



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO CONTENDO COMPOSTOS ATIVOS  
ENCAPSULADOS E NANOPARTÍCULAS: UMA REVISÃO**

Alexandre Martins da Silva

Porto Alegre

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO CONTENDO COMPOSTOS ATIVOS  
ENCAPSULADOS E NANOPARTÍCULAS: UMA REVISÃO**

Alexandre Martins da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios

Porto Alegre

2016

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO CONTENDO COMPOSTOS ATIVOS  
ENCAPSULADOS E NANOPARTÍCULAS: UMA REVISÃO**

Alexandre Martins da Silva

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios  
Departamento de Ciência dos Alimentos  
UFRGS

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Florencia Cladera Olivera  
Departamento de Ciência dos Alimentos  
UFRGS

---

Eng<sup>a</sup>. Msc Aline Oliveira e Silva Ianhke  
Programa de Pós-Graduação em Ciência  
e Tecnologia de Ciência dos Alimentos  
UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me ajudado em cada parte desse longo caminho que foi a graduação. Foi Nele que encontrei forças para seguir sempre em frente. Agradeço também a minha família, em especial minha mãe, tia e pai por terem me ajudado com conselhos e apoio financeiro durante estes 7 anos de curso.

Muitas pessoas foram importantes durante esta minha trajetória como acadêmico do curso de engenharia de alimentos. Gostaria de agradecer aos meus amigos e colegas de curso, pelas noites de estudos nos primeiros anos, pela compreensão em trabalhos acadêmicos em grupo, pelas parcerias em festas universitárias, pela amizade em viagens e pela ajuda psicológica durante todo este tempo.

Quero agradecer também aos professores, técnicos, mestrandos e doutorandos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFRGS que foram fundamentais na minha formação, tanto profissional quanto pessoal, e em especial aos meus orientadores, que desde 2010 me mostraram que o mundo da pesquisa realmente é sofrido, contudo é gratificante ao extremo. Obrigado pelos eventos, simpósios, congressos e seminários. Além de churrascos e festas!

Também agradeço a família que fiz durante o intercâmbio. Posso dizer com toda certeza que foram os melhores anos da minha vida. Toda a galera de Dijon vai ficar para sempre no meu coração.

Por fim, agradeço também aos profissionais que cruzaram a minha vida através dos estágios profissionais. Certamente foi onde eu consegui aprender lições em curtos períodos que vou usar para toda minha vida.

## RESUMO

Filmes biodegradáveis são materiais de baixa espessura produzidos para embalar alimentos. Devido a sua composição feita a partir biocompostos, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, eles possuem a capacidade de se degradar sob condições de temperatura e pressão normais, ao contrário das embalagens utilizadas atualmente. Um material que vem sendo estudado e utilizado na composição da matriz polimérica dos filmes é o amido. Para aumentar a vida-de-prateleira dos produtos embalados pelos filmes, adiciona-se compostos ativos com ações antioxidantes e/ou antimicrobianas a fim de evitar a oxidação e a contaminação desses alimentos. Esses compostos podem ser compostos fenólicos, como as antocianinas; carotenóides, como a bixina; ácidos orgânicos, como o ácido ascórbico; nanopartículas de metais, entre outros. Uma atual preocupação do setor alimentício é aumentar a estabilidade desses compostos. Para isso faz-se necessário o uso de materiais de parede, que servem como agentes encapsulantes dos compostos ativos aumentando assim sua estabilidade. Os materiais usados para encapsulação são gomas, polissacarídeos, proteínas, fibras, ácidos orgânicos e a mistura destes compostos. Os agentes encapsulantes mais comumente utilizados na encapsulação de compostos bioativos para aplicação em alimentos são goma arábica, amido modificado e amido hidrolisado. As embalagens alimentares destinam-se, principalmente, para proteger e prolongar a vida útil dos alimentos. Dessa forma, é muito importante uma caracterização ampla dos filmes biodegradáveis. Neste trabalho foi realizada uma revisão da literatura atual comparando as seguintes propriedades dos filmes biodegradáveis de amido: a finalidade para qual o filme foi desenvolvido, suas características mecânicas, propriedades térmicas e estruturais, e os aditivos utilizados para atribuir uma função ativa às embalagens.

Palavras-chave: filmes biodegradáveis, encapsulamento, compostos ativos, amido.

## ABSTRACT

Biodegradable films are materials with low thickness produced with pack food. Due to their composition made from bio composites, such as proteins, polysaccharides and lipids, they have the ability to degrade under normal temperature and pressure conditions, unlike currently used packaging. A material that has been studied and used in the composition of the polymeric matrix of the films is the starch. To increase the shelf-life of the products packaged by the films, active compounds with antioxidant and / or antimicrobial effects are added in order to avoid the oxidation and contamination of these foods. These compounds can be phenolic compounds, as anthocyanins; Carotenoids, as bixin; Organic acids, as ascorbic acid; Nanoparticles of metals, among others. An ongoing concern of the food industry is to increase the stability of these compounds. For this it is necessary to use wall materials, which serve as encapsulation agents of the active compounds thus increasing their stability. The materials used for encapsulation are gums, polysaccharides, proteins, fibers, organics acids and the blending of these compounds. Encapsulation agents most commonly used for food application are gum arabic, modified starch and hydrolyzed starch. Food packaging is mainly intended to protect and extend the shelf life of food. Thus, a broad characterization of the biodegradable films is very important. In this work the properties compared among the published articles were: the purpose for which the film was developed, its mechanical characteristics, thermal and structural properties, and additives used to assign an active function to the packages.

Key words: biodegradable films, encapsulation, active compounds, starch.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula estrutural do amido .....	17
Figura 2 - Locais e mecanismos de ação que podem ser sítios para ação de compostos naturais na célula bacteriana.....	21
Figura 3 - Fórmula estrutural generalizada das antocianinas.....	24
Figura 4 - Fórmula estrutural da bixina.....	25
Figura 5 - Fórmula estrutural do ácido ascórbico. ....	25

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Agliconas mais encontradas em antocianinas.....	24
Quadro 2 - Filmes biodegradáveis de amido com compostos ativos ou nanocompósitos.....	28



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVO</b> .....	13
<b>3 FILMES BIODEGRADÁVEIS</b> .....	14
<b>4 FILMES OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO</b> .....	16
4.1 Agentes plastificantes .....	18
<b>5 FILMES ATIVOS</b> .....	19
5.1 Filmes antioxidantes .....	19
5.2 Filmes antimicrobianos .....	20
5.3 Compostos incorporados em embalagens ativas .....	20
<b>6 FILMES DE AMIDO COM COMPOSTOS ATIVOS MICRO OU NANOENCAPSULADOS E NANOPARTÍCULAS</b> .....	27
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35



## 1 INTRODUÇÃO

A poluição do meio ambiente devido ao descarte de filmes plásticos de polímeros sintéticos sem nenhum controle é um grande problema mundial. A maioria dos materiais de embalagem de alimentos são fabricados com polímeros não-biodegradáveis à base de petróleo e sua eliminação representa um problema ambiental. A completa e/ou substituição parcial destes materiais por polímeros biodegradáveis a partir de fontes renováveis, como biopolímeros, pode reduzir o impacto que esses materiais causam no meio ambiente.

