

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BRUNA LUISA CASTRO

**NOVAS TECNOLOGIAS EM EMBALAGENS E APLICAÇÕES DE
NANOPARTÍCULAS DE PRATA NA CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS – UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

FORMIGA – MG

2019

BRUNA LUISA CASTRO

NOVAS TECNOLOGIAS EM EMBALAGENS E APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS
DE PRATA NA CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS – UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

FORMIGA-MG

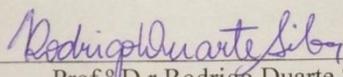
2019

BRUNA LUISA CASTRO

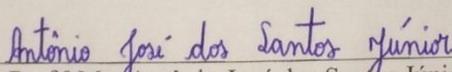
NOVAS TECNOLOGIAS EM EMBALAGENS E APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS
DE PRATA NA CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS – UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

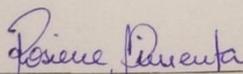
BANCA EXAMINADORA



Prof.º D.r Rodrigo Duarte Silva
Orientador



Prof.º M.e Antônio José dos Santos Júnior
UNIFOR-MG



Prof.ª Rosiene Gonzaga de Jesus Pimenta
UNIFOR-MG

Formiga, 5 de novembro de 2019.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que se apoiaram nos estudos, tendo este como única alternativa para a superação das dificuldades e transformação da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me abençoar e sempre estar presente em todo o meu caminho ao longo do curso.

À Nossa Senhora por ter sido minha mãe e protetora.

À toda minha família que esteve ao meu lado me dando apoio, suporte e forças para não desistir, em especial aos meus pais Geraldo e Marli.

Aos meus amigos colegas de curso que me ajudaram na conclusão do mesmo de uma forma mais alegre e descontraída.

Ao Professor Doutor Rodrigo Duarte Silva, pela confiança depositada em mim, por permitir ser meu orientador e por ter me concedido sábios conselhos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores que fizeram parte desses cinco anos compartilhando conhecimento, ideias e valores para o meu crescimento pessoal e profissional e que além de tudo tiveram paciência para ensinar.

Aos meus amigos e chefes de estágio Cristiane Canto e Wemerson Henrique que durante dois anos me ajudaram a amadurecer profissionalmente e fizeram com que a caminhada fosse mais leve, proporcionando oportunidades e muitas alegrias.

A todos os funcionários do UNIFOR-MG que tanto me ajudaram quanto torceram por mim e que criaram comigo uma relação de amizade.

À veterinária da CLIMVET Dra. Natália Rodrigues, aos funcionários da limpeza dos laboratórios Cidinha, Dagmar e Warley, que me motivaram com alegria nos momentos mais difíceis.

À minha grande amiga e segunda mãe Brígida Bernardes, que não só acompanhou toda minha evolução como me ajudou, aconselhou e foi principalmente a minha maior confidente.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização do meu sonho e que aqui não tenha mencionado.

RESUMO

Durante os últimos anos, têm-se observado um aumento no estudo sobre a otimização de embalagens de alimentos, a fim de contribuir para o crescimento da indústria alimentícia. Além do desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes, a tecnologia mais notável e mais recente é a nanotecnologia. Diversas áreas podem ser beneficiadas com o uso da nanotecnologia. Neste trabalho é citada principalmente a utilização da nanotecnologia no setor alimentício, incluindo o desenvolvimento de novos produtos, novos materiais funcionais, processamento de materiais em nanoescala, além do desejo de contribuir para o aumento da segurança alimentar, conservação dos alimentos contra agentes físicos, químicos e microbiológicos e também da biossegurança. Para isto, diversos processos estão sendo desenvolvidos, incluindo a produção de nanocápsulas, nanopartículas, nanocompósitos nanolaminados, nanodispersões, nanotubos e nanofibras. Esta revisão da bibliografia apresenta as potenciais aplicações de embalagens ativas e inteligentes em diversos tipos de alimentos, além de adição de novas tecnologias, em especial as nanopartículas de prata, comparando estudos relacionados à sua viabilidade, bem como os potenciais riscos ao consumidor, ao meio ambiente e as decorrências para a segurança alimentar.

Palavras-chave: embalagem, embalagem ativa, nanotecnologia, nanopartículas de prata.

ABSTRACT

Over the past few years, major breakthrough studies on the optimization of food packaging have been observed to contribute to the growth of the food industry. In addition to the development of active and intelligent packaging, the latest and most notable technology is nanotechnology. Several areas can benefit from the use of nanotechnology. This work mainly mentions the use of nanotechnology in the food sector, including the development of new products, new functional materials, nanoscale material processing, as well as the desire to contribute to increased food safety, conservation of food against physical agents, chemicals, and microbiological as well as biosafety. To this end, various processes are being developed, including the production of nanocapsules, nanoparticles, nanolaminated nanocomposites, nanodispersions, nanotubes and nanofibers. This literature review presents the potential applications of active and intelligent packaging in various types of food, as well as the addition of new technologies, especially silver nanoparticles, comparing studies related to their viability as well as potential risks to the consumer, environment and the consequences for food safety.

Keywords: packaging, active packaging, nanotechnology, silver nanoparticles.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 DESENVOLVIMENTO.....	13
3.1 A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E SEU DESENVOLVIMENTO.....	13
3.2 ESTUDO DE ASPECTOS GENÉRICOS DA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS ..	14
3.3 CONTAMINAÇÃO DOS ALIMENTOS POR MICRORGANISMOS.....	15
3.4 ALTERAÇÕES EM ALIMENTOS DURANTE A ESTOCAGEM.....	17
3.4.1 Oxidação de lipídeos.....	17
3.4.2 Alterações enzimáticas.....	18
3.5 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS PELO USO DE EMBALAGENS.....	19
3.5.1 Benefícios para a sociedade.....	20
3.5.2 Otimização das embalagens e suas funções.....	20
3.6 EMBALAGENS E SUAS CLASSIFICAÇÕES.....	21
3.7 LEGISLAÇÃO DE EMBALAGENS PARA CONTATO COM ALIMENTOS.....	21
3.7.1 No Brasil.....	23
3.8 TENDÊNCIAS APLICADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS EMBALAGENS ..	24
3.8.1 Embalagens ativas.....	24
3.8.1.1 Absorvedores de oxigênio.....	25
3.8.1.2 Emissores e absorvedores de dióxido de carbono.....	26
3.8.1.3 Eliminadores de etileno.....	27
3.8.1.4 Emissores de etanol.....	28
3.8.1.5 Absorvedores de umidade.....	29
3.8.1.6 Agentes antimicrobianos.....	30

3.8.1.7 Absorvedores de sabor/odor.....	31
3.8.1.8 Embalagem com controle de temperatura	32
3.9 EMBALAGENS INTELIGENTES	33
3.9.1 Definição	33
3.9.2 Indicadores de tempo e temperatura	33
3.9.3 Indicadores de gás	34
3.9.4 Biosensores.....	35
3.10 NANOTECNOLOGIA EM EMBALAGENS	36
3.10.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)	37
3.10.3 Síntese de nanopartículas de prata	38
3.10.3.1 Abordagens físicas	39
3.10.3.2 Abordagens químicas	39
3.10.3.3 Abordagens biológicas.....	40
3.10.3.3.1 Síntese de nanopartículas de prata por bactérias.....	41
3.10.3.3.2 Síntese de nanopartículas de prata por fungos.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 Nanopartículas de prata: método alternativo de sanitização para couve minimamente processada.....	44
4.2 Avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata com diferentes concentrações em filmes poliméricos.....	45
4.3 Comparação dos resultados apresentados nos dois experimentos.....	47
5 RISCOS E REGULAMENTAÇÃO SOBRE NANOTECNOLOGIA EM ALIMENTOS.....	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

A conservação dos alimentos estabelece, em geral, tratamentos químicos ou físicos para manter ou aumentar sua vida de prateleira. Grandes interesses surgiram pelo desenvolvimento de embalagens com tecnologias inovadoras aplicadas devido à grande preocupação das indústrias pela qualidade dos seus produtos, à crescente exigência dos consumidores e à preocupações com o meio ambiente(MARCOS *et al.*, 2008).

A embalagem desempenha papel fundamental na cadeia de suprimento de alimentos. Sua principal função é servir como uma camada protetora para o alimento, o que permite o transporte eficiente de todos os suprimentos, atendendo à necessidade fundamental de manter a qualidade e a segurança dos alimentos, desde a produção até a mesa do consumidor, impedindo alterações químicas e biológicas indesejadas. Portanto, a embalagem atua como uma barreira para proteger os alimentos de influências ambientais como umidade, luz, oxigênio, pragas, voláteis, poeira e contaminação por microrganismos (YILDIRIM, 2011).

A indústria alimentícia é de fato um dos setores que atraem mais investimentos. Esse mercado abrange o desenvolvimento de novos produtos e embalagens, materiais funcionais, além de aplicações para melhoria da segurança alimentar e de biossegurança (PEREZ, 2012).

Uma das soluções encontradas para diminuir as perdas e aumentar a qualidade dos alimentos, particularmente na área das embalagens, é o desenvolvimento da nanotecnologia aplicada a filmes, sachês, etiquetas e até mesmo no próprio material da embalagem, podendo ser utilizadas nanopartículas, nanocompósitos, nanotubos, etc. No entanto, o principal desafio do uso da nanotecnologia é substituir as embalagens convencionais mantendo a qualidade do produto, conservando suas propriedades, sem prejudicar a saúde do consumidor e o meio ambiente (PEREZ, 2012).

A nanotecnologia é um campo da pesquisa moderna que trata de síntese e manipulação da composição de partículas variando de aproximadamente 1-100 nm. O crescimento dessa tecnologia abriu novas fronteiras fundamentais e aplicadas, incluindo a manipulação de materiais em nanoescala. A nanotecnologia está ganhando importância em várias áreas, como na indústria de cosméticos, assistência médica, alimentos e rações, mecânica, óptica, saúde ambiental, ciências biomédicas, indústrias químicas, indústrias espaciais, eletrônica, ciência da energia, emissores de luz, dispositivos ópticos não lineares e aplicações fotoeletroquímicas (COLVIN *et al.*, 1994).

Dentre as nanopartículas existentes que podem ser utilizadas em embalagens, o trabalho em questão, um estudo bibliográfico, tratará sobre as nanopartículas de prata (AgNPs), que estão ganhando um espaço no desenvolvimento de embalagens inovadoras. Elas possuem diversos meios de ação contra fungos filamentosos, bactérias gram-negativas e gram-positivas, leveduras e vírus. As AgNPs também apresentam extensa área interfacial, o que, conseqüentemente, garante uma eficiência para penetração em fissuras celulares. Em relação à toxicidade para as células animais, a prata é o metal que apresenta a menor toxicidade. A atividade antimicrobiana das AgNPs refere-se à interação com grupos que contêm as substâncias fósforo e enxofre, encontrados tanto no citoplasma das bactérias como nas membranas celulares (BERNI NETO *et al.*, 2008).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de revisão bibliográfica sobre novas tecnologias em embalagens para conservação de alimentos com foco na utilização de nanopartículas de prata.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar as causas de deterioração dos alimentos;
- ✓ Revisar sobre embalagens ativas e inteligentes, suas funções específicas e suas aplicabilidades;
- ✓ Discorrer sobre a nanotecnologia, nanopartículas, nanopartículas de prata e sua aplicabilidade;
- ✓ Fazer uma comparação entre estudos nos quais foram utilizadas nanopartículas de prata em embalagens para fins de conservação de determinados alimentos;
- ✓ Apresentar a legislação do uso de nanopartículas em contato com alimentos, os possíveis riscos ambientais e para o consumidor.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E SEU DESENVOLVIMENTO

“A indústria alimentícia teve uma grande importância no avanço industrial ocorrido no Brasil no século XIX. A produção de alimentos no Brasil foi a segunda maior em valores de crescimento industrial, sendo superada apenas pela indústria têxtil” (SUZIGAN, 2012).

Atualmente é possível notar que esse crescimento evoluiu com o passar do tempo. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA) (2016 *apud* FERREIRA; GIRALDELI, 2018, p. 41) é possível sustentar esta afirmação, a partir dos dados do balanço econômico do ano de 2016, que apresenta um faturamento nominal do setor de transformação de alimentos e bebidas de R\$ 614,3 bilhões. O setor conta com 32,5 mil empresas e é o setor que mais emprega, com 1,6 milhão de funcionários. A participação do setor de alimentos e bebidas no saldo da balança comercial brasileira é de alto peso. Em 2016, o setor contribuiu com saldo de US\$ 31,5 bilhões para o superávit total da balança comercial do país, que foi de US\$ 47,7 bilhões.

Ferreira e Giraldeleli (2018) afirmam que um setor com tamanha importância merece atenção quando se refere à inovação dos seus produtos e processos, visto que o mercado alimentício é extremamente exigente e que novas exigências e tecnologias são impostas ano após ano. Tendo visto mudanças quanto às necessidades dos consumidores e à forma de consumo destes, o próprio mercado gera uma pressão contínua por mudanças dentro das indústrias alimentícias.

Para que a indústria consiga atender às necessidades dos consumidores, é necessário que as empresas busquem desenvolver novas tecnologias e aplicá-las de maneira criativa, tendo em mente que essa inovação não deverá ser tratada como um evento e sim como um processo bem planejado e gerenciado para que seja bem-sucedido (TIDD et al., 2005).

