contendo maior proporção de quitosana as alterações nos valores destes parâmetros foram significativamente menores (**Tabela 4**). Pérez-Guzmán *et al.*, (1999), explicaram que a formação de uma atmosfera modificada entre a superfície da fruta e a superfície do revestimento, prolonga a degradação de pigmentos pela ausência de O_2 e, como consequência, retarda ou impede o desenvolvimento de cores indesejáveis.

Os valores dos cromas a^* e b^* , indicaram que as frutas revestidas com 100%Q e 90%Q-10%A mantiveram a cor verde, porém de intensidade clara, até o final do armazenamento ($P < 0,001$) (**Tabela 4**). Estes resultados concordam com estudos anteriores em que houve a comprovação da ação da quitosana no retardo das mudanças da cor em morangos (HAN *et al.*, 2004a; HAN *et al.*, 2004b). Este comportamento revela que os géis podem ter exercido efeitos benéficos na permeabilidade da casca, alterando as trocas gasosas (AMARANTE e BANKS, 2001), e ao reduzir os processos oxidativos, contribuíram positivamente para a menor degradação da clorofila (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Quanto à cor interna (cor da polpa da fruta), também, houve interação significativa entre os revestimentos e o tempo para o parâmetro ΔE^* (diferença total da cor) ($P < 0,05$). As goiabas sem revestimento apresentaram coloração da polpa com maior intensidade da cor vermelha ($a^* = 28 \pm 0,6$; $P < 0,01$) sem diferir de forma significativa das frutas com revestimentos contendo blendas de quitosana e alginato (**Tabela 5**). Apenas a polpa das frutas com revestimento

de quitosana (100%Q) apresentaram menor intensidade da cor vermelha, revelando retardo no amadurecimento.

O desenvolvimento da cor vermelha em goiabas é em consequência da síntese de licopeno que aumenta no decorrer da maturação (ADSULE e KADAM, 1995).

Tabela 4. Mudanças na cor total ΔE^* da casca de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas vs controle, armazenadas durante 15 dias

Revestimento	Días (Temperatura $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; U.R $80 \pm 2 \%$)					
	0	3	6	9	12	15
ΔE^*						
Controle	38.8 ± 0.7^A	51.8 ± 0.5^{abA}	50.8 ± 0.6^{abA}	48.6 ± 0.7^{bB}	50.6 ± 0.9^{abB}	29.6 ± 1.8^{dA}
100%Q	38.8 ± 0.7^A	50.8 ± 0.5^{abA}	50.6 ± 0.4^{abA}	50.3 ± 0.5^{abA}	53.6 ± 0.7^{aA}	37.0 ± 1.1^{cB}
90%Q-10%A	38.8 ± 0.7^A	52.6 ± 0.2^{abAB}	51.1 ± 0.5^{abA}	49.7 ± 0.4^{abA}	51.3 ± 0.6^{abB}	38.4 ± 0.7^{cB}
90%A-10%Q	38.8 ± 0.7^A	50.5 ± 0.6^{abA}	50.5 ± 0.6^{abA}	49.1 ± 0.6^{bAB}	50.0 ± 0.9^{abB}	31.4 ± 1.6^{dA}

Na mesma fila, diferentes letras minúsculas representam diferencia significativa a $P < 0.001$. Na mesma coluna letras maiúsculas diferentes representam diferencia significativa a $P > 0,05$. Dados das medias de nove repetições \pm desvio padrão.

Tabela 5. Mudanças na cor total ΔE^* da polpa de goiabas revestidas com diferentes matrizes poliméricas vs controle, armazenadas durante 15 dias

Revestimento	Días (Temperatura $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; U.R $80 \pm 2 \%$)					
	0	3	6	9	12	15
ΔE^*						
Controle	36.7 ± 0.6^A	46.3 ± 1.5^{abA}	50.8 ± 2.0^{abB}	49.3 ± 2.8^{abA}	53.8 ± 0.7^{abB}	9.5 ± 0.4^{cB}
100%Q	36.7 ± 0.6^A	43.3 ± 2.5^{bA}	48.6 ± 2.6^{abA}	51.3 ± 1.3^{abB}	43.2 ± 1.4^{bA}	14.3 ± 1.3^{cA}
90%Q-10%A	36.6 ± 0.5^A	46.1 ± 1.4^{abA}	50.8 ± 1.6^{abB}	51.2 ± 2.1^{abB}	46.8 ± 2.5^{abA}	11.8 ± 0.3^{cAB}
90%A-10%Q	36.6 ± 0.5^A	47.1 ± 1.7^{abA}	48.5 ± 2.8^{abA}	48.4 ± 3^{abA}	51.4 ± 1.2^{abB}	11.9 ± 0.4^{cB}

Na mesma fila, diferentes letras minúsculas representam diferencia significativa a $P < 0.001$. Na mesma coluna letras maiúsculas diferentes representam diferencia significativa a $P > 0,05$. Dados das medias de nove repetições \pm desvio padrão.