Os filmes e revestimentos biodegradáveis podem ser comestíveis ou não. Filmes e revestimentos comestíveis possuem camadas finas de materiais comestíveis aplicados em produtos alimentares que desempenham um papel importante na sua conservação, distribuição e comercialização. Algumas das suas funções são proteger o produto contra danos mecânicos, físicos, químicos e microbiológicos. Seu uso em aplicações de alimentos e, especialmente, produtos altamente perecíveis é baseado em algumas propriedades específicas, tais como custo, disponibilidade, atributos funcionais, propriedades mecânicas (flexibilidade, tensão), propriedades ópticas (brilho e opacidade), o efeito de barreira contra fluxo de gases, resistência estrutural à água e microorganismos, além da aceitabilidade sensorial (FALGUERA *et al.*, 2011).

Aditivos naturais de extratos de plantas, seus compostos ativos isolados, produtos derivados de plantas, vitaminas e alguns metais podem promover atividade antioxidante e antimicrobiana em filmes biodegradáveis. Esses filmes podem ser usados como embalagens ativas com o objetivo de estender a vida-de-prateleira de uma grande variedade de produtos através da prevenção da desidratação, do crescimento microbiano, da rancidez oxidativa e do escurecimento na superfície do alimento. A incorporação de aditivos naturais em sistemas de embalagens ativas ou filmes comestíveis com base polimérica pode modificar a estrutura do filme e, como resultado, modificar sua funcionalidade e aplicabilidade em alimentos (SILVA-WEISS *et al.*, 2013).

Portanto, para obter o desenvolvimento bem sucedido de filmes biodegradáveis, embalagens ativas e embalagens inteligentes, é necessário combinar as propriedades

físicas, químicas e bioquímicas de vários materiais com as características do produto a ser embalado (LUCHESE *et al.*, 2013). Entre os polímeros biodegradáveis a partir de recursos renováveis utilizados para embalagens, o amido é considerado como um dos materiais mais promissores, devido à sua grande disponibilidade e preço relativamente baixo combinado com a sua biodegradabilidade inerente e origem renovável. Devido à baixa estabilidade dos compostos ativos em embalagens durante o processamento e armazenamento surge uma alternativa na elaboração de filmes, a técnica de encapsulamento que tem como finalidade agir como um revestimento protetor contra condições adversas ambientais tais como luz, umidade e oxigênio, e assim aumentar a vida-de-prateleira do produto.

A microencapsulação é uma técnica na qual substâncias no estado sólido, líquido ou gasoso são revestidas por um agente encapsulante, de maneira a formar partículas com dimensões microscópicas. Esta técnica apresenta aplicações em vários setores industriais, principalmente nos setores farmacêutico e alimentício, o que proporciona, entre muitos outros aspectos, estabilidade e uma liberação controlada dos compostos encapsulados (BRASILEIRO, 2011).

A nanotecnologia é outro método utilizado, na qual um composto pode ser coberto por outro produzindo dispersões particuladas ou partículas sólidas, com tamanhos que variam de 10 nm a 1 µm. De acordo com o método de preparo, podem ser obtidas nanopartículas, nanoesferas ou nanocápsulas. Nanocápsulas são sistemas em que o composto bioativo é solúvel no núcleo, confinado em uma cavidade rodeada por uma membrana de polímero, enquanto nanoesferas são sistemas de matriz no qual o composto é fisicamente e uniformemente disperso (MOHANRAJ; CHEN, 2006).

O presente trabalho de conclusão contém as mais recentes pesquisas relacionadas à produção de filmes biodegradáveis a base de amido, com compostos ativos micro ou nanoencapsulados e nanopartículas e suas possíveis aplicações em produtos alimentares.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo principal do presente trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica atualizada sobre embalagens biodegradáveis produzidas a partir de amido contendo compostos ativos micro ou nanoencapsulados e nanopartículas. Além disso, foram abordados aspectos relacionados às características físicas, mecânicas e estruturais dos filmes desenvolvidos, bem como a funcionalidade relacionada à presença desses compostos.

### 3 FILMES BIODEGRADÁVEIS

As embalagens desempenham múltiplas funções nos alimentos, de forma que podem prolongar sua vida de prateleira, oferecer proteção mecânica, evitar contaminações, facilitar o transporte e o armazenamento. Além disso, ainda permitem fracionar os alimentos em quantidades ideais para o consumo. Atualmente, a maioria das embalagens utilizadas é produzida a partir de polímeros sintéticos provenientes de fontes não renováveis de energia, como o petróleo (SIRACUSA *et al.*, 2008).

Polímeros de origem petroquímica são largamente utilizados em embalagens alimentícias, como por exemplo polipropileno, poliestireno, policloreto de vinila (PVC), tereftalato de etileno (PET), poliésteres, poliamidas e filmes poliolefinicos. Sua ampla utilização relaciona-se com suas vantagens em relação a outros materiais, pois são química e mecanicamente resistentes, leves, possuem propriedades de barreira ao oxigênio e a compostos aromáticos e podem ser termossoldados ou impressos, além de apresentarem baixo custo. Por outro lado, estes polímeros apresentam baixa permeabilidade ao vapor d'água e são considerados não biodegradáveis (THARANATHAN, 2003), de forma que permanecem praticamente intactos ao longo dos anos e acarretam em sérios problemas ecológicos e ambientais (DO SUL, COSTA, 2014).

Filmes biodegradáveis Polímeros biodegradáveis são polímeros nos quais a degradação resulta da ação de microorganismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas (ASTM, 1999) podendo ser consumidos em semanas ou meses sob condições favoráveis de biodegradação (MOHANTY *et al.*, 2008). Eles podem ser provenientes de fontes naturais renováveis como milho, celulose, batata, cana-deaçúcar, ou serem sintetizados por bactérias a partir de pequenas moléculas como o ácido butírico ou o ácido valérico dando origem ao polihidroxibutirato – PHB e ao polihidroxibutirato-co-valerato – PHB-HV, respectivamente, ou até mesmo serem derivados de fonte animal, como a quitina, a quitosana ou proteínas (RAY, 2005). Podem atuar como barreira a elementos externos e, conseqüentemente, proteger o produto embalado de danos físicos e biológicos, com aumento da vida-de-prateleira.

A finalidade do uso desses filmes depende de suas propriedades funcionais, como barreira à umidade, gases e solutos, solubilidade em água, propriedades ópticas, características mecânicas, reológicas e propriedades térmicas. Estas propriedades dependem da composição da matriz polimérica, do seu processo de obtenção, modo de aplicação, do condicionamento e da espessura do filme (ROBERTSON, 2012).

A preparação de filmes envolve agentes de formação de película, solventes e plastificantes, entre outros reagentes. Além disso, alguns compostos podem ser adicionados durante a produção dos filmes para fornecer, por exemplo, propriedades antioxidantes e antimicrobianas. A aplicação de recursos naturais no setor da embalagem de alimentos tem sido investigada devido a biodegradabilidade destes filmes de polímeros naturais e a sua capacidade para retardar o transporte de umidade e de gás (MACIEL *et al.*, 2012).

Os filmes biodegradáveis provenientes da biomassa podem ser divididos em três categorias de acordo com a sua matriz polimérica: filmes a partir de hidrocoloides (amido, proteínas, celulose, alginatos, pectinas e outros polissacarídeos), lipídeos (ceras, acilgliceróis e ácidos graxos) e composto (hidrocoloides combinados com lipídeos) (PETERSSON; STADING, 2005).