Proença (1996 *apud* RAIMUNDO; BATALHA, TORKOMIAN, 2017, p. 425) explica que a aplicação da tecnologia representa um fator importante na competitividade. Nesse sentido, a tecnologia é capaz de ultrapassar as forças da teoria econômica (trabalho, capital e terras) da competitividade, sendo a inovação da tecnologia a verdadeira base de sustentação da vantagem competitiva das empresas.

O desenvolvimento dos diversos produtos na indústria alimentícia é dividido em cinco classes diferentes, sendo elas: mudanças e adaptações de produtos existentes, reposição de

produtos existentes, nova fórmula de produtos, produtos inovadores e embalagens de produtos existentes. Dentre estas, as mais comuns são as de reposição, de adaptações e de novas embalagens (FULLER, 1994).

Este fato pode ser associado ao perfil do “saber fazer” de grande parte das indústrias do setor, cujas origens estão num ofício familiar. As opções tecnológicas utilizadas por essas indústrias visam predominantemente ao aumento de produtividade, à redução de custos e às adequações dos produtos para satisfação de consumidores específicos de um mercado maduro, objetivos que, muitas vezes, utilizam as referidas classes de desenvolvimento como elementos de auxílio à definição de estratégias (RAIMUNDO; BATALHA; TORKOMIAN, 2017).

3.2 ESTUDO DE ASPECTOS GENÉRICOS DA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

A Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos define a tecnologia de alimentos como sendo a aplicação da técnica e de métodos para o armazenamento, controle, processamento, preparo, embalagem, utilização e distribuição dos alimentos. A tecnologia alimentar é a conexão entre o consumo e a produção dos alimentos e se ocupa de sua apropriada elaboração, manipulação, armazenamento, preservação e comercialização. Para que possa obter um bom rendimento, a tecnologia de alimentos deve estar associada aos métodos e progressos da produção (GAVA, 1984).

De acordo com Nespolo *et al.*, (2015 p. 2), é possível perceber, dessa forma, que a preocupação com a conservação dos alimentos é muito antiga, e, atualmente, a indústria alimentícia se preocupa em atender alguns objetivos básicos como: aumentar a vida de prateleira dos produtos por meio de técnicas de conservação, ampliar a variedade da dieta, fornecer nutrientes necessários para a saúde, incrementar a qualidade dos alimentos produzidos e gerar lucros.

A evolução da ciência e tecnologia de alimentos possibilitou o avanço de conhecimentos nas inúmeras áreas relacionadas a alimentos e possibilitou o estudo e utilização de novas tecnologias, como por exemplo o aprimoramento de métodos antigos de conservação, o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à vida útil dos alimentos, o conhecimento relacionado às principais causas de deterioração dos alimentos e o uso de novos materiais em embalagens (NESPOLO *et al.*, 2015, p. 6).

A importância da tecnologia de alimentos está principalmente no desenvolvimento de métodos e processos em geral que visem desenvolver tecnologias de forma a aumentar a

disponibilidade dos alimentos sem abrir mão da qualidade, além de reduzir significativamente as perdas provocadas por contaminação (NESPOLO *et al.*, 2015, p. 6).

A engenharia está relacionada à tecnologia de alimentos principalmente no estudo das fases do processamento da matéria-prima até o produto final por meio dos conceitos das operações unitárias (refrigeração, filtração, destilação, desidratação etc.). A engenharia fornece as bases para a preparação de produtos por meio dos projetos estruturais, de equipamentos e do desenvolvimento de embalagens (NESPOLO *et al.*, 2015, p. 8).

3.3 CONTAMINAÇÃO DOS ALIMENTOS POR MICRORGANISMOS

A degradação dos alimentos ocorre naturalmente por ação dos microrganismos que utilizam o alimento como fonte de nutrientes, tornando o alimento impróprio para consumo. Dessa forma, durante o processamento de alimentos, deve-se levar em consideração o potencial para o crescimento e desenvolvimento desses microrganismos e estabelecer formas a garantir a segurança do produto durante o processo e também após um determinado período (prazo de validade). Esse tipo de contaminação pode ocorrer até mesmo na matéria-prima do alimento, como também no processamento, distribuição e armazenamento (BAPTISTA; VENÂNCIO, 2003).

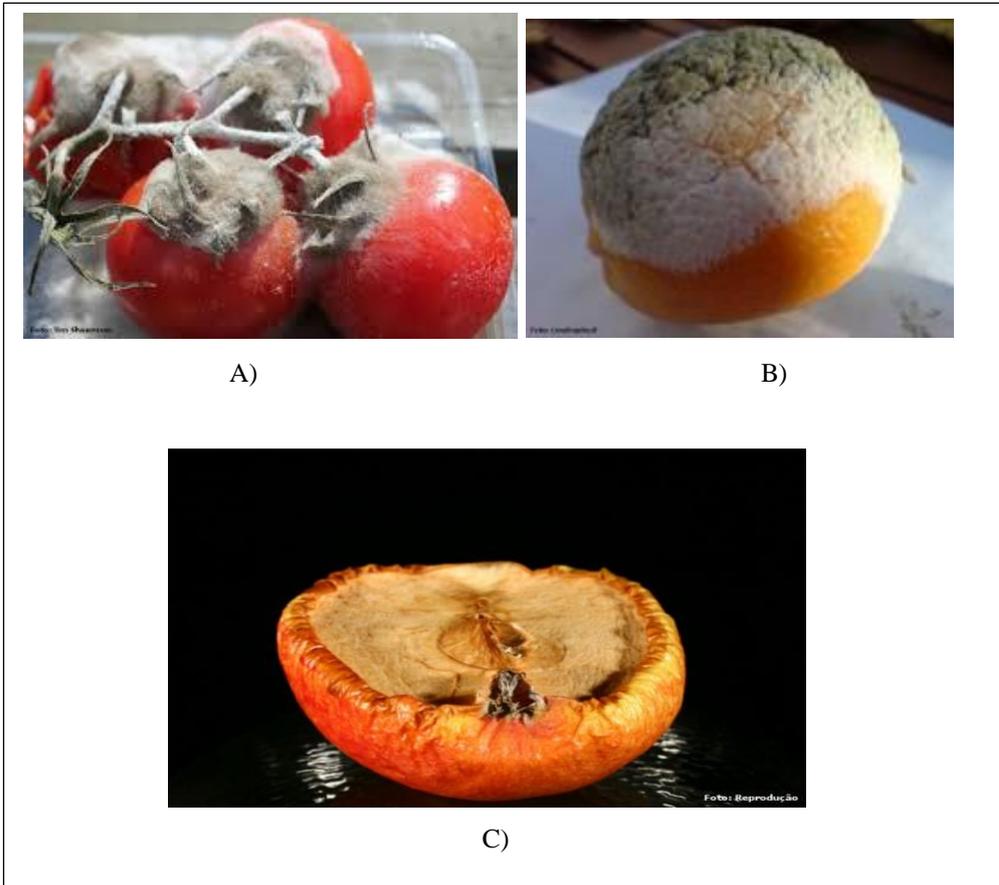
Nespolo *et al.* (2015, p. 26) afirmam que as reações que ocorrem nos alimentos podem ser favoráveis ao produto final, como, por exemplo, uma reação não enzimática e reações de fermentação em produtos panificados. Há ainda reações indesejáveis, como o escurecimento enzimático ou a ação oxidativa em alimentos, que alteram suas propriedades organolépticas.

Ainda que a conservação dos alimentos tenha sido praticada ao longo de toda a história do homem, somente depois de Louis Pasteur (1857) foi possível abranger conhecimentos do porquê dessa decomposição. Muitos métodos utilizados na conservação dos alimentos baseiam-se na eliminação dos microrganismos ou possibilitam criar condições desfavoráveis ao crescimento destes (GAVA, 1984 p. 57).

A contaminação dos alimentos por microrganismos pode ocorrer por ação bacteriana e fúngica devido à grande quantidade de nutrientes favoráveis ao crescimento desses contaminantes. Nespolo *et al.*, (2015, p. 26) aponta que, na maioria das vezes, os alimentos contaminados possuem sabor, cheiro e cor alterados e presença visível de colônias bacterianas ou mofos. Acrescenta ainda que os microrganismos necessitam de água para sobreviver, o que

se relaciona diretamente com a atividade de água que determinado alimento apresenta. A FIG. 1 mostra alguns exemplos de degradação nos alimentos causada por ações fúngicas.

Figura 1 – Degradação por fungos



Fonte: CPT – Centro de Produções Técnicas.
Legenda: A) Tomates contaminados por fungos
B) Laranja contaminada por fungos
C) Maçã contaminada por fungos

Na maioria das vezes, a durabilidade de um alimento é tratada com base em dois tipos principais de fatores: os extrínsecos (ligados ao ambiente que o envolve) e os intrínsecos (ligados diretamente às características do alimento) (AZEREDO, 2012, p. 11).

Ao se tratar de fatores intrínsecos, podem ser mencionados: pH, atividade de água, carga microbiológica inicial e composição química. Entre os fatores extrínsecos, destacam-se: exposição a radiações luminosas, umidade relativa do ar, temperatura e disponibilidade de oxigênio, entre outros (AZEREDO, 2012, p. 11).

3.4 ALTERAÇÕES EM ALIMENTOS DURANTE A ESTOCAGEM

Todos os alimentos sofrem vários tipos de degradação durante a estocagem e armazenamento. Azeredo (2012, p. 11) identifica as condições de vida de prateleira e as causas que alteram a taxa de perdas de qualidade de um alimento como sendo:

- Condições de processamento;
- Composição e característica do produto;
- Condições ambientais às quais o produto é exposto durante a estocagem;
- Características e efetividade do sistema de embalagem;

Pode ser definido como vida de prateleira de um alimento o tempo em que o produto leva para degradar-se até alcançar um nível rejeitável de qualidade. Esse fato pode ser complexo pelo fato de que o conceito de rejeitável varia entre indivíduos. O tempo de vida de prateleira é levado em consideração por questões de segurança nutricional e de aceitação pelo consumidor (AZEREDO, 2012, p. 11).

Uma das principais alterações responsáveis pela perda dos alimentos é a oxidação de lipídeos, que compromete a qualidade de leite e derivados, carnes, óleos e diversos outros tipos de alimentos. Entre alterações catalisadas por enzimas, destaca-se o escurecimento enzimático, muito comum durante a estocagem de hortaliças e frutas (AZEREDO, 2012, p. 41).

3.4.1 Oxidação de lipídeos

A oxidação dos lipídios é responsável pelo desenvolvimento do ranço, e pode provocar também alterações que irão comprometer não só a integridade e segurança dos alimentos, através do desenvolvimento de compostos poliméricos tóxicos, como ainda a qualidade nutricional, devido à deterioração de vitaminas lipossolúveis e de ácidos graxos essenciais (PAIVA-MARTINS *et al.*, 2007). Os lipídios podem ser oxidados por diversas formas: reações hidrolíticas (são catalisadas pela ação de umidade e temperatura, com formação de ácidos graxos livres ou pela enzima lipase); oxidação enzimática (ocorre pela ação das enzimas lipoxigenases); fotoxidação (ocorre necessariamente pela radiação UV em presença da clorofila e outros) e autooxidação (principal mecanismo de oxidação das gorduras e óleos) (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Mistry e Min (1992) apontam que a autooxidação é um mecanismo de autocatálise, a qual se dá pela participação de radicais livres, ocorrendo em três etapas básicas (FIG. 2).

Figura 2 – Etapas da autoxidação lipídica

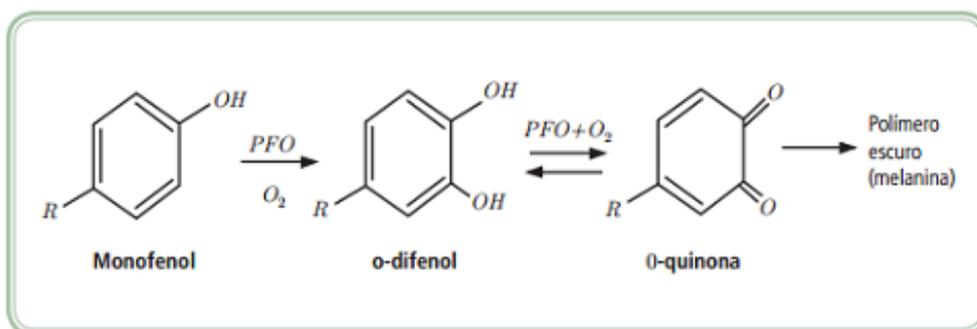
Indução	RH	\rightarrow	R^\bullet
Propagação	$R^\bullet + O_2$	\rightarrow	ROO^\bullet
	$ROO^\bullet + RH$	\rightarrow	$ROOH + R^\bullet$
	$R^\bullet + R^\bullet$	\rightarrow	Não radicais
Terminação	$R^\bullet + ROO^\bullet$	\rightarrow	Não radicais
	$ROO^\bullet + ROO^\bullet$	\rightarrow	Não radicais

Fonte: Mistry e Min (1992).

3.4.2 Alterações enzimáticas

Os organismos animais e vegetais possuem mecanismos enzimáticos que resistem à colheita ou abate. Essas enzimas são inativadas pelo processamento ou devido a condições inadequadas de pH, atividade de água ou temperatura de estocagem, que são fatores importantes que podem afetar as taxas de alterações enzimáticas. Entretanto, algumas enzimas continuam ativas mesmo após o processamento, trazendo consequências como o escurecimento enzimático. O escurecimento enzimático é responsável pelo escurecimento de muitos vegetais (ex: maçã, banana, abacate, batata, pêssgo, entre outros) (AZEREDO, 2012, p. 52). A FIG. 3 mostra a reação química do escurecimento enzimático, cuja produto inicial é a quinoa, que forma pigmentos escuros após ser condensado, chamado de melanina. A formação da quinoa depende de oxigênio e da enzima conhecida como polifenol oxidase.