3.2.4 Perda de massa ou transpiração

Todas as frutas, independente do tratamento, apresentaram perda de água ao longo do armazenamento, porém esta perda foi menor nas frutas revestidas com 100%Q e 90%Q-10%A, sem diferir entre elas (**Figura 5**). Entretanto, o revestimento com maior percentual de alginato (10%Q-90%A) a perda de água foi semelhante à ocorrida nas frutas controle, diferindo estatisticamente das frutas com os outros revestimentos ($P < 0.001$).

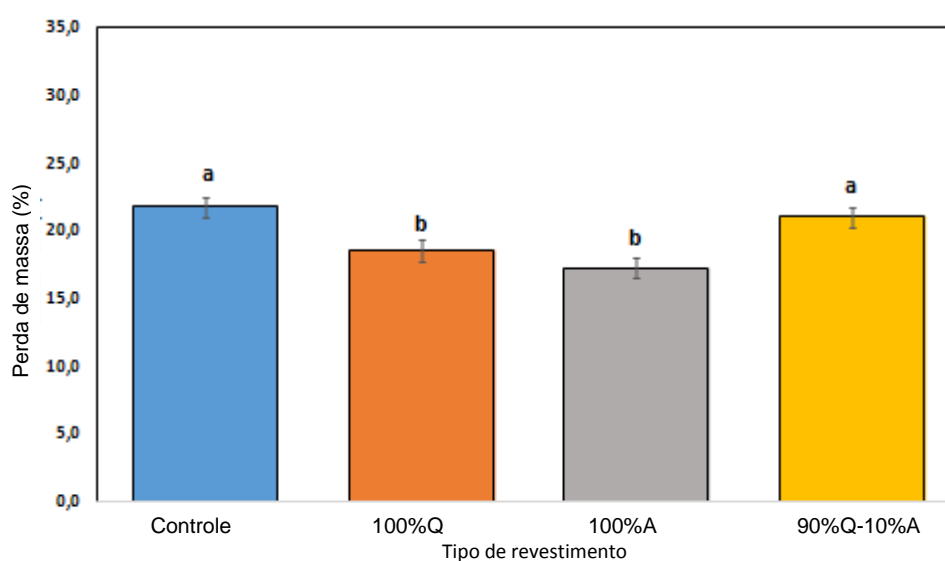


Figura 5. Efeito de diferentes revestimentos na perda de água em goiabas armazenadas à temperatura $21\pm 1^\circ\text{C}$ e $80\pm 2\%$ UR, durante 15 dias. Revestimentos elaborados com 100%Quitosana; 90%Quitosana-10%Alginato; 90% Alginato- 10% Quitosana; Controle: Sem revestimento. Todos os hidrogéis possuem 1% de nanoZnO. Dados amostrados são as médias de nove replicações \pm desvio padrão. $P < 0.05$.

Em relação às propriedades de barreira, é possível inferir a partir dos dados apresentados na **Figura 5**, que houve um desequilíbrio gasoso entre o ambiente e os frutos revestidos, em função a alta taxa de permeabilidade dos revestimentos.

Os géis cuja formulação o alginato se encontrava em maior quantidade (90 % Alginato - 10% Quitosana -1% nanoZnO), mostraram baixa viscosidade, impedindo que houvesse uma boa fixação nas goiabas. Sendo assim, não

houve formação de uma rede de polímeros interpenetrantes que permitisse conter os polímeros reticulados (nanoZnO), inibindo as propriedades de ambos os componentes (GARCÍA *et al.*, 2017; SPERLING, 1977).

A formação da estrutura ou morfologia das matrizes entre as nanopartículas de ZnO e o alginato, particularmente, pode se dar pelas sequências de poli G de alginato, que tendem a adotar uma confirmação ordenada através da dimerização na presença de metais divalentes (BRAYNER *et al.*, 2007; MORRIS, *et al.*, 1978), de modo que eles atuam como um ambiente controlado para o crescimento de nanopartículas (TRANDAFILOVIC *et al.*, 2007), mas isto pode ser influenciado por fatores como o aquecimento, que estimula a união formando o agrupamento (LI *et al.*, 1999). Outro fator que pode ter provocado a alta taxa de transpiração é que nos géis que continham 90% de alginato, existiu a precipitação de partículas esbranquiçadas flutuantes na matriz, havendo a necessidade de levá-los a agitação até obter um gel homogêneo novamente.

Estudos anteriores têm demonstrado que a mistura de duas soluções de polímero pode levar à complexação rápida e aparência de precipitados (MADHUSUDANA RAO *et al.*, 2017; MADHUSUDANA RAO *et al.*, 2016; SHCHIPUNOV *et al.*, 2010). Kuo e Ma (2001) relataram que o sistema $\text{CaSO}_4/\text{Dglucono-}\delta\text{-lactona}/\text{CaCO}_3$ requeria da dispersão de partículas de CaCO_3 dentro da matriz viscosa pré-gelada de alginato; pois a distribuição uniforme era difícil de alcançar, deixando a possibilidade de flutuações locais nas propriedades dos materiais e partículas sólidas não dissolvidas no interior do gel.