De acordo com sua composição, os filmes biodegradáveis podem atuar de diversas maneiras sobre os alimentos. É possível desenvolver filmes biodegradáveis com características desejáveis para cada tipo de aplicação, uma vez que diferentes matrizes alimentícias demandam embalagens com funcionalidades distintas (FALGUERA *et al.*, 2011). Em frutas e vegetais minimamente processados, por exemplo, é de interesse que a embalagem ofereça barreiras ao vapor d'água, a fim de evitar uma possível desidratação dos produtos (OLIVAS *et al.*, 2003). Já para alimentos ricos em gordura, como peixes, carnes e queijos, os filmes biodegradáveis ideais são aqueles com características que previnem a oxidação lipídica e a perda de umidade (GENNADIOS *et al.*, 1997).

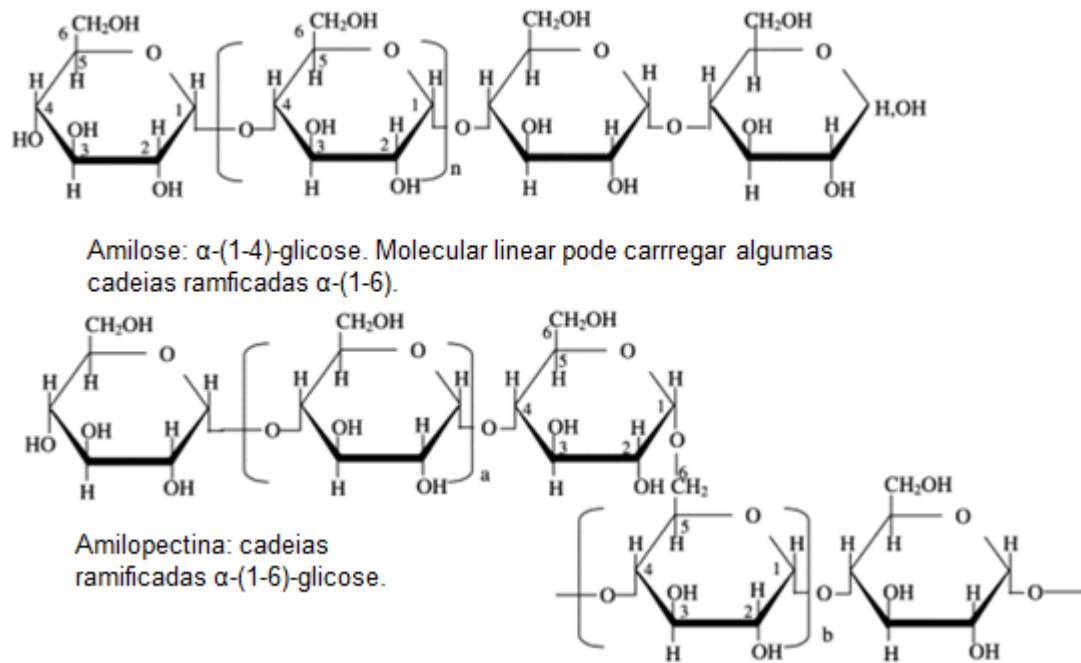
#### 4 FILMES OBTIDOS A PARTIR DE AMIDO

A escolha do material a ser utilizado na formulação dos filmes e revestimentos é muito importante, pois deste dependerão as interações entre os componentes do material, que poderão interferir nas propriedades de barreira, mecânicas e sensoriais dos filmes. A partir disso, tem sido publicados inúmeros estudos sobre caracterização das propriedades funcionais de filmes de amido principalmente porque ele é uma matéria-prima abundante e disponível em todo o mundo, apresenta muitas possibilidades de modificação química, física ou genética e origina filmes e revestimentos resistentes. O amido pode ser obtido de diversas fontes vegetais, como cereais, raízes e tubérculos, e também de frutas e legumes, no entanto, a extração em nível comercial de amido se restringe aos cereais, raízes e tubérculos.

O amido é um polissacarídeo essencialmente constituído por amilose (20-30%) e amilopectina (70-80%) (Figura 1). A amilose é insolúvel em água o que torna o amido insolúvel, enquanto a amilopectina é solúvel, o que permite que o amido inche na fase aquosa para produzir suspensão que pode ser utilizada para produzir filmes biodegradáveis.



Figura 1 - Fórmula estrutural do amido



Fonte: Adaptado de TESTER; KARKALAS, 2002.

O amido é considerado uma matéria-prima promissora para obtenção de filmes, sobretudo por causa da combinação atraente de sua grande disponibilidade e preço relativamente baixo. Uma das características únicas de polímeros à base de amido é sua propriedade de processamento térmico, que é muito mais complexa do que polímeros convencionais, uma vez que, várias reações químicas e físicas podem ocorrer durante o processamento, tais como a difusão de água, a expansão granular, a gelatinização, a decomposição, a fusão e a cristalização. Entre estas transições de fase, a de gelatinização é, particularmente, a mais importante porque está intimamente relacionada com a conversão do amido em material termoplástico. Além disso, apresenta características físicas apropriadas além de ser inodoro, insípido e incolor. No entanto, apresenta sensibilidade à água, devido ao seu caráter hidrófilo e suas propriedades mecânicas são mais fracas em comparação aos polímeros sintéticos convencionais (DIAS *et al.*, 2010).

Infelizmente, existem algumas limitações fortes para o desenvolvimento de filmes de amido como base, uma vez que eles apresentam pobres propriedades de tração e

alta permeabilidade ao vapor de água quando comparado aos filmes convencionais derivados de petróleo. Tais características devem-se a sua natureza hidrofílica e sensibilidade ao conteúdo de umidade, um fator que é difícil de controlar. Entretanto, a possibilidade de transformação do amido nativo em material termoplástico com propriedades satisfatórias vêm sendo aprimorada nos últimos anos.

Com o intuito de modificar benéficamente suas propriedades mecânicas, sensoriais, nutricionais ou de proteção, agentes plastificantes podem ser incorporados aos filmes. O material plastificante reduz as forças intermoleculares, suaviza a rigidez estrutural do filme e aumenta a mobilidade entre as cadeias poliméricas, o que resulta em filmes com maior elasticidade e flexibilidade. Esses agentes, que normalmente são utilizados para a produção do amido termoplástico incluem o glicerol (ALVES *et al.*, 2007), polietileno-glicol (PARRA *et al.*, 2004) e outros polióis, tais como sorbitol, manitol e os açúcares (KECHICHIAN *et al.*, 2010).

#### **4.1 Agentes plastificantes**

Em matrizes com base de amido, por exemplo, é comum o uso de polióis, como o glicerol e o sorbitol, que são materiais que interagem com as cadeias de amido através de ligações de hidrogênio, o que propicia uma melhoria nas suas propriedades mecânicas (MALI *et al.*, 2010). Apesar dos plastificantes serem bons aditivos para os filmes de amido, pois melhoram a flexibilidade e facilitam seu manuseio, a sua utilização pode prejudicar as propriedades de barreira, como permeabilidade aos vapores de água e solubilidade (SOUZA *et al.*, 2011).

Alguns autores consideram que o glicerol, um poliálcool encontrado naturalmente em uma forma combinada como glicerídeos em gorduras e óleos animais e vegetais, é o melhor plastificante para polímeros solúveis em água (MÜLLER *et al.*, 2008). Os grupos de hidroxilas presentes no glicerol são responsáveis por interações inter e intramoleculares (pontes de hidrogênio) na cadeia polimérica, o que proporciona películas com uma estrutura mais flexível e permite uma melhor adaptação ao processo de produção de embalagens (SOUZA *et al.*, 2010).