Figura 3 – Mecanismo químico do escurecimento enzimático



Fonte: Química alimentar ([2019]).

Como citado, para que ocorra a reação de escurecimento, a enzima deve estar na presença de oxigênio. No entanto, basta alterar um desses fatores, ou seja, basta que um dos elementos essenciais seja removido do processo para que não haja ocorrência desta reação, como por exemplo, remoção de oxigênio ou inibição da enzima (QUIMICA ALIMENTAR, [2019?]).

Segundo Azeredo (2012, p. 48) uma maneira eficaz de se evitar o acesso desses fatores extrínsecos ao alimento é o uso de embalagens de baixa permeabilidade a O₂ e luz. Entretanto, para várias categorias de alimentos, as embalagens comuns têm sido substituídas por embalagens inteligentes, embalagens com atmosferas modificadas e embalagens ativas, graças ao seu forte apelo mercadológico e o grande investimento em tecnologia.

3.5 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS PELO USO DE EMBALAGENS

Desde a antiguidade havia a necessidade de um envoltório que pudesse armazenar e transportar os alimentos. Essas embalagens eram produzidas a partir de matérias-primas naturais disponíveis na época (NEGRÃO E CAMARGO, 2008).

O desenvolvimento da tecnologia e o avanço da globalização pressionaram o mercado produtor a avançar em pesquisas e suprir a necessidade de diversificar os materiais utilizados com diversas características adequadas para cada tipo de alimento, a fim de atender à grande demanda. Tradicionalmente, os materiais utilizados como embalagem são o papel, vidro, metal e o plástico. Recentemente, a indústria de plásticos apresentou um crescimento significativo, beneficiando a produção de embalagens (BARROS, 2010).

A principal finalidade das embalagens é proteger os alimentos dos processos químicos, físicos ou biológicos que comprometem a qualidade e provocam sua deterioração. Desta forma, as embalagens são desenvolvidas para evitar alterações das principais características dos alimentos como: textura, sabor, doçura, aceitação, como também deteriorações causadas por microrganismos, reações físicas ou químicas, além de promover a satisfação do marketing tanto da empresa como também do consumidor (SOUZA *et al.* 2012).

A Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2016) afirma a existência de algumas sugestões para que a embalagem permaneça sendo um instrumento de preservação, ao mesmo tempo em que deve atender às novas exigências ambientais como: escolha de material; apresentar todas as informações referentes à embalagem ao consumidor; redução da espessura das paredes da embalagem; desenvolvimento de tecnologias de semelhança de materiais; otimização da logística; priorização de embalagens incolores; maximizar o reaproveitamento

e possibilitar a reciclagem; eliminação de desperdícios e prolongamento do tempo de vida útil do produto.

3.5.1 Benefícios para a sociedade

Ao exercer a sua função de proteger e conservar o produto até o consumidor, a embalagem deve proporcionar ganhos ambientais e vantagens sobre os impactos da sua produção. Para que seu uso seja viabilizado, são desenvolvidos projetos que considera todos os aspectos do ciclo de vida das embalagens, desde a matéria-prima utilizada em sua fabricação até o destino final. Vale ressaltar que os resíduos gerados pelas mesmas apresenta um percentual significativo no resíduo sólido urbano, porém, como benefício, esse resíduo apresenta um enorme valor agregado para potencializar uma economia circular (KARASKI *et al.* 2016).

3.5.2 Otimização das embalagens e suas funções

Karaski *et al.* (2016) aponta que a embalagem possui um papel fundamental na maneira de viver da sociedade contemporânea. Dada a necessidade de produtos e serviços, a embalagem cumpre várias funções (QUADRO 1).

Quadro 1 - Funções das embalagens

Funções	Atributos
Proteção	Previnem danos mecânicos; deterioração do produto (barreira a gases, luminosidade, aromas, umidade etc.); adulteração e contaminação externa; aumenta a vida de prateleira do produto.
Informação	Identifica o produto; descreve seu modo de preparo e uso; lista ingredientes e informações nutricionais.
Promoção	Proporciona estética e apelo de venda; apresenta e descreve o produto e suas características; e é instrumento de propaganda e <i>marketing</i> .
Conveniência e individualização	Facilita o preparo, armazenamento, porcionamento (compra individualizada) e consumo.
Logística e manuseio	Viabiliza o transporte eficiente do produtor até o varejista e a exposição no ponto de venda.
Sustentabilidade	Reduz a perda e pode permitir a reutilização da embalagem; orienta o descarte do produto e da embalagem; protege o produto e permite a estocagem adequada.

Fonte: adaptado de EUROPEN, 2009.

3.6 EMBALAGENS E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Pedelhes (2005) aponta que estudiosos estão abrangendo conteúdo sobre tudo que envolve a concepção da embalagem: técnicas (de produção); arte (cores, formato, design); e ciências (novas tecnologias e novos materiais), bem como suas funções: proteção da mercadoria; conservação dos alimentos e exposição ao consumidor para aumentar as vendas.

Quanto à classificação das embalagens, as funções são as mais referenciadas, sendo elas: primária; secundária; terciária; quaternária e de quinto nível.

- Primária - embalagem que está diretamente em contato com o alimento, como por exemplo: caixa de leite, vidro de conservas, lata de creme de leite e leite condensado.
- Secundária - é assim classificada por proteger a embalagem primária, geralmente utilizada no varejo, como por exemplo: fundo de papelão, com unidades de caixa de leite envolvidas em um plástico.
- Terciária - são as caixas de madeira, plástico e papelão.
- Quaternária - são embalagens propícias à movimentação e armazenagem. Exemplo: contêiner.
- Embalagem de quinto nível: é a embalagem containerizada (embalagens especiais para envio a longa distância) (PEDELHES, 2005).

3.7 LEGISLAÇÃO DE EMBALAGENS PARA CONTATO COM ALIMENTOS

A constante atualização dos conhecimentos na área de Legislação de Embalagem para Contato Direto com Alimentos é de fundamental importância para os profissionais responsáveis pela especificação e uso de embalagem para o acondicionamento de alimentos, sejam eles processados ou “in natura”. Estas legislações tratam da adequação dos materiais para contato com alimentos, visando assegurar a saúde do consumidor através do controle da contaminação química de produtos alimentícios, devido à migração de componentes da embalagem. Além disso, o conhecimento das Legislações Nacionais, do Mercosul e de outros países é necessária para que a indústria nacional tenha a correta especificação de suas embalagens para o mercado externo, evitando assim problemas relacionados com barreiras não tarifárias, além de aumentar a sua competitividade. (PADULA e CUERVO, 2004).

A legislação sanitária analisa as resoluções de acordo com o tipo de material utilizado em uma embalagem, por exemplo: celulósico, plástico, vidro, têxtil e metálico, sendo que estas devem atender a resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001, a qual define os critérios gerais para embalagens em contato direto com alimentos. As resoluções da ANVISA são compatíveis no Mercado Comum do Sul (MERCOSUL) (SANCHES-SILVA *et al.* 2013).

Dentro deste contexto, Padula e Cuervo (2004) afirmam que o processo de harmonização das legislações teve início em março de 1992, administrado pelo Grupo Mercado Comum (GMC). O GMC administra, coordena e orienta os subgrupos de atividades e analisa as sugestões destes subgrupos, aprovando-as como Resoluções GMC. Com relação às matérias-primas utilizadas em embalagem que possui contato diretamente com os alimentos, os estudos foram ampliados no Grupo de “Embalagens e Materiais em Contato com Alimentos”. Cinquenta e duas resoluções da área de embalagem para contato com alimentos foram sancionadas em dezembro de 2011, das quais quarenta e seis estão em vigor. O QUADRO 2 apresenta um resumo das Resoluções aprovadas pelo MERCOSUL: Resoluções GMC 94/95, 36/97, 53/97, 9/99, 10/99, 12/99, e 14/99.

Quadro 2 - Resoluções GMC do MERCOSUL

(continua)

Materiais	Tema	Resolução Mercosul GMC N°
Gerais	Critérios Gerais de embalagens e equipamentos em contato com alimentos (Resolução marco)	3/92
	Critérios gerais de atualização de listas positivas	31/99
	Metodologia analítica de referência para controle de embalagens e equipamentos	32/99
Embalagens e materiais plásticos	Critérios gerais	56/92
	Migração total	36/92, 10/95, 33/97
	Classificação de alimentos	30/92, 32/97
	Embalagens retornáveis de PET para bebidas não alcoólicas carbonadas	16/93
	Embalagens de PET multicamadas como camada intermediária contendo material reciclado para bebidas não alcoólicas carbonadas	25/99
	Corantes e pigmentos	56/92, 28/93
	Cloreto de vinila residual (LC)	47/93, 13/97
	Estireno residual (LC)	86/93, 14/97
	Lista positiva de resinas e polímeros	87/93, 5/95, 34/97, 52/97, 11/99, 13/99, 29/99, 52/00
	Lista positiva de aditivos	95/94, 36/97, 53/97, 9/99, 10/99, 12/99, 14/99, 50/01

(conclusão)

Materiais	Tema	Resolução Mercosul GMC Nº
Embalagens e materiais plásticos	Mono e dietilenoglicol (LME)	11/95, 15/97
	Polietileno fluorado	56/98
	Preparados formadores de película à base de polímeros e/ou resinas destinados a recobrir alimentos	55/99
Celulose regenerada	Películas de celulose regenerada	55/97
	Tripas de celulose regenerada	68/00
Embalagens e materiais elastoméricos	Disposições gerais	54/97
	Listas positivas	28/99
Adesivos para produção de embalagens	Disposições gerais	27/99
Parafinas para contato com alimentos	Regulamento técnico	67/00

Fonte: Adaptado de Padula e Cuervo, 2004.

Legenda: LC = Limite de Composição

LME = Limite de Migração Específica

3.7.1 No Brasil

As Resoluções MERCOSUL foram executadas no Brasil na forma de Portarias para diferentes tipos de materiais usados em embalagens. A Resolução Nº 23 foi publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) somente em 15 de março de 2000: O Manual de Procedimentos Básicos para Registro e Dispensa de Registro de produtos pertinentes à Área de Alimentos dispensa as embalagens de registro. Esta Resolução foi utilizada como meio estratégico da ANVISA, que busca a desburocratização para registro de embalagens e alimentos, concentrando sua atividade em atualizar os padrões técnicos e as leis, aplicando maior exigência em Controle e Vigilância Sanitária. Essa estratégia não afirma que as embalagens devem ficar livres de cumprir as normas de identificação, mas ao contrário, impõe unicamente a responsabilidade por avaliar a segurança e qualidade dos produtos aos fabricantes das embalagens, passando pela fiscalização dos pontos cruciais do processo, por uma vigilância sanitária da produção e pela responsabilidade de obedecer à legislação pertinente (PADULA e CUERVO, 2004).

3.8 TENDÊNCIAS APLICADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS EMBALAGENS

Estudos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de criar novos materiais de alta barreira, que possam reduzir a quantidade total de material exigido para cada tipo de embalagem, conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental e os custos agregados à distribuição e o transporte. Muitos têm sido realizados para incorporar novas funções aos sistemas de embalagens, criando embalagens funcionais, com propriedades ativas ou inteligentes. As embalagens ativas interagem com o produto acondicionado, absorvendo compostos indesejáveis ou liberando substâncias que favorecem o aumento da estabilidade e vida útil dos alimentos, como por exemplo: absorvedoras de oxigênio e antimicrobianas. O conceito de embalagem inteligente é caracterizado como parte do conceito de embalagem ativa (EMBRAPA, 2012).

3.8.1 Embalagens ativas

A expressão embalagem ativa foi utilizada para definir as novas tecnologias de embalagens utilizadas para aumentar a vida de prateleira de produtos alimentícios e colaborar com sua preservação. Esse tipo de embalagem vem crescendo proporcionalmente à procura dos consumidores por qualidade e segurança. Como exemplo de tais inovações tecnológicas, destacam-se a capacidade de controlar a composição da atmosfera que envolve os alimentos (emissores/sequestradores de oxigênio, etileno ou dióxido de carbono) e filmes finos com incorporação de agentes conservantes (SOUZA, 2018).

Mane (2016, p. 544) fala sobre os sistemas de aplicações das embalagens ativas que acompanham o desenvolvimento da tecnologia e possuem diversos tipos de mecanismos com suas respectivas finalidades. Dentre eles, os mais utilizados são: absorvedores de oxigênio; emissores e absorvedores de dióxido de carbono; eliminadores de etileno; emissores de etanol; absorvedores de umidade; agentes antimicrobianos; absorvedores de sabor/odor e embalagem com controle de temperatura.

- Absorvedores de oxigênio: são utilizados mecanismos à base de ferro, metal/ácido, catalisador de metal (por exemplo, a platina), ascorbato/sais metálicos e compostos baseados em enzimas. São aplicados em alimentos como pães, bolos, arroz cozido, biscoitos, pizzas, macarrão, queijo, carnes e peixes, café, salgadinhos, alimentos secos e bebidas.