A perda de peso destas frutas coincide com os teores mais altos de açúcares totais no final do tempo da estocagem, fato que pode estar relacionado com o aumento da concentração de SS nas frutas (CHITARRA e CHITARRA, 1990; JACOMINO *et al.*, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2005).

Como as Frutas revestidas 100% quitosana- 1% nanoZnO e R2 90% Quitosana -10% Alginato -1% nanoZnO, tiveram a menor perda de massa, é

possível inferir que houve de fato uma sinergia entre a quitosana e o nanoZn nessas concentrações. A adição das nanopartículas (NPs) na matriz contribuiu para a melhoria das propriedades de barreira do biopolímero, aumentando a dificuldade do processo de liberação de água (SANCHEZ-GARCIA *et al.*, 2010; SILVESTRE *et al.*, 2011).

Valores obtidos na perda de massa nesta pesquisa, não coincidem com outros métodos de conservação achados na literatura. A perda de água nas goiabas com ambos os revestimentos gira em torno de 18-19% e a faixa estabelecida para embalagens comuns (não ativos) oscila entre 10-15% (SILVA, 2008; MANICA *et al.*, 2000). Gonzaga *et al.* (1999) reportaram que goiabas da variedade Paluma, acondicionadas em embalagem de plástico transparente e armazenadas em ambiente refrigerado a 10°C e a 90% de U.R permaneceram por dezesseis dias. Também concluíram que goiabas tratadas por imersão, com solução de Ca 0,5% ou 1% (m/v) armazenadas em ambiente refrigerado, apresentam vida útil pós-colheita até dezesseis dias. Não obstante, é importante ressaltar que as condições de estocagem no que diz respeito a temperatura não são iguais às aplicadas neste estudo. Além disto, não definiram a porcentagem final de perda de massa dos frutos. A diminuição da temperatura resulta em redução da atividade respiratória, da transpiração e produção de etileno pelos frutos, com conseqüente aumento do período de conservação (HARDENBURG, *et al.*, 1986).

3.2.5 Lesões externas

O surgimento das lesões ocorreu a partir do 12º dia, unicamente nas frutas que não se encontravam com revestimento (**Figura 6**). Um dos principais microrganismos causantes de podridão de frutos de goiabera pós-colheita é o fungo *Phyllosticta psidicola*, forma imperfeita ou anamorfa de *Guignardia Psidii*. A doença está caracterizada por pequenos pontos amarelados que evoluem rapidamente na superfície dos frutos, formando lesões deprimidas, escuras, circulares, podendo atingir até 2,5 cm de diâmetro e coalescer (EMBRAPA, 2001).

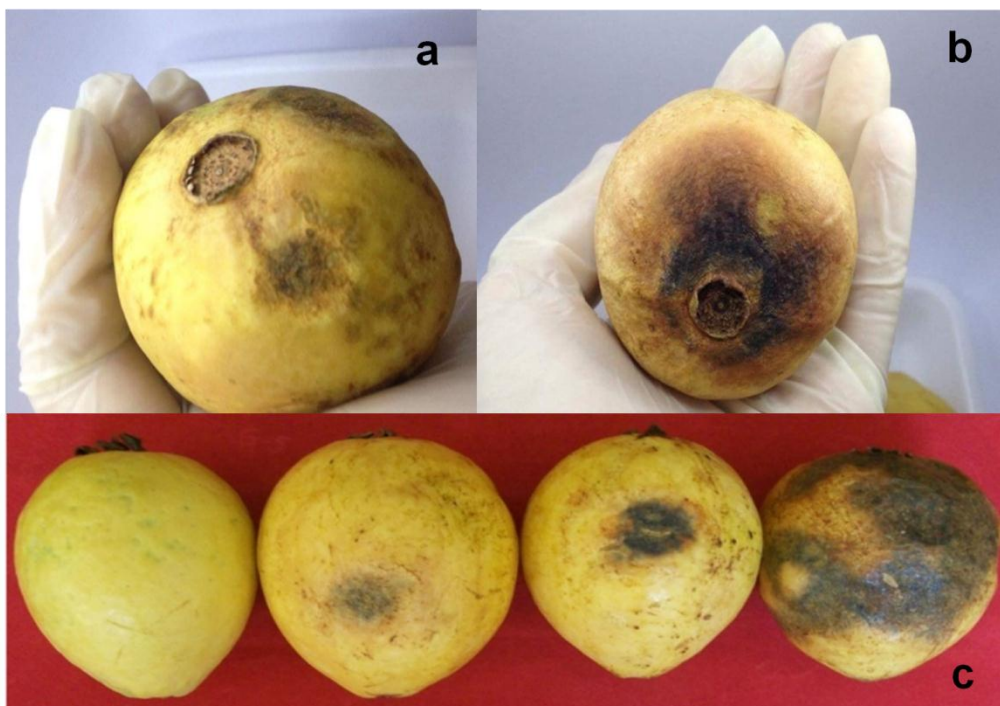


Figura 6. Goiabas sem revestimento com aparecimento de lesões inerentes à podridão. **(a)** Dia 12 de armazenamento; **(b)** Dia 15 de armazenamento comparadas com **(c)** Goiabas com aparecimento de lesões provocadas pelo *G. mangiferae* (Wickert *et al.*, 2014).