## 5 FILMES ATIVOS

A oxidação lipídica juntamente com o crescimento microbiano são as principais causas de deterioração em uma grande variedade de alimentos. Eles causam a perda de qualidade nutricional e sensorial do produto embalado. A fim de evitar ou diminuir essas causas de deterioração, a embalagem ativa vem sendo largamente pesquisada. Com o objetivo principal de estender a vida-de-prateleira do produto, os filmes ativos, além de prevenir a oxidação lipídica e o crescimento microbiano, auxiliam na prevenção do escurecimento enzimático (GOMEZ-ESTACA *et al.*, 2014)

As embalagens ativas têm várias funções adicionais em relação às embalagens passivas, que são limitadas a proteger os alimentos de condições externas. As embalagens ativas alteram as condições do produto, aumentando sua vida de prateleira, segurança e qualidade e, ou melhorando suas características sensoriais (VERMEIREN *et al.*, 2002).

Atualmente, os filmes ativos são classificados de acordo com a sua função, que pode ser antioxidante, antimicrobiana, aromático, etc. Para tomar um filme ativo, deve-se incorporar agentes que possuam essa função em embalagens para promover a estabilidade de produtos alimentícios sensíveis a oxidação ou contaminação. Neste trabalho serão abordados apenas os filmes ativos antioxidantes e antimicrobianos.

### 5.1 Filmes antioxidantes

Tradicionalmente, antioxidantes sintéticos são usados a fim de obter melhores resultados. Como exemplo, é possível citar polifenóis, organofosfatos e tioésteres. Entretanto, seu uso é proibido em alimentos por apresentarem efeitos toxicológicos. Embalagens antioxidantes estão sendo desenvolvidas através da incorporação de compostos ativos na matriz polimérica ou sobre a superfície do filme. O processo de produção deve ser selecionado tendo em consideração o tipo de polímero e as características dos agentes antioxidantes, especialmente a resistência ao calor e o mecanismo de ação. Se a atividade antioxidante do material baseia-se no processo de

migração para o alimento, as substâncias liberadas devem ser aditivos alimentares e cumprir com os regulamentos atuais em termos da concentração máxima.

## **5.2 Filmes antimicrobianos**

A aplicação de embalagens antimicrobianas está diretamente relacionada com a segurança alimentar, bem como a extensão da vida útil, para impedir o crescimento e desenvolvimento de microrganismos. O crescimento de microrganismos deteriorantes reduz a vida-de-prateleira e a qualidade dos alimentos, ao passo que, o crescimento de microrganismos patogênicos ocasiona potencial perigo para a saúde pública. O uso de embalagens antimicrobianas tem como vantagem a incorporação do agente, diretamente, no alimento, e o fato de que menores teores de conservante entram em contato direto com o produto, que atende uma tendência atual, que é a busca do consumidor por alimentos livres de conservantes (OLIVEIRA, OLIVEIRA, 2004).

O uso de embalagens antimicrobianas tem mais vantagens em relação ao uso direto de conservantes adicionados nas superfícies de alimentos por sprays, pois esses últimos não são suficientemente eficazes para inibir microrganismos. Isto ocorre devido a uma rápida difusão do composto na matriz e subsequente uma alteração das substâncias ativas por componentes dos alimentos que reduzem sua atividade. As embalagens ativas devem oferecer uma migração lenta e contínua do composto, o que permite manter sua concentração elevada durante um longo período de estocagem (QUINTAVALLA, VICINI, 2002).

## **5.3 Compostos incorporados em embalagens ativas**

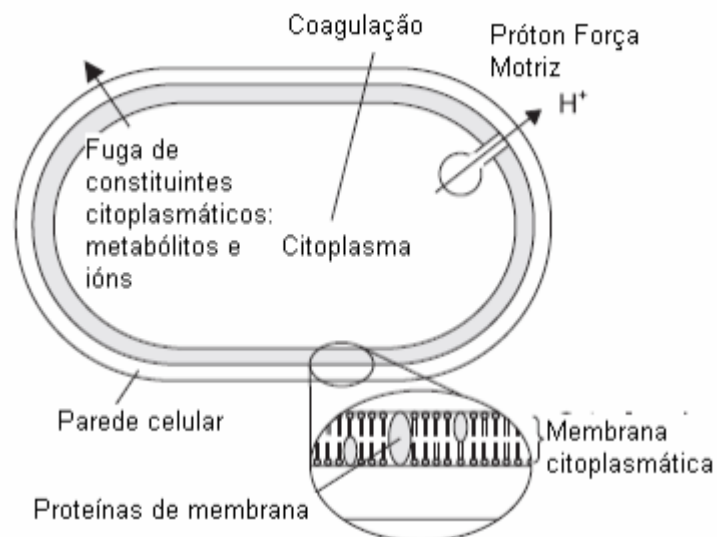
Estudos relatam o desenvolvimento de embalagens ativas com antioxidantes incorporados para melhorar a conservação de alimentos, tais como alfa-tocoferol (MARTINS *et al.*, 2012), extratos de plantas (LI *et al.*, 2014), curcumina (LÓPEZ-DE-DICASTILLO *et al.*, 2012), eugenol (BURT, 2004), entre outras.

Em relação às embalagens antimicrobianas, os produtos mais comumente incorporados são aqueles se apresentam na forma gasosa, que podem ser agentes voláteis, como o dióxido de cloro, etanol e dióxido de enxofre (APPENDINI, HOTCHKISS, 2002). Óleos essenciais e extratos de plantas também podem apresentar função antimicrobiana.

Os óleos essenciais de plantas são ricos em terpenoides e partículas fenólicas voláteis, sendo um potencial agente para inibir um amplo espectro de microorganismos. Exemplos de extratos vegetais e óleos essenciais que são mais amplamente incorporados em embalagens de alimentos são linalol, timol, carvacrol, óleo de cravo, cinamaldeído e óleos essenciais de manjeriço.

Os locais, ou estruturas, da célula bacteriana que são considerados sítios de ação para os componentes de produtos naturais são ilustrados na Figura 2. Geralmente os mecanismos de ação de compostos naturais são desintegração da membrana citoplasmática, desestabilização da força próton motriz, fluxo de elétrons, transporte ativo e coagulação do conteúdo da célula. Nem todos os mecanismos de ação agem em alvos específicos, sendo que alguns sítios pode ser afetados em consequência de outros mecanismos (BURT, 2004).

Figura 2 - Locais e mecanismos de ação que podem ser sítios para ação de compostos naturais na célula bacteriana.



Fonte: SILVA, N. C, 2010.

Há trabalhos que apresentam filme a base de amido com ambos os efeitos antioxidantes e antimicrobianos. PYLA *et al.* (2010) estudaram o efeito da adição de ácido tânico na matriz de amido de milho e encontraram atividade antibacteriana contra *Escherichia coli* O157: H7 e *Listeria monocytogenes* e um efeito antioxidante em óleo de soja.

A incorporação de compostos em alimentos e medicamentos é uma tarefa desafiadora devido à baixa estabilidade de certos compostos em relação às condições durante o processamento e armazenamento. O encapsulamento representa uma técnica eficiente para introduzir tais compostos para esses produtos, uma vez que os materiais de parede, também chamados de agentes de encapsulamento, agem como um revestimento protetor contra condições adversas ambientais tais como luz, umidade e oxigênio. Compostos bioativos encapsulados são mais fáceis de manusear, além de apresentarem maior estabilidade (YOUSUF *et al.*, 2015).