- Emissores e absorvedores de dióxido de carbono: utiliza-se óxido de ferro/hidróxido de cálcio, carbonato ferroso, óxido de cálcio/carvão ativado e ascorbato/bicarbonato de sódio. São aplicados em café, carnes e peixes frescos, nozes e bolos.
- Eliminadores de etileno: possui como mecanismo o uso de permanganato de potássio, carvão ativado e argilas/zeólitos ativados. São utilizados em frutas, vegetais e outras hortaliças.
- Emissores de etanol: são utilizados spray de álcool e etanol encapsulado. Aplicados em alimentos como massa de pizza, bolos, pães, biscoitos e produtos de padaria.
- Absorvedores de umidade: utiliza-se manta de acetato de polivinila (PVA), argilas e minerais ativados e sílica gel. Podem ser utilizados em peixes, carnes, aves, cereais, alimentos secos, sanduíches, frutas e legumes.
- Agentes antimicrobianos: utilizam-se ácidos orgânicos, zeólitos de prata, extratos de especiarias e ervas, antioxidante da vitamina E, dióxido de cloro volátil/dióxido de enxofre. São aplicados em cereais, carnes, peixes, pães, queijos, salgadinhos, frutas e legumes.
- Absorvedores de sabor/odor: utiliza-se triacetato de celulose, papel acetilado, ácido cítrico, sal ferroso, carvão ativado/argilas/zeólitos. Os alimentos e bebidas que podem receber esse tipo de embalagem são: frituras, sucos de frutas, peixe, cereais, aves, produtos lácteos e frutas.
- Embalagem com controle de temperatura: são utilizados plásticos não tecidos, contentores de parede dupla, hidrofluorcarbono gasoso, cal/água e nitrato de amônio/água. Utiliza-se esses mecanismos em alimentos como refeições prontas, carnes, peixes, aves e bebidas.

3.8.1.1 Absorvedores de oxigênio

As tecnologias de embalagens ativas mais conhecidas e mais amplamente utilizadas atualmente são aquelas projetadas para remover o oxigênio do interior da embalagem/alimento. Os absorvedores de oxigênio reduzem os efeitos oxidativos no produto contido. A maioria desses absorvedores em uso comercial são saquetas flexíveis e permeáveis ao gás contendo partículas de ferro reduzido (isto é, ferro não totalmente oxidado) inseridas

nos alimentos e outras embalagens das quais o ar é removido por vácuo ou por lavagem com gás inerte. Durante as duas últimas décadas do século XX, o avanço comercial de materiais de absorção de oxigênio diretamente em uma estrutura de embalagem teve resultados variados. Somente no ano de 2000, aplicações em garrafas de cerveja e suco tornaram-se comerciais. Os absorvedores possuem capacidade de reduzir os níveis de oxigênio para menos de 0,01% na embalagem. Alguns absorvedores não metálicos usam agentes redutores orgânicos, como ácido ascórbico ou sais ascórbicos. Os sistemas de eliminação de oxigênio enzimático são também utilizados com glicose oxidase ou etanol oxidase que podem ser incorporada em saquetas, etiquetas adesivas ou imobilizadas em superfícies de película de embalagem (MUREDZI, [2013?]). Os sachês absorvedores de oxigênio também são bastante utilizados, como mostrado na FIG 4 que mostra embalagens contendo uva passa contendo sachês absorvedores.

Figura 4 – Embalagens de uva passa com sachês absorvedores de oxigênio



Fonte: Absorbwell, 2017.

3.8.1.2 Emissores e absorvedores de dióxido de carbono

Existem muitos dispositivos comerciais de saquetas e etiquetas que podem ser utilizados para a emissão e absorção de dióxido de carbono. Esses dispositivos são amplamente utilizados nas embalagens de produtos frescos torrados ou moídos, como o café, por exemplo, que produz volume significativo de dióxido de carbono. Uma mistura de óxido

de cálcio e o carvão vegetal ativado têm sido usados em bolsas de café de polietileno para eliminar o dióxido de carbono. Os sachês que absorvem o dióxido de carbono e os dispositivos de etiquetagem podem ser usados sozinhos ou combinados com um eliminador de oxigênio. A principal aplicação do uso destas saquetas de absorção de oxigênio/dióxido de carbono tem sido com produtos alimentares para refeições rápidas, nozes e pães (SUJITHAMOL, [2013]).

Lee (2016) explica a importância do CO₂ para reduzir a taxa de respiração dos produtos frescos (e reduzir a emissão de etileno), evitando o colapso da embalagem. Este gás acoplado à embalagem deve ser equilibrado adequadamente com o CO₂ produzido pela respiração do alimento e também com o O₂ presente, fazendo que as concentrações permaneçam estáveis.

A liberação de dióxido de carbono de um sistema emissor também pode evitar a deformação do empacotamento, pois compensa a absorção de CO₂ no alimento nos estágios iniciais de armazenamento. Além disso, o prazo de validade para produtos alimentares frescos e a inibição do crescimento de bactérias deteriorantes em níveis elevados de CO₂ sustentados nas embalagens terão um efeito secundário na forma de uma redução no desperdício alimentar, uma questão que ganha atenção e prioridade crescentes em todo o mundo. Os ingredientes ativos dos emissores reagem quando a saqueta absorve o líquido que escoa do produto, resultando na liberação de CO₂. Na última década, o campo de emissores de CO₂ avançou significativamente, refletido no aumento da atividade de pesquisa e venda de emissores de CO₂ comerciais (YILDIRIM *et al.* 2018).

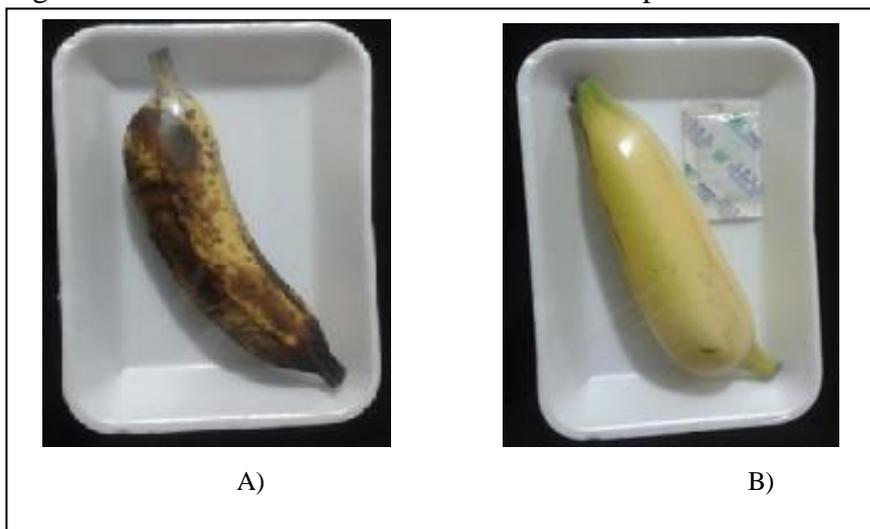
3.8.1.3 Eliminadores de etileno

O etileno (C₂H₄) é um hormônio de crescimento vegetal natural gasoso e é conhecido por ter um impacto negativo na qualidade do produto e prazo de validade de muitas frutas e vegetais durante armazenamento e distribuição. O etileno é referido como o hormônio que induz o amadurecimento dos frutos e acelera o seu amolecimento e envelhecimento. Além disso, sua presença pode causar uma série de distúrbios fisiológicos pós-colheita, como escaldadura em maçãs e manchas avermelhadas em alface. Embora o etileno seja produzido por todas as plantas, ele se manifesta principalmente em frutos climatéricos (frutos que amadurecem após a colheita e são caracterizados por um aumento na taxa de respiração e uma explosão de produção de etileno à medida que amadurecem) (SCULLY e HORSHAM, 2007).

Dentre os compostos ativos mais utilizados para a remoção do etileno, o permanganato de potássio (KMnO_4) é o líder de comercialização em forma de saquetas. Tem como mecanismo a sua imobilização sobre um substrato mineral inerte, como por exemplo, alumina ou sílica gel. A reação é a oxidação do KMnO_4 , que produz acetato e etanol, podendo notar-se fisicamente a mudança da coloração roxa para marrom, e, portanto, indica sua capacidade de eliminação de etileno restante. Sachês à base de carbono ativado com catalisadores de metal também são utilizados para remoção do etileno (SUJITHAMOL, [2013]).

Alguns pesquisadores evidenciam benefícios dos sachês absorvedores de etileno quando colocados no interior da embalagem do alimento, pois possibilita a redução da taxa respiratória de frutos e hortaliças e com isso há um aumento significativo da vida pós-colheita. A FIG 5 ilustra um exemplo de um sistema absorvedor de etileno na forma de um pequeno sachê, introduzido no interior da embalagem, cuja forma impede o contato direto do material interno com o alimento (SUJITHAMOL, [2013]).

Figura 5 – Sistema absorvedor de etileno na vida pós-colheita



Fonte: Braga e Silva, 2017.

Legenda: A) Fruta sem o uso do sachê

B) Fruta com uso do sachê absorvedor de etileno

3.8.1.4 Emissores de etanol

O etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) é um agente antimicrobiano bastante eficaz contra mofo, que inibe o crescimento de leveduras e bactérias. O etanol pode ser pulverizado diretamente em produtos alimentícios, adicionados no espaço embalagem/alimento ou ainda na estrutura da embalagem. Um método prático e seguro de gerar $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ é através do uso de filmes e

saquetas. Todos estes filmes e saquetas contêm etanol encapsulado ou absorvido em um material transportador que permite a liberação controlada de vapor de C_2H_5OH . O seu potencial como vapor inibidor de fase previne o alimento da ação microbiana principalmente de queijos e produtos de padaria, além de reduzir a taxa de endurecimento e alterações oxidativas (MANE, 2016).

Labuza e Breene (1989) chegaram à conclusão que o uso de embalagens ativas com emissão de etanol tem estendido a vida útil de alimentos, como bolos, pães e pizza quando pulverizado nas superfícies do alimento antes de serem embalados. Saquetas contendo etanol encapsulado liberam seu vapor para o espaço embalagem/alimento, mantendo assim um efeito conservante. O Japão foi o pioneiro a desenvolver tecnologias com a utilização de etanol, encapsulando-o com um pó inerte fino dentro de uma saqueta. A taxa liberação do vapor de C_2H_5OH pode ser adaptada, controlando a permeabilidade do sachê.

3.8.1.5 Absorvedores de umidade

A vida útil dos alimentos pode ser significativamente reduzida quando há excesso de umidade. Além disso, o uso de materiais com baixa permeabilidade ao vapor de água ou o desenvolvimento de umidade relativa elevada dentro de um pacote devido à respiração pode causar condensação, que poderá levar à redução da qualidade e segurança do alimento devido à proliferação de microrganismos. Vários produtos comerciais estão disponíveis para uso em embalagens a fim de controlar e absorver o excesso de umidade. Um dos primeiros estudos para o desenvolvimento de um material ativo à base de plástico para este fim foi o uso de uma parede de embalagem de multicamadas que envolvem uma camada de material absorvente de umidade, tal como álcool polivinílico (PVOH) ou um material à base de fibra celulósica como papel, impressado entre uma camada externa que é impermeável ao vapor de água e água líquida, como por exemplo, o polietileno (SCULLY e HORSHAM, 2007).

Absorvedores de vapor de água e absorvedores de líquido possuem amplas aplicações em frutas, vegetais e alimentos panificados frescos, como ilustra a FIG. 6.

Figura 6 – Absorvedores de vapor de água e absorvedores de líquido



Fonte: Adaptado de Sarantópoulos e Cofcewicz, 2016.

Legenda: A) Embalagem de tomate minimamente processado com absorvedor de líquido

B) FilmeXtend que controla o excesso de umidade na embalagem de produtos que respiram

3.8.1.6 Agentes antimicrobianos

O interesse pela utilização dos filmes antimicrobianos tem crescido ao longo dos anos, proporcionalmente à grande preocupação da qualidade microbiológica dos alimentos. A embalagem que contém ativos antimicrobianos é um exemplo propício de embalagem ativa. Suas propriedades são incorporadas ou imobilizadas no material da embalagem, sendo adequados para bloquear ou eliminar microrganismos patogênicos ou que possam deteriorar o alimento. O princípio básico de atuação das embalagens antimicrobianas é a adição de uma barreira extra para controlar a atividade microbiológica, interligada às barreiras físicas que controlam oxigênio e umidade (SOARES *et al.* 2009).

Os agentes presentes nesses tipos de embalagem podem ser incorporados diretamente à matriz polimérica das embalagens, em etiquetas ou até mesmo em sachês. A adição desses agentes pode ser feita por imobilização e/ou incorporação. Na imobilização, o composto atua somente em nível superficial, enquanto na incorporação, o agente antimicrobiano é migrado para o alimento (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2004).

Estudos com esse tipo de embalagens têm mostrado eficiência e aplicabilidade. SILVA-SANTIAGO *et al.* (2009 *apud* SOARES *et al.* 2009) estudaram a eficiência antimicrobiana de filmes incorporados com pediocina (ALTA 2551) para a conservação de presuntos fatiados. Foram feitos testes para inibir a ação do *Listeria innocua* e *Salmonella choleraesuis* e os resultados mostraram que o crescimento desses microrganismos foi reduzido em até dois ciclos logarítmicos em relação ao tratamento controle após 15 dias de estocagem.

Também foram realizados testes em queijo mussarela fatiado e embalado com filme antimicrobiano contendo alil-isotiocinato. Em 12 dias de estocagem, à 10°C, a ação do filme inibiu o crescimento de fungos filamentosos, leveduras e *Staphylococcus aureus*. O mesmo sachê também bloqueou o crescimento de *Aspergillus flavus* em amendoim em grãos (PIRES, 2006).