Na **Figura 6 (a, b)**, pode se comparar a similaridade das lesões ou podridão ocorridas nas goiabas controle com os testes de patogenicidade realizados por Wicker *et al.* (2014) (**Figura 6; c**), com inoculação cruzada usando *G. mangiferae* isolados de diferentes hospedeiros em tecidos de goiaba. Ofato de não ter aparecido estas manchas ou lesões nas frutas

revestidas confirma o efeito bactericida do nanoZnO (AYDIN SEVINC e HANLEY, 2010; JIN *et al.*, 2009; JONES *et al.*, 2008). A ação bactericida do nanoZnO é explicada pela produção de espécies de oxigênio altamente reativas (ROS) (OH , H_2O_2 , $\text{O}_2^{\cdot-}$) promovidas pelas nanopartículas, que se ligam de forma fatal ao microrganismo (APPLEROT *et al.*, 2009; STOIMENOV *et al.*, 2002; SAWAI *et al.*, 1996).

De acordo com Fang *et al.* (2006), um pequeno número de íons Zn^{2+} pode penetrar na célula bacteriana e inibir o sistema respiratório do microorganismo, enquanto outra teoria afirma que a formação de H_2O_2 é o principal efeito que contribui à atividade antibacteriana, e que ocorre por meio da penetração de H_2O_2 através das paredes celulares (JALAL *et al.*, 2010; SAWAI *et al.*, 1998). A geração de H_2O_2 depende fortemente da área de superfície de ação do ZnO, o que resulta em mais espécies de oxigênio, mais peróxido de hidrogênio e maior atividade antibacteriana das nanopartículas (PADMAVATHY e VIJAYARAGHAVAN, 2008; SUNADA *et al.*, 1998).

Outra possível explicação para o efeito antibacteriano baseia-se na textura superficial abrasiva do ZnO devido a defeitos superficiais (PADMAVATHY e VIJAYARAGHAVAN, 2008, STOIMENOV *et al.*, 2002). A abrasividade das partículas de nanoZnO em comparação com o ZnO é causada pela textura de superfície irregular devido a bordas e cantos ásperos que contribuem para o dano mecânico da membrana celular da bactéria (TRANDAFILOVIC *et al.*, 2012).

4. CONCLUSÕES

A adição de nanoZnO aos revestimentos inibiu o aparecimento de podridão nas goiabas, demonstrando a ação antimicrobiana deste nanocomposito. Os revestimentos formulados com 100% Q, 90%Q-10%A e 10%Q-90%A foram inicialmente selecionados por serem mais eficazes em retardar o processo de amadurecimento, uma vez que protegeram os frutos contra a perda de massa e aparecimento de lesões quando comparados com as frutas sem revestimento, permitindo que chegassem até aos 20 dias de armazenamento em condições adequadas ao consumo. Entretanto, os revestimentos contendo quitosana em maior proporção (100%Q e 90%Q-10%A) se destacaram por obter menores valores de perda da firmeza, massa e intensidade da cor da casca e polpa, revelando um retardo mais eficiente no amadurecimento se comparado com os revestimentos que continham 10% de quitosana na formulação.