Além do processo de encapsulamento para obtenção de nanocápsulas com compostos ativos para aplicação em alimentos, a adição de nanopartículas também tem sido utilizada, com excelentes resultados em muitas áreas. Uma nanopartícula é uma partícula ultrafina na escala nanométrica, capaz de formar filmes quando combinado com polímeros naturais. A pesquisa e desenvolvimento de materiais nano-bio-compósitos para aplicações em alimentos deverá crescer com o advento de novos materiais poliméricos com nanopartículas inorgânicas, embora tal técnica não seja ainda amplamente difundida.

Algumas das aplicações associadas à nanotecnologia incluem a melhora no sabor, cor, textura e consistência dos alimentos, aumento da absorção e biodisponibilidade de nutrientes, e o desenvolvimento de novos materiais para embalar alimentos com melhores propriedades mecânicas, de barreira e antimicrobianas (RESTUCCIA *et al.*, 2010).

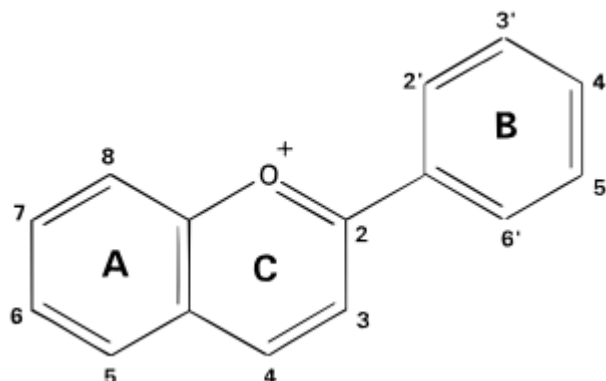
LIU *et al.* (2015) incorporaram nanopartículas de quitosana com diferentes eficiências de encapsulação em filmes de gelatina com propriedades de liberação controlada. A adição dessas nanopartículas reduziu a oxidação de óleo de girasol

durante as 6 primeiras semanas em que as amostras foram armazenadas sobre proteção dos filmes.

Outros compostos têm sido incorporados em filmes de amido para exercer atividade antioxidante e podem ser classificados como antioxidantes primários ou secundários. Os antioxidantes primários são capazes de interromper a cadeia de radicais, ao ceder hidrogênio a um radical lipídico livre e assumir a forma de radical estável, sendo incluído neste grupo os compostos fenólicos que apresentam grupos doadores de elétrons nas posições orto e para de sua cadeia cíclica. Por sua vez, os antioxidantes secundários reduzem o processo de iniciação oxidativa ao utilizar agentes quelantes de metais como, por exemplo, o ácido etilenodiaminotetracético e o ácido cítrico. Dentro do grupo de antioxidantes encontram-se as antocianinas, os carotenoides, e os ácidos orgânicos, como o ácido ascórbico.

As antocianinas (Figura 3 e Quadro 1) pertencem a um dos maiores grupos de pigmentos constituintes das plantas, conhecidos como flavonoides, e são responsáveis pelas cores brilhantes da maioria das frutas, legumes, flores e alguns grãos de cereais. Além de suas propriedades corantes, elas são conhecidas por seus possíveis benefícios para a saúde na forma de antioxidantes na dieta, que ajudam a prevenir doenças renais, doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, inflamação, etc. Sua elevada atividade antioxidante é geralmente atribuída à sua estrutura particular, que permite a doação de átomos de hidrogênio dos grupos hidroxil-aromáticos. Assim, antocianinas têm sido descritas como eficazes sequestrantes de espécies reativas de oxigênio, evitando assim a propagação de novas espécies de radicais livres, que catalisam a oxidação de lipídeos e podem causar danos em vários sistemas (VAN ACKER *et al.*, 1996).

Figura 3 - Fórmula estrutural generalizada das antocianinas.



Quadro 1 - Agliconas mais encontradas em antocianinas

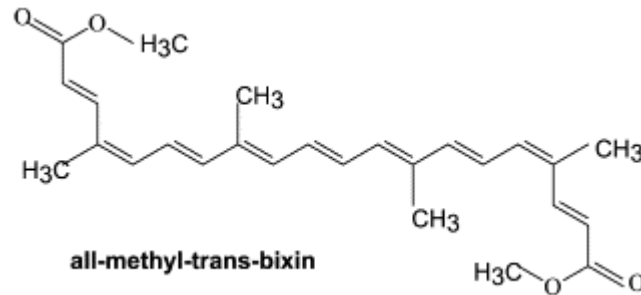
Composto	3	5	7	3'	4'	5''
Delfinidina	OH	OH	OH	OH	OH	OH
Cianidina	OH	OH	OH	OH	OH	H
Pelargonidina	OH	OH	OH	H	OH	H
Malvidina	OH	OH	OH	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>
Peonidina	OH	OH	OH	OCH <sub>3</sub>	OH	H

Fonte: Adaptado de WANG *et al.*, 1997.

A bixina (Figura 4) é o pigmento principal encontrado em sementes de urucum, um carotenoide composto por nove ligações duplas conjugadas e dois grupos carboxílicos. Tal estrutura é responsável não só pela sua absorção de luz e propriedades antioxidantes, mas também pela sua baixa solubilidade em água. Semelhante a outros carotenoides, a bixina é um eficiente desativador de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (RIOS *et al.*, 2009).



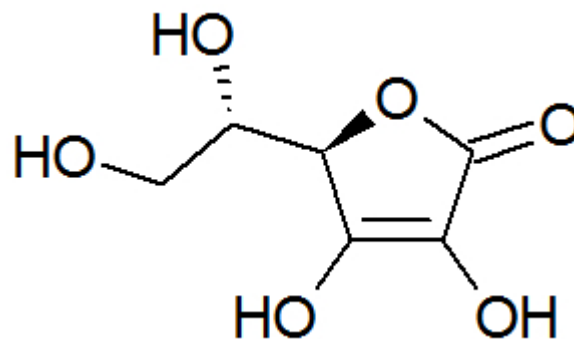
Figura 4 - Fórmula estrutural da bixina.



Fonte: LYNG, 2005.

Como um aditivo alimentar, o ácido ascórbico (Figura 5) pode servir como antioxidante a fim de proteger as propriedades sensoriais e nutricionais de alimentos. A sua incorporação em filmes aumenta as propriedades funcionais do material de embalagem. Isto tem sido demonstrado por pesquisas recentes sobre o desenvolvimento de filmes ativos contendo ácido ascórbico como antioxidante para aplicação em alimentos. Nestes estudos, foi desenvolvido um revestimento comestível à base de alginato como portador de ácido ascórbico e ácido cítrico e foi avaliada a atividade antioxidante do revestimento comestível em *fresh-cut* manga. SANCHEZ *et al.* (2013) verificaram que o revestimento comestível contendo ácido ascórbico a base de alginato não só contribuiu para retenção de cor em mangas frescas de corte, mas também melhorou o seu potencial antioxidante.

Figura 5 - Fórmula estrutural do ácido ascórbico.



Fonte: FORNARO, COICHEV, 1997.

Nanocompósitos com função antimicrobiana são altamente úteis para a minimização do crescimento de microrganismos contaminantes durante o processamento ou armazenamento dos alimentos e, assim, o prolongamento da vida de prateleira e melhoria da segurança alimentar (RHIM *et al.*, 2013).