Uma das principais vantagens de embalagens antimicrobianas é o controle da difusão dos agentes antimicrobianos na superfície do alimento. Com isso, esses compostos estão presentes em quantidades relativamente pequenas, atendendo a qualidade desejada pelo consumidor, que é a busca por alimentos livres de conservantes, e a utilização dos filmes somente em contato com a superfície do produto, onde ocorre a maior parte das deteriorações (SOARES *et al.* 2009).

Cientistas da Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram uma embalagem a partir de fécula de mandioca, ilustrada na FIG. 7, que contém função antimicrobiana, impedindo a atividade de fungos e microrganismos indesejáveis (ZONA ECO, 2011).

Figura 7 – Embalagem antimicrobiana com recursos naturais renováveis.



Fonte: Zona ECO, 2011.

A composição da embalagem inclui, além da fécula de mandioca, óleos essenciais e nanopartículas de argila, a fim de aumentar a resistência à tração e torná-la menos suscetível à entrada de oxigênio e umidade (ZONA ECO, 2011).

3.8.1.7 Absorvedores de sabor/odor

A interação de embalagens com sabores e aromas de alimentos é conhecida e estudada há muitos anos. Porém, quando se trata de aplicações e comercialização, poucas técnicas de empacotamento ativo foram usadas para remover seletivamente sabores e odores indesejáveis, ainda que existam oportunidades em potencial. Um exemplo para esse método é citado na conservação de sucos de laranja pasteurizados utilizando triacetato de celulose ou papel acetilado nas embalagens que os revestem. Também pode-se citar a remoção de aldeídos como hexanal e heptanal em embalagens alimentícias como: cereais, salgadinhos, laticínios, peixes e aves (SUJITHAMOL, [2013]).

Embalagens que permitem a remoção de odores nem sempre são benéficas. A ação desses compostos pode retirar propriedades importantes do alimento. Em geral, a função do pacote, portanto, é bloquear o odor indesejável dos produtos e, em alguns casos, as propriedades de remoção de aroma são involuntariamente incorporados na embalagem. Essa tecnologia, ainda que muito discutida, tem mostrado um valor significativo para o domínio da embalagem ativa. Muitos alimentos, como produtos à base de cereais, aves de capoeira e alimentos frescos apresentam o que é referido como odores de confinamento, que são geralmente insignificantes, mas, no entanto, são odores de possíveis deteriorações, como compostos sulfurosos da decomposição de proteínas, aminoácidos, ou aldeídos presentes na oxidação lipídica. Quando o consumidor abre a embalagem, esses odores são liberados, gerando um possível motivo de rejeição, ainda que sejam inofensivos. Diante deste fato, durante o processamento (extrusão, moldagem, filme e folha de sopro), alguns componentes de poliolefina são inseridos no plástico, podendo oxidar, muitas vezes, compostos odoríferos de hidrocarbonetos. Antioxidantes são frequentemente incorporados no pacote a fim de minimizar os efeitos de odores indesejáveis (MANE, 2016).

3.8.1.8 Embalagem com controle de temperatura

A embalagem ativa de controle de temperatura é composta principalmente por materiais isolantes inovadores, como latas capazes de aquecer ou resfriar o alimento. Essas embalagens são utilizadas principalmente para proteger o produto exposto à altas temperaturas durante o armazenamento e distribuição. Um desses materiais é o Thinsulate (fina e isolada) que é um plástico especial com muitos espaços de poros de ar. Outra abordagem para conservar as temperaturas baixas é aumentar a massa térmica da embalagem a fim de suportar variações de temperatura. Esse tipo de embalagem é mais popular no

hemisfério oriental, principalmente no Japão, onde é utilizado, por exemplo, em latas auto-aquecidas (DAY, 2003).

3.9 EMBALAGENS INTELIGENTES

3.9.1 Definição

Segundo o *American Heritage Dictionary*, a definição da palavra “inteligente” é dita como apresentação de racionalidade e bom senso. Quando se refere a tecnologias inteligentes, a definição especifica a possibilidade dos materiais apresentarem certas capacidades de armazenamento e processamento de dados. Um dos maiores requisitos para definir um material como ineligente é sua capacidade de armazenar, compartilhar, processar e adquirir informações. Define-se como embalagem inteligente, aquela que possui um sistema que funciona de forma inteligente (em forma de sensor, rastreamento, comunicação) a fim de auxiliar o aumento da segurança alimento-consumidor, melhorar a qualidade, fornecer informações e alertar sobre possíveis problemas futuros (YAM *et al.* 2005).

3.9.2 Indicadores de tempo e temperatura

Define-se indicador como um agente capaz de detectar a presença ou ausência de uma determinada substância, reação desta com outros componentes e o grau quantitativo e qualitativo dessa reação através, principalmente, de uma mudança colorimétrica. Os indicadores se diferenciam dos sensores, pois possuem elementos do receptor e repassam informações diretamente através da alteração visual da cor. Indicadores de tempo e temperatura (ITT) são ferramentas simples, de baixo custo e tamanho, que podem identificar uma mudança de fácil análise que seja dependente do tempo e temperatura, refletindo o histórico de temperatura total ou parcial de um produto alimentar desde o local onde foi fabricado até chegar às mãos do consumidor (CASANOVA, 2019).

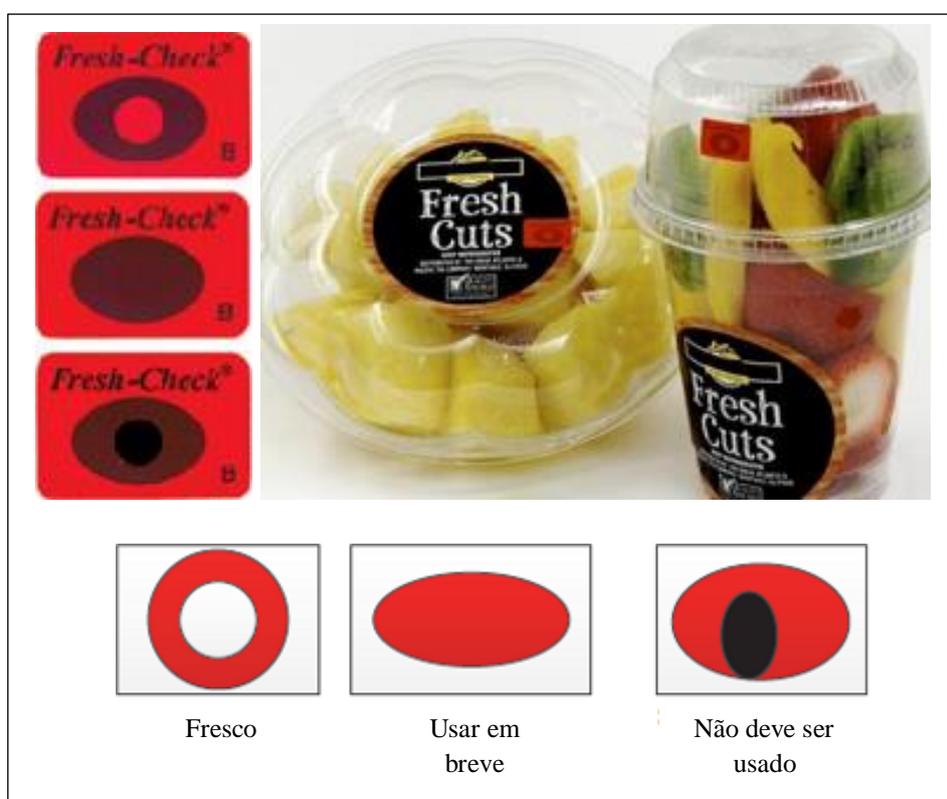
O princípio de funcionamento do ITT é proporcional ao aumento da temperatura, ou seja, sua taxa aumenta em temperaturas mais elevadas, tal como ocorre em reações físico-químicas responsáveis pela perda do alimento. O indicador transmite informações que serão analisadas pela alteração ou desenvolvimento de uma cor (CASANOVA, 2019).

A principal vantagem do ITT é a sua capacidade para quantificar o impacto do tempo-temperatura no alimento sem quaisquer informações sobre o histórico da temperatura e do

tempo real do produto. Eles podem ser usados como uma ferramenta alternativa na avaliação de processos e também na otimização dos mesmos quando a abordagem dos métodos convencionais é inviável (QUELHAS, 2017).

A FIG. 8 mostra um ITT presente em uma embalagem contendo frutas frescas, no qual a cor da circunferência interna da etiqueta escurece gradualmente na mesma velocidade em que o produto perde sua qualidade. Quando a cor interna estiver mais escura que a circunferência externa, o produto não estará mais adequado para o consumo.

Figura 8 – Indicadores de tempo e temperatura



Fonte: Adaptado de Valencia, 2018.

3.9.3 Indicadores de gás

A composição do gás entre o alimento e a embalagem muda frequentemente conforme a natureza da embalagem, resultado da atividade do alimento ou das condições ambientais em que são expostos, como por exemplo, respiração de produtos frescos, geração de gás por microrganismos deteriorantes, transmissão de gás através do material da embalagem ou vazamentos na embalagem. Esses fatores permitem que a composição do gás dentro da embalagem seja alterada. Os indicadores de gás sob a forma de rótulos ou impressões em

películas da embalagem podem monitorar as mudanças na composição do gás, proporcionando meios de monitorar a qualidade e a segurança dos produtos alimentícios. Os indicadores de oxigênio são os indicadores de gás mais usados em embalagens, pois o oxigênio no ar pode causar oxidação, ranço, mudança de cor e deterioração microbiana. Esses indicadores são projetados para mostrar alterações principalmente na cor, devido a vazamentos, produção de gases ou embalagens adulteradas (YAM, 2005).

Indicadores de gás para vapor de água, etanol, CO₂ e sulfeto de hidrogênio também são utilizados. Por exemplo, Hong e Park (2000) desenvolveram um estudo utilizando um indicador de dióxido de carbono que consiste em um absorvente e um corante químico em um filme polimérico para medir o grau de fermentação em alimentos durante o armazenamento e distribuição.

3.9.4 Biosensores

O conhecimento sobre infecções transmitidas pelos alimentos está em constante mudança, visando principalmente a busca pelo controle de patógenos já existentes, bem como os que surgem ao longo do tempo. Para esse tipo de controle, é necessário um serviço rápido, preciso e de detecção online e identificação de patógenos, presença de poluentes e monitoramento da qualidade dos alimentos após seu processamento. Em geral, um biossensor é um dispositivo analítico que registra, detecta e transmite informações referentes a possíveis reações bioquímicas nos alimentos. Este dispositivo inteligente consiste em dois principais componentes : um bioreceptor que reconhece o analito que se deseja detectar e um transdutor que converte sinais bioquímicos em uma resposta elétrica quantitativa. O bioreceptor é um material orgânico ou biológico, como um antígeno, enzima, micróbio, ácido nucleico ou hormônios (YAM *et al.* 2005).

Embora os biosensores sejam bastante importantes na conservação dos alimentos, o comércio destes não está disponível de uma forma significativa. Ainda assim, estudos e protótipos estão sendo desenvolvidos principalmente nos EUA. Segundo Yam (2005), em Ontário - Califórnia foi desenvolvido um sistema de diagnóstico chamado Toxin Guard, que incorpora anticorpos em filmes de embalagens plásticas para detectar patógenos. Quando esses anticorpos encontram microrganismos, o material da embalagem exibe um sinal visual de alerta ao produtor, vendedor ou consumidor. Vale ressaltar que esse tipo de sinal só consegue detectar uma quantidade significativa de patógenos, podendo não ser útil para pequenas quantidades dos mesmos.

3.10 NANOTECNOLOGIA EM EMBALAGENS

O prefixo “nano” é caracterizado por uma escala de medição denominada nanômetros. A nanotecnologia trabalha com o controle, desenvolvimento e entendimento de átomos e moléculas em nanoescala. O princípio fundamental da nanotecnologia é a construção de estruturas e novos materiais a partir dos átomos. Sua atuação abrange diversas áreas de pesquisa como medicina, biomedicina, eletrônica, engenharia de materiais e vem sendo cada vez mais estudada e valorizada na engenharia de alimentos (BRITO, 2017).

A aplicação da nanotecnologia em alimentos é uma ciência inovadora quando comparada à indústria de tecnologia de informação e áreas da saúde, como a biomedicina. Apesar disso, já existem grandes oportunidades que podem ser exploradas, como a elaboração de produtos da ciência nutracêutica, produtos com características funcionais, desenvolvimento de processos e as embalagens inteligentes (ASSIS *et al.* 2012).

O material quando reduzido à escala nanométrica pode acarretar diversas mudanças, principalmente em suas propriedades. A nanotecnologia permite a obtenção de materiais com características particulares para utilização como preenchimento (“fillers”) em embalagens, a fim de melhorar a flexibilidade do material, propriedades mecânicas, térmicas e de barreira a gases. Outra vantagem importante da utilização dessa tecnologia é a redução da quantidade de material plástico necessário, reduzindo assim o número de resíduos não biodegradáveis, o que leva conseqüentemente ao incentivo da preservação do meio ambiente (GOYAL E GOYAL, 2012).

Existem dois principais objetivos para a utilização de nanomateriais incorporados na embalagem dos alimentos, que são:

- Criação de novas funcionalidades (são exemplo embalagens ativas e inteligentes contendo nanopartículas de óxidos metálicos).
- Fortalecer as propriedades funcionais dos materiais desenvolvidos (propriedades mecânicas, térmicas ou de barreiras) (GOYAL E GOYAL, 2012).