REFERÊNCIAS

- ADSULE, R. N., KADAM, S. S. Guava. In: SALUNKHE, D.K., KADAM, S.S. (Ed.). Handbook of fruit science and technology, production composition, storage and processing. **New York: Marcel Dekker**. Cap. 9, pp. 419-433, 1995.
- AHVENAINEN, R. new approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. **Trends in food science and technology**, v: 7, pp. 179-187, 1996.
- ARGENTA, L.C.; BENDER, R.J.; KREUS, C.L. MONDARDO, M. Padrões de maturação índices de colheita de maçãs CVS. Gala, Golden Delicious e Fuji. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v: 30, (10), pp.1259-1166, 1995.
- AMARANTE, C.; BANKS, N.H. Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. **Horticultural Reviews**, v: 26, pp.161-238, 2001.
- APPLEROT, G., LIPOVSKY, A., DROR, R., PERKAS, N., NITZAN, Y., LUBART, R., *et al.* Enhanced antibacterial activity of nanocrystalline ZnO due to increased ROS-mediated cell injury. **Advanced Functional Materials**, v: 19, pp. 842–852, 2009.
- AYDIN SEVINC, B., HANLEY, L. Antibacterial activity of dental composites containing zinc oxide nanoparticles. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v: 94(1), pp. 22–31, 2010.
- BASHIR, H. A., & ABU-GOUKH, A. B. A. Compositional changes during guava fruit ripening. **Food Chemistry**, v: 80(4), pp. 557–563, 2003.
- BRAYNER, R., VAULAY, M.-J., FIÉVET, F., & CORADIN, T. Alginate-mediated growth of Co, Ni, and CoNi nanoparticles: Influence of the biopolymer structure. **Chemistry of Materials**, v: 19, pp. 1190–1198, 2007.
- CHENG, Y., LU, L., ZHANG, W., SHI, J., & CAO, Y. Reinforced low density alginate based aerogels: Preparation, hydrophobic modification and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v: 88, pp. 1093–1099, 2012.
- CHITARRA, M. I. F. Características das frutas de exportação. In: GONGATTI NETO, A. *et al.* Goiaba para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: EMBRAPA. Série Publicações Técnicas: **FRUPEX**, v: 20, cap.1, pp. 9- 11, 1996.
- CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manejo. 2. ed. **Lavras: UFLA**, 785 p., 2005.
- CLIFFORD, L., BURROWS, F., ABAZINGE, M., ONOKPISE, O. Extraction and Evaluation of Chitosan from Crab Exoskeleton as a Seed Fungicide and Plant Growth Enhancer. **Journal of Agricultural and Environment Science**, v: 2, pp.103–111, 2007.
- COSME SILVA, G. M., SILVA, W. B., MEDEIROS, D. B., SALVADOR, A. R., CORDEIRO, M. H. M., DA SILVA, N. M., MIZOBUTSI, G. P., *et al.* The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, v: 237, pp. 372–378, 2017.
- CRUZ-ROMERO, M.C., MURPHY, T., MORRIS, M., CUMMINS, E., KERRY, J.P. Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilisates for

potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications. **Food Control**, v: 34 pp. 393–397, 2013.

de S. Medeiros, B.G., Pinheiro, A.C., Carneiro-da-Cunha, M.G., Vicente, A.A. Development and characterization of a nanomultilayer coating of pectin and chitosan—evaluation of its gas barrier properties and application on ‘Tommy atkins’ mangoes. **Journal of Food Engineering**, v: 110, pp. 457–464, 2012.

DRURY, J.L., DENNIS, R.G., MOONEY, D.J. The tensile properties of alginate hydrogels. **Biomaterials**, v: 25(16), pp. 3187-99, 2004.

EMBRAPA. Doenças da goiabeira no cerrado. Circular técnica Embrapa cerrados. Planaltina, n.15, pp. 1-32, 2001.

ESPARZA-GONZÁLEZ, S.C., SÁNCHEZ-VALDÉS, S., RAMÍREZ-BARRÓN, S.N., LOERA-ARIAS, M.J., BERNAL, J., MELÉNDEZ-ORTIZ, H.I., BETANCOURT-GALINDO, R. Effects of different surface modifying agents on the cytotoxic and antimicrobial properties of ZnO nanoparticles. **Toxicology in Vitro**, v:37, pp. 134–141, 2016.

FERIS, K., OTTO, C., TINKER, J., WINGETT, D., PUNNOOSE, A., THURBER, A., et al.,. Electrostatic interactions affect nanoparticle-mediated toxicity to Gram-negative bacterium *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. **Langmuir**, v:26 (6), pp. 4429–4436, 2010.

FABRA, M. J., JIMENEZ, A., TALENS, P., & CHIRALT, A. Influence of homogenization conditions on physical properties and antioxidant activity of fully biodegradable pea protein- α -tocopherol films. **Food and Bioprocess Technology**, v:7, pp.3569-3572, 2014.

FANG, M., CHEN, J.H., XU, X.L., YANG, P.H., Hildebrand, H.F. Antibacterial activities of inorganic agents on six bacteria associated with oral infections by two susceptibility tests. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v:27 (6), pp. 513–517, 2006.

GARCÍA, J., RUIZ-DURÁNTEZ, E., VALDERRUTENA, N.E.. Interpenetrating polymer networks hydrogels of chitosan and poly (2-hydroxyethyl methacrylate) for controlled release of quetiapine. **Reactive and Functional Polymers**, V:117, pp. 52–59, 2017.

GONGATTI NETTO, A.; GARCIA, A.E.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C.; BLEINROTH, E.W.; MATALLO, M.; CHITARRA, M.I.F.; BORDIN, M.R. Goiaba para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita, **Publicações Técnicas FRUPEX**, 20. Brasília, DF: MAARA-FRUPEX/EMBRAPA-SPI, 35p, 1996.

GONZAGA, N. L., CRISTO, A. S., CHOUDHURY, M. M. Conservação pós-colheita de frutos de goiabeira, variedade paluma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v: 34, (1), pp.1-6, 1999.