Esforços têm sido feitos para incorporar nanopartículas de prata em materiais de embalagem aceitáveis, tais como papel de filtro, polietileno de baixa densidade (LDPE), e poli (metacrilato de metilo) (PMMA). Convencionalmente, as nanopartículas de prata são produzidas pela redução dos precursores de sal de prata usando agentes redutores químicos na presença de estabilizadores. Embora a redução química seja um método fácil e conveniente, agentes redutores químicos, tais como  $\text{NaBH}_4$ , formamida, dimetilformamida, trietanolamina, hidrazina, etc, estão envolvidas na produção e a remoção destes agentes é demorada e os seus resíduos são tóxicos.

Além disso, numerosos materiais biodegradáveis, por exemplo poli (álcool vinílico) e polissacarídeos tais como amido, quitosana e alginato têm sido utilizados para fabricar filmes à base de nanopartículas de prata. Outros nanocompósitos metálicos, tais como óxido de zinco, óxido de titânio e de cobre e sais de ouro também têm sido incorporados em filmes (PAGNO *et al.*, 2015).

## **6 FILMES DE AMIDO COM COMPOSTOS ATIVOS MICRO OU NANOENCAPSULADOS E NANOPARTÍCULAS**

Como visto nos capítulos precedentes, filmes biodegradáveis aplicados em alimentos são classificados de acordo com:

- o polímero que servirá como base para a sua fabricação;
- o composto que será adicionado na matriz polimérica;
- sua interação com os componentes da embalagem e com o alimento embalado;
- a estabilidade do composto ativo;
- a forma de encapsulação ou em qual forma ele deverá ser utilizado;
- a finalidade com a qual a embalagem será fabricada, podendo ser exclusiva para prevenção de crescimento microbiano em alimentos ou para prevenção da oxidação lipídica.

O Quadro 2 resume os principais artigos científicos encontrados na literatura que avaliaram sobre filmes biodegradáveis tendo o amido como matriz polimérica e incorporados de compostos ativos micro ou nanoencapsulados e nanopartículas.

Quadro 2 – Filmes biodegradáveis de amido com compostos ativos ou nanocompósitos

<b>Autores</b>	<b>Matriz Polimérica</b>	<b>Tipo de incorporação</b>	<b>Composto</b>	<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Ação Ativa</b>	<b>Estabilidade</b>	<b>Aplicação</b>
STOLL et al. (2016)	Amido de mandioca	Microencapsulação	Antocianinas	Maior elasticidade e resistência à tração.	Maior efeito antioxidante em óleo de girassol.	Maior estabilidade do composto encapsulado	Alimentos lipofílicos
SARTORI, T.; MENEGALLI, F. C. (2016)	Amido de banana verde	Microencapsulação	Ácido ascórbico	Maior elasticidade e resistência à tração	Filmes contendo microcápsulas apresentaram maior atividade	Maior estabilidade do composto encapsulado	Não apresentou estudo
PAGNO et al. (2016)	Amido de mandioca	Nanoencapsulação	Bixina	Maior elasticidade e resistência à tração	Maior efeito antioxidante em óleo de girassol	Maior estabilidade do composto encapsulado	Alimentos lipofílicos
YOKSAN ; CHIRACHANCHAI (2010)	Amido de arroz e amido de arroz ceroso	Adição de Nanopartícula	Nanopartículas de Prata	Maior elasticidade e resistência à tração	Apresentou efeito antimicrobiano.	Maior estabilidade da nanopartícula	Não apresentou estudo
PAGNO et al. (2015)	Amido de quinoa	Adição de Nanopartícula	Nanopartículas de Ouro	Menor elasticidade e resistência à tração.	Apresentou efeito antimicrobiano.	Maior estabilidade da nanopartícula	Não apresentou estudo

A micro e nanoencapsulação são técnicas nas quais substâncias, compostos ou agentes no estado sólido, líquido e gasoso são revestidos por um agente encapsulante, para obter partículas com dimensões micro ou nanométricas. Esta tecnologia proporciona a libertação controlada de fármacos e compostos bioativos, e permite a sua proteção contra as agressões do meio. Durante o processo de encapsulação, a seleção do material encapsulante é uma etapa crucial. O agente encapsulante deve ser escolhido em função das características do composto bioativo, da aplicação pretendida e do método utilizado para a formação das partículas. A encapsulação revela diversas vantagens em relação às outras técnicas de imobilização, como por exemplo, a agregação/floculação ou o aprisionamento em matrizes porosas, nomeadamente pela maior capacidade de carga, ou seja, pela maior contenção de moléculas e ainda pela menor perda das mesmas para o meio externo.

STOLL *et al.* (2016) desenvolveram filmes a partir de amido com antocianinas extraídas de bagaço de uva e encapsuladas com diferentes agentes (maltodextrina, goma arábica e mistura igualitária entre as duas). De acordo com os resultados os autores afirmam que esses filmes com antocianinas apresentaram diferentes propriedades mecânicas; sendo que os filmes incorporados com os pigmentos encapsulados com maltodextrina apresentaram como resultado um maior força de ruptura e elasticidade do que os filmes preparados a partir dos compostos encapsulados com goma arábica e da mistura igualitária. No caso da elasticidade, o resultado chegou a ser superior a 100% quando comparado aos outros filmes biodegradáveis. O percentual de elasticidade representa a alteração máxima no comprimento da amostra de ensaio antes de quebrar, o que reflete a capacidade dos filmes para o alongamento e adaptação aos produtos embalados.

Outro dado que deve ser ressaltado é o efeito de proteção à formação de peróxidos em óleo de girassol fornecidos pelos filmes. A amostra controle, a qual não foi revestida e portanto foi diretamente exposta ao ar e à luz; atingiu 65,8 mEq peróxidos/kg de amostra após 3 dias de armazenagem. Por sua vez, as amostras revestidas com filmes indicaram valores mais baixos, sendo aquela embalada com filme contendo antocianinas encapsuladas com maltodextrina apresentaram um valor de 4,7

peróxidos mEq/kg. Os resultados mostram que os filmes ativos são indicados para produtos lipídicos (STOLL *et al.*, 2016).

SARTORI & MENEGALLI (2016) desenvolveram um filme a partir do amido de banana verde contendo ácido ascórbico microencapsulado. As microcápsulas foram obtidas a partir de mistura entre ácidos graxos, fornecendo assim uma característica lipofílica ao filme. Neste estudo, os autores produziram um filme com menor elasticidade do que o filme utilizado como controle, que não continha as microcápsulas. A elasticidade alcançada pelas formulações com as microcápsulas não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) do alongamento na ruptura do filme controle e variaram apenas entre 1,6 e 2,0%, o que implicou na formação de filmes mais rígidos.

A baixa resistência mecânica pode constituir um inconveniente para algumas aplicações do filme, mas isto é menos importante quando o material serve de revestimento. Os surfactantes exibem características tanto hidrofóbicas quanto hidrofílicas, e os resultados obtidos neste trabalho desmonstram que a fração hidrófila do agente tensoativo estabilizou a porção hidrófila do polissacarídeo, bem como interações da película com a água.

O filme contendo as microcápsulas oleicas apresentou também maior opacidade e menor permeabilidade ao vapor, o que pode indicar uma boa propriedade de acordo com o alimento que será embalado. As micropartículas atuaram como agentes protetores na atividade antioxidante do ácido ascórbico durante a produção do filme, permanecendo em 84% do valor inicial após o processo de secagem por atomização, o qual foi o processo usado para encapsular o composto. Nesse estudo, os autores não especificaram qual alimento seria mais adequado para ser embalado com o filme produzido (SARTORI & MENEGALLI, 2016).