Em resumo, o QUADRO 3 exemplifica alguns dos principais nanomateriais utilizados com tais objetivos.

Quadro 3 – Nanomateriais e influência nas embalagens alimentares

Objetivo	Propriedades	Resultados	Nanomaterial
Nanoreforço	Mecânicas	Aumento da força, rigidez e plasticidade.	Nanotubos de carbono, “nanowhiskers” de celuloses.
		Melhorias na tensão máxima e alongamento na rotura.	Nanocelulose, nanopartículas de TiO ₂ , SiO ₂ , nanofibras de celulose, nanotubos de carbono.
	Térmicas	Aumento da estabilidade térmica (maior temperatura de decomposição).	Argila montmorilonita (MMT).
	Barreira a gases e água	Aumento da tortuosidade do caminho, dificultando a difusão de gases e água pela matriz polimérica.	Nanocelulose, nanopartículas de TiO ₂ , SiO ₂ , nanofibras de celulose, nanotubos de carbono, MMT.
Desenvolver embalagem ativa/inteligente	Antimicrobianas	Induz a morte ou inibe o crescimento de células procariotas e eucariotas.	MMT e nanotubo de carbono.
		Eficaz contra microrganismos patogênicos e deterioradores (bactérias gram-positivas e gram-negativas).	Nanopartículas de metais (ouro, zinco, prata) e nanopartículas de óxidos metálicos.
	Conservantes	Sequestrador de oxigênio.	Nanopartículas de TiO ₂ .
		Sequestrador de etileno.	Nanopartículas de TiO ₂ e de prata.
	Embalagens inteligentes	Indicador de oxigênio.	Nanopartículas de TiO ₂ .
		Detecção de microrganismos patogênicos.	Anticorpos conjugados com nanomateriais.

Fonte: Adaptado de Arfat *et al.*, 2014; Azeredo *et al.*, 2011; Bradley *et al.*, 2011; Cushen *et al.*, 2012; Duncan, 2011; Marx e Barth, 2010; Mihindukulasuriya e Lim, 2014; Munteanu *et al.*, 2014; Reddy *et al.*, 2013; Rhim e Ng, 2007; Sanuja *et al.*, 2014; Silvestre *et al.*, 2011 (*apud* SOUZA, 2018).

3.10.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)

As nanopartículas, no contexto dos nanomateriais, possuem propriedades químicas, físicas e biológicas únicas. De acordo com Wijnhoven *et al.* (2009), essas propriedades estão relacionadas a características como o aumento na razão do volume/área superficial que resulta em uma alta reatividade. Nanopartículas inorgânicas estão cada vez mais presentes em materiais poliméricos no desenvolvimento da indústria alimentícia, pois apresentam vantagens significativas que melhoram as propriedades físicas e mecânicas dos nanocompósitos. Algumas nanopartículas metálicas apresentam propriedades antimicrobianas que conseqüentemente aumentam a vida útil dos alimentos, sendo a nanopartícula de prata a mais utilizada nas formulações (FERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

Segundo Augustin e Sanguansri (2009), nanopartículas podem ser produzidas por processos naturais ou sintéticos, sendo eles:

- Naturais: por fogo ou atividade vulcânica;
- Sintéticos: produzidos pela química ou engenharia de nanomateriais;

Os compósitos a base de íons de prata são uns dos agentes inorgânicos e antimicrobianos mais promissores, com alto efeito biocida para diversos microrganismos, ganhando uma grande atenção na área de embalagens alimentícias. No entanto, o regulamento de segurança da União Europeia limita a quantidade de íons de prata em matrizes alimentares em um valor de 0,05 mg de Ag/kg (FERNÁNDEZ *et al.*, 2009).

O mecanismo de ação antimicrobiana proposto para as nanopartículas de prata refere-se à interação com grupos que contêm os elementos fósforo e enxofre, que podem ser encontrados tanto no citoplasma das bactérias como nas membranas celulares. Sua interação ocorre com a membrana celular, causando perdas ao processo de respiração celular e interagem com o DNA no interior das células, impedindo a divisão celular (MORONES *et al.*, 2005).

3.10.3 Síntese de nanopartículas de prata

As nanopartículas de prata podem ser sintetizadas de diversas formas. Um dos métodos mais utilizados é a redução química de sais de prata em solução aquosa por citrato, borohidreto e diversos outros agentes redutores com ou sem estabilizantes (KORBKANDI e IRAVANI, 2012).

3.10.3.1 Abordagens físicas

As abordagens físicas mais importantes incluem evaporação/condensação e ablação a laser. Várias nanopartículas provenientes de metais, como prata, ouro, sulfeto de chumbo e sulfeto de cádmio são previamente sintetizados pelo método de evaporação-condensação. Quando se trata da síntese física de nanopartículas de prata usando um forno de tubo em pressão atmosférica, devem-se levar em consideração algumas desvantagens. Por exemplo, o forno de tubo ocupa um grande espaço, consome uma grande quantidade de energia e requer muito tempo para obter estabilidade térmica (KORBKANDI e IRAVANI, 2012).

De acordo com Jung *et al.* (2006), as AgNPs podem ser sintetizadas através de um pequeno aquecedor de cerâmica com uma fonte de aquecimento local, pois o vapor pode esfriar rapidamente devido ao seu gradiente de temperatura ao redor da superfície do aquecedor. Essa propriedade permite a formação de pequenas nanopartículas em altas concentrações. Esse método físico pode ser útil como gerador de nanopartículas para aplicações de longo prazo.

AgNPs podem ser sintetizadas pela ablação a laser de materiais metálicos a granel. A eficiência da ablação e as características das nanopartículas produzidas dependem de vários fatores, como a duração dos pulsos do laser, o comprimento de onda do laser, o fluxo do laser, o meio líquido efetivo com ou sem a presença de surfactantes e a duração do tempo de ablação (KIM *et al.*, 2005).

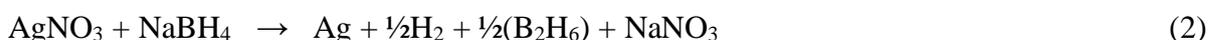
3.10.3.2 Abordagens químicas

A abordagem mais utilizada para a síntese de AgNPs é através da redução química por substâncias redutoras orgânicas e inorgânicas. Em geral, o citrato de sódio, boro-hidreto de sódio, ascorbato, processo de poliol, reagente de Tollens, hidrogênio elementar, N,N-dimetilformamida e etileno glicol são possíveis agentes redutores que podem ser utilizados. Eles são usados para redução de íons de prata (Ag^+) em soluções aquosas ou não aquosas. Esses compostos reduzem os íons prata (Ag^+), formando prata metálica (Ag^0), seguida de aglomeração em aglomerados oligoméricos. Esses aglomerados permitem a formação de partículas metálicas coloidais de prata. É necessário utilizar agentes de proteção para estabilizar as nanopartículas durante o processo de preparação de nanopartículas de metal (OLIVEIRA *et al.* 2005)

A equação química da síntese de nanopartícula de prata a partir do citrato de sódio é apresentada na equação (1) (OLIVEIRA *et al.* 2005).



A redução química do nitrato de prata por borohidreto de sódio para a síntese de AgNPs é representada nas equações (2) e (3). Geralmente, a redução é alcançada em uma temperatura próxima à temperatura de congelamento da água e, dependendo do tempo de reação, obtém-se partículas de, em média, até 12 nm de diâmetro (OLIVEIRA *et al.* 2005).



As AgNPs obtidas pela reação de redução do borohidreto de sódio têm dimensões entre 5 a 20 nm de diâmetro. Tanto a redução química dos sais de prata, em especial, o nitrato de prata (AgNO_3), quanto a condição de associação das nanopartículas variam com a troca do agente redutor, com as quantidades relativas do mesmo, com a duração da reação, temperatura, concentração dos reagentes etc (WOJTYSIAK e KUDELSKI, 2012).

De acordo com Abid *et al.* (2002), as nanopartículas de prata também podem ser sintetizadas usando diversos métodos de irradiação. Por exemplo, utilizando uma irradiação a laser de uma solução aquosa de sal de prata e surfactante, permitindo uma síntese com uma forma bem definida e tamanhos distribuídos. Para esse processo, utiliza-se laser em um método sintético de foto-sensibilização utilizando benzofenona. São produzidas, dessa forma, nanopartículas de prata de aproximadamente 20 nm, utilizando baixas potências do laser em curtos períodos de tempo de irradiação, enquanto um maior poder de irradiação pode produzir nanopartículas de aproximadamente 5 nm. Para a produção de AgNPs a partir de irradiação, pode ser usados lasers e lâmpadas de mercúrio como fontes de luz (EUTIS *et al.*, 2005).

3.10.3.3 Abordagens biológicas

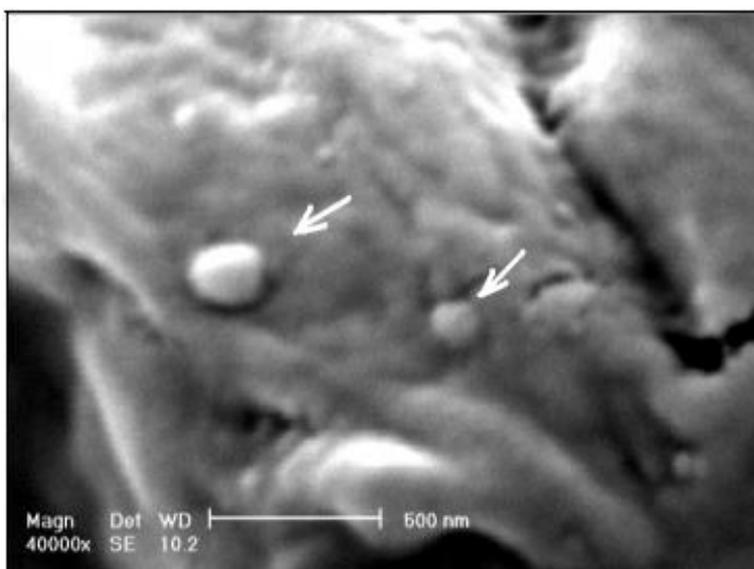
O desenvolvimento de métodos eficientes para a síntese de AgNPs utilizando agentes redutores naturais e menos agressivos tornou-se o foco principal dos pesquisadores. A fim de conquistar espaço na ciência, métodos biológicos foram utilizados para sintetizar as

nanopartículas sem o uso de substâncias tóxicas, agressivas e relativamente caras (HUANG *et al.*, 2007).

Korbekandi *et al.*, (2009) explica que a bio-redução de íons metálicos a partir de biomoléculas encontradas, por exemplo, em enzimas, aminoácidos, proteínas, polissacarídeos e vitaminas são ambientalmente benignos, apesar de serem mais complexos quimicamente. Diversos estudos relataram uma síntese bem sucedida de nanopartículas de prata utilizando microorganismos (bactérias e fungos).

Korbekandi e Iravani (2012) demonstraram a síntese biorredutiva de AgNPs a partir de *F. oxysporum*, mostrado na FIG. 10. Utilizou-se micrografia registrada a partir de AgNPs produzidas pela reação de nitrato de prata em solução aquosa com biomassa de *F. Oxysporum*.

Figura 10 – Micrografia SEM registrada a partir de nanopartículas de prata produzidas por reação de AgNO_3 em solução com biomassa de *F. oxysporum*



Fonte: Korbekandi e Iravani, 2012.

3.10.3.3.1 Síntese de nanopartículas de prata por bactérias

Estudos relataram que nanopartículas de prata estáveis (aproximadamente 40 nm) poderiam ser sintetizadas por bio-redução de íons de prata em meio aquoso com um sobrenadante de cultura de bactéria não patogênica, do tipo *Bacillus licheniformis* por irradiação por microondas em água. Esta biossíntese extracelular de nanopartículas de prata é realizada a fim de aumentar a taxa de reação e reduzir a agregação das nanopartículas

produzidas, utilizando radiação de microondas que fornece aquecimento uniforme ao redor das AgNPs, ajudando no amadurecimento digestivo das partículas sem agregação (SAIFUDDIN *et al.*, 2009).

Em outro estudo, a rápida biossíntese de nanopartículas metálicas utilizando a redução de íons Ag^+ em meio aquoso foi testado por meio de cultura de sobrenadantes de *Klebsiella pneumonia*, e *E. coli*. O processo sintético foi concluído rapidamente e as nanopartículas de prata foram formadas dentro de aproximadamente cinco minutos em contato com o filtrado celular. As enzimas nitroredutases podem ser o principal fator do sucesso da bio-redução de íons de prata. A emissão de luz visível também pode contribuir significativamente para a bio-redução para formação de AgNPs (SHAHVERDI *et al.*, 2007).

De acordo com Nair e Pradeep (2002), estirpes de *Lactobacillus*, quando expostas a íons de prata, resultaram na biossíntese dentro das células bacterianas. A exposição de bactérias do ácido láctico presentes no soro do leite coalhado, por exemplo, foram utilizadas para sintetizar os íons de prata. A síntese ocorre na superfície das células, através de açúcares e enzimas presentes na parede celular.