GOUVEIA, J. P. G. ALMEIDA, F. A. C., BARTOLOMEU GARCIA DE SOUZA MEDEIROS, B. G. S., RIBERIRO, C. F. A. R., DUARTE, S. M. A. Determinação de características físico-químicas da goiaba: Goiabeiras Adubadas No Semi-Árido Da Paraíba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, (1), pp.35-38, 2004.

HAN, C., LEDERER, C., McDANIEL, M., ZHAO, Y. Edible coating to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Rubus ideaus*). **Postharvest Biology and Technology**, v: 33, pp. 67-68, 2004a.

HAN, C., ZHAO, Y., LEONARD, S. W. TRABER, M. G. Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan based edible coatings. **Journal of food science**, v:70, pp. 172-178, 2004b.

HANDBURG, R.E.; WATADA, A.E.; WANG, C.Y. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist, and nursery stocks. Washington: USDA, (USDA. **Agriculture Handbook**, v: 66, p. 130, 1986.

HUQ, T., SALMIERI, S., KHAN, A., KHAN, R. A., TIENA, C. L., RIEDL, B. Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate based biodegradable nanocomposite film. **Carbohydrate Polymers**, v: 90, pp. 1757-1763, 2012.

HUANG, J.Y., LI, X., ZHOU, W. Safety assessment of nanocomposite for food packaging application. **Trends in Food Science & Technology**; v: 45, 187-199, 2015.

JACOMINO, A.P.; OJEDA, R.M.; KLUGE, R.A.; SCARPARE FILHO, J.A.S. Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v:25, (3), pp.401-405, 2003.

JALAL, R., GOHARSHADI, E. K., ABARESHI, M., MOOSAVI, M., YOUSEFI, A., & NANCARROW, P. ZnO nanofluids: Green synthesis, characterization, and antibacterial activity. **Materials Chemistry and Physics**, v: 121, pp. 198–201, 2010.

JAIN, N.; DHAWAN, K.; MALHOTRA, S. P.; SIDDIQUI, S.; SINGH, R. Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakov, v: 23, (3), pp.357-362, 2001.

JIN, T., SUN, D., SU, J. Y., ZHANG, H., & SUE, H. Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, and *Escherichia coli* O157:H7. **Journal of Food Science**, v: 74(1), pp. 46–52, 2009.

JONES, N., RAY, B., RANJIT, K. T., & MANNA, A. C. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, v: 279(1), pp. 71–76, 2008.

KAKLAMANIA, G., CHENELERD, D., GROVERA, L.M., ADAMS, M.J., BOWEN, J. Mechanical properties of alginate hydrogels manufactured using external gelation. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v: 36, pp. 135-142, 2014.

KHALIQ, G., MOHAMED, M. T. M., ALI, A., DING, P., & GHAZALI, H. M. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, v: 190, pp.187–194, 2015.

KUO, C.K., MA, P.X. Ionically crosslinked alginate hydrogels as scaffolds for tissue engineering: Part 1. Structure, gelation rate and mechanical properties. **Biomaterials**, v: 22 (6), pp. 511–521, 2001.

LIMA, M.A.C.; ASSIS, J.S.; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do Submédio São Francisco. 2001.

LI, W. J., SHI, E. W., ZHONG, W. Z., & YIN, Z. W. Growth mechanism and growth habit of oxide crystals. **Journal of Crystal Growth**, v: 203, pp.186–196, 1999.

LIRA JÚNIOR, J.S.; MUSSER, R.S.; MELO, E.A.; MACIEL, M.I.S.; LEDE RMAN, I.E.; SANTO S, V.F. Caracterização física e físico-química de frutos de cajá-umbu (*Spondias* spp.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v: 25, (4), pp.757-761, 2005.

MANICA, I., ICUMA, I.M., JUNQUEIRA, N.T.V., SALVADOR, J.O., MOREIRA, A., MALAVOLTA, E. **Fruticultura tropical 6: goiaba**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 374 p., 2000.

MARTÍNEZ-ABAD, A., OCIO, M. J., & LAGARON, J. M. Morphology, physical properties, silver release, and antimicrobial capacity of ionic silver-loaded poly (L-lactide) films of interest in food-coating applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v: 131(21), p. 41001, 2014.

MADHUSUDANA RAO, K., KUMAR, A., HAIDER, A., HAN, S.S. Polysaccharides based antibacterial polyelectrolyte hydrogels with silver nanoparticles. **Materials Letters**, v: 184, pp. 189-192, 2016.

MADHUSUDANA RAO, K. M., KUMAR, A., HAN, S. S. Polysaccharide based bionanocomposite hydrogels reinforced with cellulose nanocrystals: Drug release and biocompatibility analyses. **International Journal of Biological Macromolecules**, v: 101, pp. 165–171, 2017.

MARIESSE, A.E., VAN SLUISVELD, WORELL, ERNST. The paradox of packaging optimization e a characterization of packaging source reduction in The Netherlands. **Resources, Conservation and Recycling**, v: 73, pp.133-142, 2013.