PAGNO *et al.* (2016) desenvolveram um filme com nanocápsulas de bixina incorporadas ao filme de amido de mandioca. Para obter as nanocápsulas foi usado uma mistura do polímero poly- $\epsilon$ -caprolactone (PCL) e monoestearato de sorbitano como agente de encapsulante. Os autores constataram que a incorporação de bixina nanoencapsulada ao filme de amido de mandioca afetou suas características mecânicas, como a redução da resistência à tração, o acréscimo da elasticidade até a ruptura e um aumento na barreira contra a radiação ultra-violeta. A análise das

propriedades mecânicas revelou que o filme com uma concentração de 2% de nanocápsulas de bixina exibiram um aumento significativo na resistência ( $14,40 \pm 1,69$  MPa) em comparação ao filme padrão ( $12,13 \pm 0,95$  MPa). Observou-se um efeito inverso em relação a elasticidade até a ruptura, em que o filme com 2% de nanocápsulas bixina exibiu uma diminuição significativa desse parâmetro ao ser comparado com o filme padrão.

Sistemas com nanoestruturas podem apresentar função antimicrobiana, sendo particularmente eficazes devido à elevada área superficial por volume e maior reatividade dos agentes antimicrobianos em escala nanométrica (RHIM *et al.*, 2013). Os materiais nanoparticulados também podem ser incorporados em polímeros ou biopolímeros para melhorar suas propriedades mecânicas, de barreira e óticas.

Filmes ativos de amido de quinoa foram preparados por incorporação de nanopartículas de ouro estabilizadas por um silsesquioxano iônico que contém o 1,4-diazobiciclo octano grupo cloreto (PAGNO *et al.*, 2015). Os filmes foram caracterizados e a sua atividade antimicrobiana foi avaliada com relação a presença de *E. coli* e *S. aureus*. A presença de nanopartículas de ouro produziu uma melhoria das propriedades mecânicas, pois observou-se uma diminuição na tração para os biofilmes contendo as nanopartículas, pois o polímero de silsesquioxano atuou como estabilizador, sendo as nanopartículas parcialmente consumidas nesta função e, conseqüentemente, diminuiu a sua disponibilidade na solução filmogênica inicial devido ao emaranhamento com as cadeias de amido. Outras propriedades avaliadas e que mantiveram seus resultados inalterados quando comparado com o biofilme padrão foram as propriedades térmicas e de barreira. Os biofilmes ativos exibiram forte atividade antimicrobiana contra agentes patogênicos de origem alimentar com porcentagens de inibição de 99% contra *E. coli* e 98% contra *S. aureus*.

Filmes preparados a partir de amido de arroz contendo quitosana e nanopartículas de prata (Ag) foram preparados por YOKSAN & CHIRACHANCHAI (2010) através de um método de redução de irradiação de raios- $\gamma$  de nitrato de prata numa solução de quitosana. A incorporação desses compostos conduziu a uma melhoria das propriedades de tração e da barreira de passagem do oxigênio. O filme padrão apresentou uma força de ruptura de 67 MPa, enquanto que os filmes contendo

nanopartículas de prata apresentaram 70 a 75 MPa. O aumento da força de ruptura do filme de quitosana sugere que a incorporação de nanopartículas de prata pode melhorar as propriedades de tração do filme a base de quitosana-amido.

Além disso, os filmes exibiram melhora na atividade antimicrobiana contra *E. coli*, *S. aureus* e *B. cereus*, como demonstrado pela zona de inibição em torno das películas. As áreas de inibição dos filmes foram iguais a 30,0 - 32,3, 30,3 - 31,8 e 32,0 - 33,3 mm para *S. aureus*, *B. cereus* e *E. coli*, respectivamente, indicando atividades antimicrobianas desses filmes. Os autores sugerem que esses filmes podem ser usados como materiais antimicrobianos para embalagens de alimentos e/ou aplicações biomédicas.

As propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis são características determinantes para a sua utilização como material de embalagem, pois indicam a resposta dos materiais às influências externas. Tais propriedades são manifestadas pela capacidade dos materiais desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. Os filmes obtidos devem ser resistentes à ruptura e a abrasão, além de oferecer proteção durante o manuseio e o transporte; também devem possuir flexibilidade suficiente para adaptar-se a eventuais deformações no alimento sem dano mecânico.

Com relação a ação dos filmes apresentada pelos trabalhos, aqueles com o propósito antioxidante demonstraram tal atividade quando comparados aos filmes sem substâncias ativas. Contudo, os autores realizaram comparações somente no tocante a estabilidade de tais compostos, sem abordar a diferença da atividade antioxidante entre os filmes com substâncias livres ou encapsuladas.

Todos os filmes presentes no quadro 3 apresentaram maior estabilidade frente a degradação promovida pela luz sobre os compostos ativos. Essas características relacionadas a estabilidade não foram avaliadas pelos filmes contendo nanopartículas, os quais focaram-se somente nas propriedades antimicrobianas. Neste caso, os autores relataram a atividade microbiana contra determinadas bactérias avaliadas nos estudos.

Apenas dois artigos apresentaram para qual tipo de alimento o filme desenvolvido é aconselhado para ser usado. Com esses dados é possível concluir que



mais estudos precisam ser realizados a fim de se obter a aplicação real dos filmes desenvolvidos.

## **7 CONCLUSÃO**

Verificou-se uma escassez na literatura de trabalhos que abordam o desenvolvimento de filmes biodegradáveis elaborados a partir de amido contendo compostos ativos que tenham sido micro ou nanoencapsulados para propiciar ao filme uma atividade antimicrobiana. Assim, abre-se uma perspectiva para a elaboração de filmes nessa área, além da aplicação em alimentos para analisar seu comportamento durante o armazenamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V.D.; MALI, S.; BELÉIA, A.; GROSSMANN, M.V.E. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 941–946, 2007.

APPENDINI, P.; HOTCHKISSB, J. H. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, n. 2, p. 113–126, 2002.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard terminology relating to plastics** – D 883, Annual book of ASTM, Philadelphia, PA. 1999.

BRASILEIRO, J. S. L. **Microencapsulação de Compostos Bioativos: inovação em diferentes áreas**. Dissertação de Mestrado em Ciências Farmacêuticas. Universidade Fernando Pessoa. Paraíba, 2011.

BURT, S. Essential Oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. **International Journal of Food Microbiology**, v.94, n.3, p. 223-253, 2004.

DIAS, A. B ; MULLER, C. M. O.; LAROTONDA, F. D. S.; LAURINDO, B. L. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 2, p. 213-219, 2010.

DO SUL, J. A. I.; COSTA, M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. **Environmental Pollution**, v. 185, p. 352-364, 2014.

FALGUERA, V.; QUINTERO J. P.; JIMENEZ A.; MUNOZ J. A.; IBARZ A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292-303, 2011.

FORNARO, A.; COICHEV, N. **Ácido l-ascórbico: reações de complexação e de óxido-redução com alguns íons metálicos de transição**. Química Nova - Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GENNADIOS, A.; HANNA, M. A.; KURTH, L. B. Application of Edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods: A Review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 4, p. 337-350, 1997.

GOMEZ-ESTACA, J.; LOPEZ-DE-DICASTILLO, C.; HERNANDEZ-MUNOZ, P.; CATALA, R.; GAVARA, R. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 42-51, 2014.