3.10.3.3.2 Síntese de nanopartículas de prata por fungos

Nanopartículas de prata (entre 5-50 nm) também podem ser sintetizadas extracelularmente usando um fungo ascomiceto do tipo *Fusarium oxysporum*, sem destaque de floculação das partículas. A estabilidade da solução de nanopartículas pode ser consequência da ação das proteínas presentes nas células do fungo. A morfologia das nanopartículas, quando testadas por esse método, apresentou-se altamente variável, com formas comumente esféricas e ocasionalmente triangulares. As AgNPs reagiram fortemente com proteínas, incluindo citocromo *c* (Cc) (MACDONALD E SMITH, 1996).

Ainda exemplificado por Macdonald e Smith (1996), quando utilizou-se *F. oxysporum*, a bio-redução de íons de prata foi atribuída a um processo enzimático envolvendo redutase dependente de NADH e resultou na liberação de nitrato redutase e subsequente formação de nanopartículas de prata altamente estáveis em solução.

A maior vantagem desse método foi o desenvolvimento de uma nova abordagem para síntese de nanomateriais em uma variedade de composições e formas químicas sem agregação possível. As nanopartículas foram produzidas entre 15 e 20 minutos, apresentando uma ampla distribuição de tamanho na faixa de 5-40 nm com diâmetro médio de 13 nm. A

enzima redutase dependente de nitrato atuou como agente redutor, assim como o fungo *F. oxysporum*. A forma piramidal foi a morfologia mais presente das AgNPs, porém algumas estruturas hexagonais também foram observadas (INGLE *et al.*, 2008).

Kathiresan *et al.* (2009) demonstraram em outro estudo a utilização do fungo *Penicillium fellutanum*, cujo filtrado da cultura foi incubado com íons de prata e mantidos sob condições sem luminosidade. Fatores cruciais como tempo de incubação, quantidade de nitrato de prata, temperatura, pH e cloreto de sódio foram alterados para obter a máxima produção de nanopartículas. A densidade óptica mais alta a 430 nm foi localizada 24 horas após o início do tempo de incubação, em concentração de 1 mM de nitrato de prata, em pH de aproximadamente 6,0, com uma temperatura de 5 ° C e cloreto de sódio a 0,3%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados dois trabalhos científicos diferentes a fim de mostrar os resultados sobre a eficiência das nanopartículas de prata na conservação de determinados alimentos, como agente antimicrobiano em contato direto com o alimento por meio da sanitização e aplicação diretamente em embalagens. Essas pesquisas contribuíram para um melhor entendimento do assunto e para comprovar experimentalmente sua funcionalidade. Essa análise também serviu de base para a criação de novas ideias e agregação de conhecimento.

A escolha do primeiro estudo realizado por Araújo *et al.*, (2015) foi importante para apresentar a eficiência de nanopartículas de prata não somente em embalagens, mas também em contato direto com o alimento, comprovando sua ação antimicrobiana. A pesquisa apresentou um método alternativo de sanitização para couve minimamente processada, tendo como objetivo aumentar a inocuidade desse tipo de hortaliça, através de reduções logarítmicas na população de *Escherichia coli*.

A segunda pesquisa analisada foi realizada por Brito *et al.*, (2017) e mostrou a avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata com diferentes concentrações em filmes poliméricos que podem ser aplicados em embalagens. A pesquisa analisou a atividade antimicrobiana em filmes poliméricos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com adição de diferentes concentrações de AgNPs.

4.1 Nanopartículas de prata: método alternativo de sanitização para couve minimamente processada

O estudo realizado por Araújo *et al.* (2015) afirma que os produtos minimamente processados são comercializados prontos para o consumo, e que estes devem estar livres de qualquer agente patógeno. Além disso, eles devem apresentar aspecto seguro, sem qualquer sinal de deterioração, tornando importante o processo de sanitização. As nanopartículas de prata apresentam papel fundamental nesse processo, sendo possíveis bactericidas contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, além de apresentarem grande área interfacial, o que possibilita uma excelente penetração em fissuras celulares (ARAÚJO *et al.*, 2015).

A síntese das AgNPs foi feita através de uma mistura aquosa de surfactante dodeciltrimetilamônio (Dotab) duas vezes mais concentrado que a concentração micelar crítica (CMC) e de sulfadiazina de prata (SAg). Toda a mistura foi homogeneizada e levada à centrifugação. O sobrenadante de coloração amarelada contendo as nanopartículas foi subsequentemente separado. As AgNPs concentradas foram obtidas pelo mesmo processo, sendo separadas do pallet e aquecidas para a evaporação parcial (aproximadamente 70%) do solvente (ARAÚJO *et al.*, 2015).

As couves foram resfriadas a 5°C e lavadas em duplicata, sendo a primeira lavagem com água potável e a segunda lavagem com sanitização conforme concentrações apresentadas no QUADRO 4 por 15 minutos.

Quadro 4 - Concentrações dos sanitizantes a serem testados na descontaminação da superfície da couve minimamente processada

Sanitizante	Concentração (mg L ⁻¹)
Hipoclorito de sódio	100
Dicloroisocianurato de sódio	200
Nanopartículas de prata	6
Nanopartículas de prata concentradas	60

Fonte: Adaptado de Araújo *et al.*, 2015.

As couves minimamente processadas foram separadas em embalagem de polietileno expandido (bandeja) revestida com filme de policloreto de vinila (PVC), dispostas em 25g por bandeja, sendo armazenadas em temperatura de 5°C por 10 dias. As bactérias *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Listeria innocua* foram ativadas em triplicata em caldo BHI, a fim

de obter a suspensão da cultura ativa. Em uma amostra de couve, foi inoculada a concentração de 10^7 UFC mL⁻¹ de *E. coli*, um dos principais patógeno de interesse em alimentos, e foi levada à incubação em 7 °C por 24 horas. Após este período, a amostra foi mergulhada nos sanitizantes (TAB. 5). As células de *E. coli* não removidas pelos sanitizantes foram quantificadas (ARAÚJO *et al.*, 2015)

Pode-se afirmar que a sanitização com nanopartículas de prata não variou, em razão da concentração testada, como mostrado no QUADRO 5. Além disso, percebeu-se que houve diferença significativa entre os diferentes tipos de sanitizantes avaliados e o controle (ARAÚJO *et al.*, 2015).

QUADRO 5 - Log UFC g⁻¹ de células vegetativas de *Escherichia coli* aderidas à superfície da couve, após exposição a diferentes antimicrobianos.

Antimicrobianos	Log UFC g ⁻¹	Reduções decimais
Água (controle)	5,86 ^a	-
Hipoclorito de sódio 100 mg/L	4,23 ^b	1,63
Dicloisocianurato de sódio 200 mg/L	4,55 ^b	1,31
Nanopartículas de prata 6 mg/L	2,70 ^c	3,16
Nanopartículas de prata 60 mg/L	2,70 ^c	3,16

Fonte: ARAÚJO *et al.*, 2015.

De acordo com Araújo *et al.* (2015), torna-se imprescindível a necessidade de sanitização eficiente da superfície da couve, antes de ser disponibilizada aos consumidores, visto que a sua superfície é ambiente favorável a diversos tipos de bactérias. O estudo ainda apresentou que as nanopartículas de prata, independente da concentração utilizada, promoveram maior descontaminação da superfície, resultando em três ciclos logarítmicos, em comparação aos outros sanitizantes utilizados.

4.2 Avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata com diferentes concentrações em filmes poliméricos

No estudo realizado por Brito *et al.* (2017), o objetivo foi testar a eficiência antimicrobiana de filmes poliméricos, utilizando diferentes concentrações de AgNPs. A análise foi realizada por meio de ensaios a fim de mostrar a atividade microbiológica por contato das bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Foram utilizados filmes de

polietileno de baixa densidade (PEBD) com AgNPs e carregador de SiO₂ e filmes sem a adição das nanopartículas. Para realizar o ensaio, os filmes foram preparados com mistura de prata (Ag) e SiO₂ e incorporadas em “masterbatch”. Esses masterbaths foram homogeneizados com palletes de PEBD puro, em seguida processados em extrusora de filme balão (BRITO *et al.*, 2017).

Para a incorporação das bactérias, foi realizada uma inoculação em caldo de soja triplicaseína (TSB) a 37 °C por 24 horas. Após este período, as bactérias foram centrifugadas e o sobrenadante foi descartado, sendo as células ressuspensas em solução salina (0,9%). Após isto, cada inóculo de microrganismo foi adicionado à solução salina, fazendo um ajuste de uma concentração 10⁵ µL. Os filmes com adição de AgNPs e sem adição de AgNPs foram cortados em dimensões de 4 cm x 4 cm e acomodados nas paredes de tubos eppendorf. Adicionou-se 500 µL da suspensão microbiana e agitou-se suavemente em incubadora rotativa por 24 horas em temperatura ambiente. Após este período, foi retirada pequena quantidade de material de cada tubo e foram feitas diluições seriadas em solução salina. De cada diluição preparada, retirou-se 10µL da solução microbiana e semeou-se em meio ágar triptona de soja (TSA). Estas foram incubadas a 37°C por 24 horas. As células de interesse foram contadas quantificando a formação de colônias (UFC/ml) (BRITO *et al.*, 2017).

O estudo em questão também fez uma comparação entre os limites de tolerância de microrgranismos em frutas e hortaliças com amostra representativa e amostra nanoestruturada.

De acordo com a pesquisa em questão, os resultados obtidos por meio do ensaio antimicrobiano com AgNPs mostraram que os filmes nanoestruturados obtiveram um sucesso significativo se tratando da ação microbiana, como mostra o QUADRO 5.

Quadro 6 – Determinação dos resultados relativos à média e ± desvio padrão de contagens (UFC/ml) de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, em relação aos corpos de prova controle (filmes sem AgNPs) e nanoestruturados (ppm)

Concentrações (ppm)	<i>S. aureus</i> (UFC/ml)	<i>E. coli</i> (UFC/ml)
Controle	162,2±68,3	157,6±21,0
15,00	65,8±6,6	38,7±8,2
17,00	48,1±2,5	1,9±1,1

Fonte: Adaptado de Brito *et al.*, 2017.

O estudo permitiu verificar que, com o aumento da concentração (ppm) de AgNPs menor o desenvolvimento de UFC/ml, e que concentrações maiores de AgNPs são mais eficazes na ação antimicrobiana, sendo possível observar maior eficiência na inibição de *E. coli*.

É possível comparar, como mostra o QUADRO 6, os valores do limite de tolerância de microrganismos em frutas e hortaliças de acordo com a RDC n°212 do Brasil, mostrando a resistência dos microrganismos em soluções nanoestruturadas. Pode-se verificar que para todos os alimentos analisados no estudo, os filmes ao serem comparados com a tolerância bacteriana da legislação apresentaram \log_{10} UFC/ml menor, ou seja, em todas as concentrações estudadas nesta pesquisa houve uma inibição para *E.coli* tolerável para o consumo destes alimentos, mostrando ainda uma maior eficiência quando utilizadas concentrações de nanopartículas de prata.

Quadro 7 - Distribuição dos dados de limite máximo aceitável de microrganismo por alimento (\log_{10} UFC/ml), de acordo com RDC n°12, e inibição em \log_{10} UFC/ml dos corpos de prova nanoestruturados (ppm) com os respectivos microrganismos.

Alimentos	Microrganismo e sua Tolerância para Amostra Representativa (\log_{10} UFC/ml)	Microrganismos e concentrações após aplicação de AgNPs	
		ppm	(\log_{10} UFC/ml)
Frutas frescas “in natura”, preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto.	<i>E. coli/g</i> 3,30	15,00 75,00	<i>E. coli</i> 0,81 0,04
Hortaliças e legumes “in natura” preparados (descascadas ou selecionadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto.	<i>E. coli/g</i> 2,30	15,00 75,00	<i>E. coli</i> 0,56 0,03

Fonte: Adaptado de Brito *et al.*, 2017.

4.3 Comparação dos resultados apresentados nos dois experimentos

Na indústria alimentícia, um dos principais fatores que deve ser levado em consideração é a qualidade dos alimentos, principalmente na sua conservação, desde o processamento, até chegar ao consumidor. Dessa forma, várias são as tecnologias desenvolvidas para otimizar o processo, sendo a nanotecnologia a ciência em maior

desenvolvimento. No trabalho em questão, foi escolhida a nanopartícula de prata como exemplo de aplicação tanto em embalagens alimentícias, como em contato direto com o alimento.

Os resultados obtidos em ambas as pesquisas mostraram alta relevância no uso de nanopartículas de prata para a conservação dos alimentos, principalmente na ação antimicrobiana, tanto aplicadas na sanitização de couve minimamente processada quanto em filmes poliméricos.

Na primeira pesquisa, Araújo *et al.* (2015) utilizou as AgNPs como sanitizante para realizar a lavagem de amostras de couve minimamente processadas, a fim de diminuir a proliferação de bactérias, principalmente *E. coli*. Acrescentou ainda que a sanitização com nanopartículas de prata não variou, em razão das duas concentrações testadas (QUADRO 4), concluindo que houve diferença significativa entre os diferentes tipos de sanitizantes avaliados.

As nanopartículas de prata, por apresentarem escala nanométrica, podem ter a capacidade de alcançar os sítios de colonização microbianos, que, muitas vezes, estão em espaços intercelulares ou fissuras presentes em superfícies. O efeito bactericida é influenciado pelas dimensões da partícula, tendo as menores partículas os melhores efeitos (SHAHVERDI *et al.*, 2007 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2015).