MEDINA, J.C. Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos, Série Frutas Tropicais 6. 2ª ed. Campinas: **ITAL**, pp.1-21, 1998.

MORRIS, E. R., REES, D. A., THOM, D., & BOYD, J. Chiroptical and stoichiometric evidence of a specific, primary dimerization process in alginate gelation. **Carbohydrate Research**, v: 66, pp. 145–154, 1978.

MURMU, S. B., & MISHRA, H. N. Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (Cv. Baruiipur). **LWT-Food Science and Technology**, v: 78, pp. 273–280, 2018.

MYUNG, D., WATERS, D., WISEMAN, M., DUHAMEL, P.E., NOOLANDI, J., TA, C.N. Progress in the development of interpenetrating polymer network hydrogels. **Polymers for Advanced Technologies**, v: 19 (6), pp. 647–657, 2008.

NAIR, S., SAXENA, A., KAUR, C. Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.) M. **Food Chemistry**, v: 240, pp. 245–252, 2018.

NORMAS DE CLASSIFICAÇÃO IMPRESSAS PELO PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/2016-06-02-10-49-06.html>. Acesso em: Janeiro 2018.

OH, D.X., HWANG, D.S. A biomimetic chitosan composite with improved mechanical properties in wet conditions. **Biotechnology Progress**, v: 29, pp. 505–512, 2013.

PADMAVATHY, N., & VIJAYARAGHAVAN, R. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles: An antimicrobial study. **Science and Technology of Advanced Materials**, v: 9, 035004, 2008.

PANTÁSTICO, E. B. Postharvest of tropical and subtropical fruits and vegetables. **Connecticut, USA: The AVI Pub. Co.**, p. 560, 1975.

PARK, W. P., CHO, S. H., LEE, D. S. Effect of minimal processing operations on the quality of garlic, green onion, soybean sprouts and watercress. **Journal of science of food and agriculture**, v: 77, pp. 282-286, 1998.

PEREIRA, L. M., RODRIGUES, A. C.C., SARANTÓPOLUS, C. I. G.L., JUNQUEIRA, V. C. A., CARDELLO, H. M. A. B., HUBINGER, M. D. Vida de prateleira de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v: 23 (3), pp. 427-433, 2003.

PÉREZ-GUZMÁN, A.E., SAUCEDO-VELOZ, C., ARANA-ERRASQUIN, R. Effect of individual seal packaging in plastic films on the quality of Dancy mandarins stored under refrigeration. **Food science and technology international**, v: 5, (3), pp. 215-222, 1999.

RAGUVARAN, R., MANUJAA, B.K., CHOPRAA, M., THAKURC, R., TARUNA, A., KALIAD, A., MANUJA, A. Sodium alginate and gum acacia hydrogels of ZnO nanoparticles showwound healing effect on fibroblast cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, v: 96, pp.185–191, 2017.

RANA, S., SIDDIQUI, S., & GOYAL, A. Extension of the shelf-life of guava by individual packaging with cling and shrink films. **Journal of Food Science and Technology**, v: 52(12), pp. 8148–8155, 2015.

RIBEIRO, V. G., DE ASSIS. J.S., SILVA, F. F., SIQUEIRA, P.P. X., VILARONGA, C. P. P storage of guavas 'paluma' under refrigeration and at environmental conditions, with coated and uncoated fruits with carnauba wax. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v:27, (2), pp. 203-206, 2005.

ROMANAZZI, G., FELIZIANI, E., BAÑOS, S. B., & SIVAKUMAR, D. Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v: 57(3), pp. 579–601, 2017.

RHODES, M.J.C. The maturation and ripening of fruits. In: Thimann KV, Delman RC, Roth GS (eds), **Senescence in Plants**, CRC Press, Florida, USA, pp.157-205, 1980.

ŞEN, F., UZUNŞOYB, I., BASTÜRK, E., KAHRAMAN, M. V. Antimicrobial agent-free hybrid cationic starch/sodium alginatepolyelectrolyte films for food packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, v: 170, pp. 264–270, 2017.

SANCHEZ-GARCIA, M. D., LOPEZ-RUBIO, A., & LAGARON, J. M. Natural micro and nanobiocomposites with enhanced barrier properties and novel functionalities for food biopackaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, v: 21, pp. 528–536, 2010.

SAWAI, J., KAWADA, E., KANOU, F., IGARASHI, H., HASHIMOTO, A., KOKUGAN, T., *et al.* Detection of active oxygen generated from ceramic powders having antibacterial activity. **Journal of Chemical Engineering of Japan**, v: 29, pp. 627–633, 1996.

SAWAI, J., SHOJI, S., IGARASHI, H., HASHIMOTO, A., KOKUGAN, T., SHIMIZU, M., *et al.* Hydrogen peroxide as an antibacterial factor in zinc oxide powder slurry. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v: 86, pp. 521–522, 1998.