KECHICHIAN, C.; VEIGA-SANTOS, P.; TADINI, C. C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. **LWT Food Science and Technology**, v. 43, p. 1088–1094, 2010.

LI J. H.; MIAO J.; WU J. L.; CHEN S. F. ; ZHANG Q. Q. Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 166-173, 2014.

LIU, F.; ANTONIOU, J. ; LI, Y. ; YI, J. ; YOKOYAMA, W. ; MA, J. ; ZHONG, F. Preparation of Gelatin Films Incorporated with Tea Polyphenol Nanoparticles for Enhancing Controlled-Release Antioxidant Properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 3987 – 3995, 2015.

LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C.; ALONSO, J. M.; CATALÁ, R. N.; GAVARA, R.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P. Improving the Antioxidant Protection of Packaged Food by Incorporating Natural Flavonoids into Ethylene–Vinyl Alcohol Copolymer (EVOH) Films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 20, p. 10958-10964, 2010.

LYNG, S. M. O.; PASSOS, M.; FONTANA, J. D. Bixin and  $\alpha$ -cyclodextrin inclusion complex and stability tests. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 2; p. 865- 872, 2005.

LUCHESE C. L.; FRICK J M; PATZER V. L.; SPADA J; C;. TESSARO I. C. Synthesis and characterization of biofilms using native and modified pinhão starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 203 -210, 2013.

MACIEL, V. B. V.; YOSHIDA, C. M. P.; FRANCO, T. T. Development of a prototype of a colourimetric temperature indicator for monitoring food quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 21 - 27, 2012.

MALI, S.; DEBIAGI, F.; GROSSMANN, M. V. E.; & YAMASHITA, F. Starch, sugarcanebagasse fiber, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: a mixture design approach. **Industrials and Products**, v. 32, p.53 – 359, 2010.

MARTINS J. T.; CERQUEIRA M. A.; VICENTE A. A. Influence of alfa-tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1, p.220- 227, 2012.

MOHANRAJ, V. J.; CHEN, Y. Nanoparticles – A review. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 5, p. 561–573, 2006.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T.; SELKE, S. E.; HARTE, B. R.; HINRICHSSEN, G. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Oxford: Elsevier, 2008.

MÜLLER, C.M.O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J.B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 82–87, 2008.

OLIVAS, G. I; RODRIGUEZ, J. J.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings composed of methylcellulose stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 27, p. 299 – 320, 2003.

OLIVEIRA, L. M. D.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. D. Review: Main Antimicrobial Agents Used in Plastic Packaging. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 161-165, 2004.

PAGNO C. H.; FARIAS Y. B.; COSTA T. M. H; RIOS A. O;. FLORES S. H. . Synthesis of biodegradable films with antioxidant properties based on cassava starch containing bixin nanocapsules. **Journal Food Science Technology**, v. 53, n. 8, p. 3197 – 3205, 2016.

PAGNO, C. H; COSTA, T. M. H.; MENEZES, E. W.; BENVENUTTI, E. V.; HERTZ, P. F.; MATTE, C. R.; TOSATI, J. V.; MONTEIRO, A. R.; RIOS, A. O.; FLORES, S. H. Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity. **Food Chemistry**, v. 173, p. 755-762, 2015.

PARRA, D.F.; TADINI, C.C.; PONCE, P.; LUGÃO, A.B. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, p. 475–481, 2004.

PETERSSON, M.; STADING, M. Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 123-132, 2005.

PYLA, R.; KIM, T. J.; SILVA, J. L.; JUNG, Y. S. Enhanced antimicrobial activity of starch-based film impregnated with thermally processed tannic acid, a strong antioxidant. **International Journal of Food Microbiology**, v. 137, p. 154–160, 2010.

QUINTAVALLA, S.; VICINI, L. Antimicrobial food packaging in meat industry. **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 373–380, 2002.

RAY, S. S.; BOUSMINA, M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. **Progress in Materials Science**. v. 50, n. 8, 2005.

RESTUCCIA, D.; SPIZZIRRI, U. G.; PARISI, O. I.; CIRILLO, G.; CURCIO, M.; IEMMA, F. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. **Food Control**, v. 21, p. 1425 – 1435, 2010.

RHIM, J. W.; WANG, L. F.; HONG, S. I. Preparation and characterization of agar/silver nanoparticles composite films with antimicrobial activity. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 2, p. 327-335, 2013.

RIOS, A. O.; ANTUNES L. M. G.; BIANCHI M. L. P. Bixin and lycopene modulation of free radical generation induced by cisplatin–DNA interaction. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1113–1118, 2009.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition**. Taylor & Francis. CRC Press, 3a edição, 2012.

SANCHEZ, R. M.; GRAU, M. A.; SERANO, I.; AGUILAR, G. G.; BELOSSO, O. M. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive

compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. **LWT e Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 240-246, 2013.

SARTORI, T.; MENEGALLI, F. C. Development and characterization of unripe banana starch films incorporated with solid lipid microparticles containing ascorbic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 210-219, 2016.

SILVA, N. C. **Estudo comparativo da ação antimicrobiana de extratos e óleos essenciais de plantas medicinais e sinergismo com drogas antimicrobianas.** Dissertação para obtenção do título de Mestre em Biologia Geral e Aplicada. UNESP, São Paulo, 2010.

SILVA-WEISS A.; IHL M.; SOBRAL P. J. A.; GOMEZ-GUILLEN M. C.; BIFANI V. Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods. **Food Eng Rev**, v. 711, n. 5, p. 200–216, 2013.

SIRACUSA, V. et al. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 12, p. 634-643, 2008.

SOUZA A. C.; DITCHFIELD C.; TADINI C. **Biodegradable films based on biopolymers for food industries.** M.L. Passos, C.P. Ribeiro (Eds.), Innovation in Food Engineering: New techniques and products, CRC Press, Boca Raton, FL, p. 511–537, 2010.

SOUZA, C. O.; SILVA L. T.; SILVA J. R.; LOPEZ J. A.; VEIGA-SANTOS P. DRUZIAN J. I. Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch bio-based film. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.1, n.1. p , 2011.

STOLL L.; COSTA T. M. H; JABLONSKI A.; FLORES S. H.; RIOS A. O. Microencapsulation of Anthocyanins with Different Wall Materials and Its Application in Active Biodegradable Films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 1, p. 172-181, 2016.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J. Starch. **Biopolymers**, v. 6. p. 381–438, 2002.

VAN ACKER, S. A. B. E.; VAN DEN BERG, D.; TROMP, M. N. J. L.; GRIFFIOEN, D. H.; VAN BENNEKOM, W. P.; VAN DER VIJGH, W. J. F. Structural aspects of antioxidant

activity of flavonoids. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 20, n. 3, p. 331–342, 1996.

VERMEIREN, L.; DEVLIEGHIERE, F; DEVEBERE, J. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. **Food Additives and Contaminants**, v. 19, p.163-171, 2002.

WANG, H.; CAO, G., PIOR; R. L. Oxygen Radical Absorbing Capacity of Anthocyanins. **J. Agric. Food Chemistry**, v. 45, p 304-309, 1997.

YOKSAN R.; CHIRACHANCHAI S. Silver nanoparticle-loaded chitosan–starch based films: Fabrication and evaluation of tensile, barrier and antimicrobial properties. **Materials Science and Engineering C.**, v. 0, p 891-897, 2010.

YOUSUF, B.; GUL, K.; WANI, A. A.; & SINGH, P. Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 13, p. 2223 – 2230, 2015.