SHCHIPUNOV, Y., SARIN, S., IL, K., HA, C.S. Hydrogels formed through regulated self-organization of gradually charging chitosan in solution of xanthan. **Green Chemistry**, v: 12, pp. 1187–1195, 2010.

SERRANO L.A.L.; MARINHO C.S.; RONCHI C.P.; LIMA I.de M.; MARTINS M. V.V.; TARDIN F.D. Goiabeira 'Paluma' sob diferentes sistemas de cultivo, épocas e intensidades de poda de frutificação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v: 42, (6), pp. 785-792, 2007.

SILVESTRE, C., DURACCIO, D., & CIMMINO, S. Food packaging based on polymer nanomaterials. **Progress in Polymer Science**, v: 36, pp. 1766–1782, 2011.

SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Edit. Aprenda fácil, 2da edição. Viçosa, p. 477, 2008.

SINGH, S.P. AND PAL, R.K. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v: 47 (3), pp. 296-306, 2008.

SIRISVASTAVA, H.C.; NARASIMHAN, P. Physiological studies during the growth and development of different varieties of guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v:48, pp.97- 104, 1967.

SPERLING, L.H., Interpenetrating polymer networks and related materials. **Journal of Polymers Science and Macromolecules**, v: 12, pp. 141–180, 1977.

SOARES, N. F. F., HOTCHKISS, J. H. Bitterness reduction in grapefruit juice through active packaging. **Packaging Technology and Science**, v: 11, (1), pp. 9-18, 1998.

SUNADA, K., KIKUCHI, Y., HASHIMOTO, K., & FUJISHIMA, A. Bactericidal and detoxification effects of TiO₂ thin film photocatalysts. **Environmental Science and Technology**, v: 32, pp. 726–728, 1998.

STOIMENOV, P. K., KLINGER, R. L., MARCHIN, G. L., & KLABUNDE, K. J. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. **Langmuir**, v: 18, pp. 6679–6686, 2002.

SRISVASTAVA, H.C.; NARASIMHAN, P. Physiological studies during the growth and development of different varieties of guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Horticultural Science**, v:48, pp.97-104, 1967.

TAVASSOLI-KAFRANI, E., SHEKARCHIZADEH, H., MASOUDPOUR-BEHABADI. M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v: 137 pp. 360–374, 2016.

THAIPONG, K., BOONPRAKOB, U., CROSBY, K., CISNEROS-ZEVALLOS, L., BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v: 19, pp. 669-675, 2006.

TRANDAFILOVIC, L.V., BOZANI, D.K., DIMITRIJEVIC-BRANKOVI, S., LUYT, A.S., DJOKOVIC, V. Fabrication and antibacterial properties of ZnO–alginate nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v:88, pp. 263–269, 2012.

VIEIRA, J. M., FLORES-LOPEZ, M. L., DE RODRIGUEZ, D. J., SOUSA, M. C., VICENTE, A. A., & MARTINS, J. T. Effect of chitosan-Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v: 116, pp. 88–97, 2016.

VASCONCELOS, M.P.O., MELO, E.A., SANTOS, A. M.P., VINHAS, G.M. Chitosan and alginate films, and their blends with nanoZnO: production and characterization. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

WICKERT, E., SOUZA, A., PEREIRA, R.M., KISHI, L. T., LEMOS, E. G. M., GOES, A. Molecular and pathogenic study of *Guignardia* spp. isolates associated to different hosts. **Advances in Microbiology**, vol.4 (2), p.10, 2014.

























WIKSTROM, F., WILLIAMS, H., VENKATESH, G. The influence of packaging attributes on recycling and food waste behaviour - An environmental comparison of two packaging alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v: 137, pp. 895-902, 2016.

WILLS, R.H.H.; LEE, T.H.; GRAHAM, W.B.; HALL, E.G. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Kensington: **New South Wales University Press**, 161p, 1981.

VU, C.H.T., WON, K. Bioinspired Molecular Adhesive for Water-Resistant Oxygen Indicator Films. **Biotechnology progress**, v: 29 (2), pp. 513-519, 2013.

ANEXOS

Anexo 1: Avaliação da cor externa e interna das frutas revestidas com os géis aditivados com nanoZnO VS controle nos dias 0, 15 e 20.

DIA 0		DIA 15		DIA 20	
Controle		Controle		Controle	
					
100% QUITOSANA		100% QUITOSANA		100% QUITOSANA	
					
100% ALGINATO		100% ALGINATO		100% ALGINATO	
					
50% QUITOSANA- 50% ALGINATO		50% QUITOSANA- 50% ALGINATO		50% QUITOSANA- 50% ALGINATO	
					
90% ALGINATO-10% QUITOSANA		90% ALGINATO-10% QUITOSANA		90% ALGINATO-10% QUITOSANA	
					
90% QUITOSANA- 10% ALGINATO		90% QUITOSANA- 10% ALGINATO		90% QUITOSANA- 10% ALGINATO	