Na segunda pesquisa, Brito *et al.* (2017) agregou as nanopartículas de prata aos filmes poliméricos e teve como conclusão que o aumento da concentração (ppm) de AgNPs contribuiu para uma menor formação de colônias, sendo possível observar uma maior eficiência no controle de *E. coli* e acrescentou que a atividade antimicrobiana de filmes nanoestruturados está relacionada com a ruptura na parede celular das bactérias, o que consequentemente aumenta a permeabilidade da membrana, resultando na “morte da célula”. Deve-se levar em consideração a ação antimicrobiana das AgNPs com determinados tipos de bactérias.

No primeiro estudo a eficiência das nanopartículas de prata foi satisfatória, mostrando que as AgNPs possuem atividade antimicrobiana quando em contato direto com o alimento. No segundo estudo, a utilização de AgNPs em filmes poliméricos também apresentou bons resultados, visto que, em ambos, foram detectadas diferenças significativas na contagem das colônias, resultando assim em uma melhor segurança e qualidade dos alimentos.

5 RISCOS E REGULAMENTAÇÃO SOBRE NANOTECNOLOGIA EM ALIMENTOS

Por um lado, a nanotecnologia pode proporcionar melhorias no desempenho industrial, na eficiência de embalagens alimentícias e na conservação dos alimentos, mas também podem trazer riscos à saúde humana. A segurança da nanotecnologia tem chamado a atenção de pesquisadores devido ao crescente uso no mercado. Mesmo com o rápido comércio e desenvolvimento da nanotecnologia, os regulamentos que determinam os riscos ainda são poucos, provavelmente pela escassez de ferramentas legais e científicas, recursos e informações necessárias para acompanhar a evolução de mercado dessa tecnologia (BLASCO e PICÓ, 2011).

No ano de 2011, a *European Food Safety Authority* (EFSA) desenvolveu um documento de regulamentação a respeito da avaliação dos riscos para a alimentação humana. O documento especifica os parâmetros toxicocinéticos, testes de excreção e resultados de testes *in vitro* de genotoxicidade. Os requisitos são válidos para todas as substâncias, exceto aquelas que sejam acompanhadas por comprovação de dissolução e degradação completa (FOOD PACKAGING, 2013).

A Agência Federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos “Food and Drug Administration” (FDA) emitiu, em 2014, um documento para salientar as indústrias que, qualquer produto que utilize nanomateriais deve possuir dimensões externas, internas ou estruturas de superfície entre 1 a 100 nm. Essa regulamentação passará pelo FDA e será aplicada a todos os produtos que foram detectados com utilização de nanotecnologia, a fim de aumentar a reavaliação da segurança não só em escala nano, mas em geral. O regulamento ainda especifica que, qualquer mudança nas propriedades do alimento ou da embalagem devido à redução no tamanho deve ser reavaliada. Mesmo com a determinação regulamentada, o FDA não definiu se os produtos que utilizam nanomateriais são benignos ou prejudiciais, mas manteve necessária a política de estudos científicos que comprovem risco ou ausência dele (PESSANHA, 2016).

Diversos nanomateriais são compostos por metais pesados em sua estrutura, que possuem grandes riscos e toxicidade. Além disso, esses materiais interagem tanto exteriormente quanto fisiologicamente, devido ao seu tamanho bastante reduzido (CALIL & SILVA, 2011). Devido ao potencial índice de possível contaminação por nanopartículas, faz-se necessária uma definição de diretrizes e recomendações de proteção ao consumidor, ainda que o grau de certeza sobre a eficácia dessas práticas necessite de confirmações e ajustes, sendo necessária uma série de cuidados sobre aos principais tipos de contaminação (ALENCAR *et al.*, 2013).

Drobne (2007) aponta que as nanopartículas apresentam indução de toxicidade principalmente em membranas celulares, mitocôndrias e núcleos, apesar do pouco conhecimento a respeito da biodegradabilidade de novos nanomateriais. Ainda de forma primária, cientistas apontam que os nanomateriais podem ser mais tóxicos do que os materiais de tamanho maior. As nanopartículas possuem uma superfície proporcional à sua massa (peso), apresentando assim, maior reatividade química e maior efeito catalisador. As AgNPs podem apresentar uma alta toxicidade, dependendo de sua concentração e método de síntese utilizado, podendo penetrar nas células humanas e danificar o DNA.

A comercialização de produtos desenvolvidos com nanopartículas, em diversas regiões, vai depender, entre outros fatores, da qualidade e do preço dos produtos. Por isso, haverá uma necessidade crescente de pesquisas e estratégias para regulamentar os riscos, estabelecer responsabilidades para garantir a segurança (CHAUDHRY *et al.*, 2010).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral elaborar uma revisão da bibliografia a respeito do desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas à embalagem, desenvolvimento da nanotecnologia e aplicação de nanopartículas de prata em embalagens para a conservação e qualidade dos alimentos.

A nanotecnologia e as embalagens ativas e inteligentes aplicadas na indústria alimentícia ainda é um tema novo, mas que se encontra em constante crescimento. Esta tecnologia oferece benefícios reais para os alimentos, como melhores efeitos antimicrobianos, melhores texturas, sabores, melhorias na absorção e síntese de nutrientes, potencial redução na quantidade de gordura e outros aditivos, bem como na preservação da qualidade.

Para comparar a viabilidade das nanopartículas, foi realizado um comparativo entre dois estudos utilizando AgNPs. O primeiro estudo mostrou resultados satisfatórios quanto à atividade antimicrobiana na sanitização direta do alimento, agregando valor ao uso de nanopartículas de prata aplicadas em novos métodos. O segundo estudo mostrou eficiência das AgNPs quando adicionadas a filmes poliméricos utilizados em embalagens alimentícias. Os resultados analisados contribuíram para o alcance do objetivo geral do trabalho e mostrou a essencialidade de pesquisas sobre os efeitos benéficos e prejudiciais das nanopartículas.

Considera-se também que é necessário atentar-se aos possíveis riscos que essa aplicação pode gerar à saúde humana. Por isso, é imprescindível cumprir com as poucas

regulamentações já existentes, além de criar e colocar em prática novas metodologias de segurança. Por fim, o presente trabalho torna-se um auxiliar para agregar conhecimento sobre novas tecnologias aplicadas à indústria de alimentos e abre oportunidade para possíveis discussões futuras.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIA. **ABIA divulga balanço do setor de alimentos e bebidas.** 2016.

ABIA. **Associação Brasileira da Indústria de Alimentos.** 2016. Disponível em <<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2019326AIndustriaBrasileiradeAlimentosBalançoAnual2018ePerspectivas2019Jan192.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2019.

ABID, J.P; WARK, A.W; BREVET, P.F; GIRAULT, H.H. **Preparation of silver nanoparticles in solution from a silver salt by laser irradiation.** Chem Commun, p. 792-793, 2002.

ABRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. 2016. Disponível em <http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem_sustentabilidade.pdf>. Acesso em 16 de junho de 2019.

ABSORBWELL. **Shenzhen Chunwang Environmental Protection Technology.** 2017. Disponível em <<http://www.absorbwell.cc/info/how-oxygen-absorbers-work-19413666.html>>. Acesso em 20 de junho de 2019.

ALENCAR, M. S. M; BOCHNER, R; DIAS, M. F. F. **Nanotecnologia em Ciências da Saúde no Brasil: um olhar informétrico sobre os grupos de pesquisa.** Rev. Liinc., Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 47-65, 2013.

ARAÚJO, E. A; PASSOS, F. R; RIBEIRO, L; PEREIRA, A. A; FIALHO JÚNIOR, J. F. Q. **Nanopartículas de prata: método alternativo de sanitização para couve minimamente processada.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 45, n. 2, p. 138-145, 2015.

ARFAT, Y. A; BENJAKUL, S; PRODPRAN, T; SUMPAPAPOL, P; SONGTIPYA, P. **Properties and antimicrobial activity of fish protein isolate/fish skin gelatin film containing basil leaf essential oil and zinc oxide nanoparticles.** Food 175 Hydrocolloids, v. 41, p. 265–273, 2014.

ASSIS, L. M; ZAVAREZE, E. R; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C; SOUZA-SOARES, L. A. **Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos.** Brazilian Journal Of Food Technology. Campinas v. 15, n. 2, p. 99-109, abr./jun., 2012.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos.** Editora técnica, 2ª Edição. Embrapa, 2012.

AZEREDO, H. M. C; MATTOSO, L. H. C; MCHUGH, T. H. **Nanocomposites in Food Packaging – A Review.** Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites, p. 550, 2011.

BAPTISTA, P; VENÂNCIO, A. **Os perigos para a segurança alimentar no processamento de alimentos.** Forvisão – Consultoria em Formação Integrada, Ltda., 1ª Edição, 2003.

BARROS, H. D. **Estudo da exposição do consumidor aos plastificantes Ftalato e adipato de di-(2-etil-hexila) adicionados a filmes de PVC, utilizados para acondicionamento de alimentos Gordurosos.** 2010.

BERNI NETO, E. A; RIBEIRO, C; ZUCOLOTTI, V. **Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens**. Embrapa, Instrumentação Agropecuária, 2008.

BLASCO, C.; PICÓ, Y. **Determining nanomaterials in food**. Trends in Analytical Chemistry, Oxford, v. 30, n. 1, p. 84-99, 2011.

BOLUMAR, T; ANDERSEN, M. L; ORLIEN, V. **Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment**. Food Chemistry, 129(4), 1406–1412. 2011. Disponível em <https://www.academia.edu/26795920/Antioxidant_active_packaging_for_chicken_meat_processed_by_high_pressure_treatment>. Acesso em 19 de junho de 2019.

BRADLEY, E. L; CASTLE, L; CHAUDHRY, Q. **Applications of nanomaterials in food packaging with a consideration of opportunities for developing countries**. Trends in Food Science & Technology, v. 22, n. 11, p. 604–610, 2011.

BRAGA, R. L; SILVA, M. F. **Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias**. Brazilian Journal of Food Research, Campo Mourão, v. 8 n. 4, p. 170-186, 2017.

BRITO, S. C; SIVIERI, K. FERREIRA, M. D. **Avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata com diferentes concentrações em filmes poliméricos**. Embrapa, IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio. São Carlos, 2017.

CALIL, S. S; SILVA, P. R. Q. **Biossensores: estrutura, funcionamento e aplicabilidade**. 2011.

CASANOVA, C. F. **Desenvolvimento de um indicador colorimétrico de tempo-temperatura para embalagem inteligente**. Departamento de ciências agrárias, 2019.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. 6 ed. Formiga: Biblioteca Ângela Leão, 2017.

CHAUDHRY, Q; WATKINS, R; CASTLE, L. **Nanotechnologies in the Food Arena: New Opportunities, New Questions, New Concerns**. RSC Nanoscience e Nanotechnology, v. 14, n. 14, p. 1-17, 2010.

COLVIN, V.L; SCHLAMP, M. C; ALIVISATOS, A. **Light emitting diodes made from cadmium selenide nanocrystals and a semiconducting polymer**. Nature, v. 370, p. 354-357, 1994.

CUSHEN, M; KERRY, J; MORRIS, M; CRUZ-ROMERO, M; CUMMINS, E. **Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation**. Trends in Food Science & Technology, v. 24, n. 1, p. 30–46, 2012.

DAY, B. P. F. **Active packaging**. Food Packaging Technology. Blackwell Publishing, p. 282-300, 2003.

DROBNE, D. **Nanotoxicology for safe and sustainable nanotechnology**. Arh Hig Rada Toksikol, Ljubljana, Slovenia, v.58, n.4: p. 471- 478, 2007.

DUNCAN, T. V. **Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 363, n. 1, p. 1–24, 2011.

EMBRAPA. **Fundamentos de estabilidade de Alimentos.** 2 ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2012.

EUROPEN. The European Organization for Packaging and the Environment. **Packaging in the Sustainability Agenda: a guide for corporate decision makers.** ECR Europe, Bruxelas, Bélgica, 2009.

EUTIS, S; KRYLOVA, G; EREMENKO, A; SMIRNOVA, N; SCHILL, A.W; EL-SAYED, M. **Growth and fragmentation of silver nanoparticles in their synthesis with a laser and CW light by photo-sensitization with benzophenone.** 2005.

FERREIRA, R. S; GIRALDELI A. L. **Comportamento de algumas indústrias de alimentos no Brasil sobre fatores que influenciam a inovação de produtos.** Revista iPecege v.4, n. 3 p. 40-48, 2018. Disponível em <<https://revista.ipecege.com/Revista/article/view/292/150>>. Acesso em 09 maio de 2019.

FOOD PACKAGING FORUM. **Nanomaterials,** 2013. Disponível em: <http://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/nanomaterials>, acesso em 02 de outubro de 2019.

FULLER, W. G. **New food product development: from concept to marketplace.** Florida: CRC Press. 1994.

GAVA, A. J. **Princípios da tecnologia de alimentos.** São Paulo: Nobel, 1984. Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=I_uUf0KEY0YC&oi=fnd&pg=PA13&dq=tipos+de+tecnologia+utilizada+em+embalagens+alimenticias&ots=xsM9a5xYAU&sig=7hf8etwHki7xGUHkge5FLgpgxGY#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 29 de maio de 2019.

GOYAL, S; GOYAL, G. K. **Nanotechnology in food packaging - a critical review.** Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences, v. 10, n. 10, p. 14–24, 2012.

HONG, S. I; PARK, W. S. **Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation.** Journal Food Eng. Vol 46, p. 67–72, 2000.

HUANG, J; LI, Q; SUN, D; LU, Y; SU, Y; YANG, X; WANG, H; WANG, Y; SHAO, W; HE, N; HONG, J; CHEN, C. **Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried.** Cinnamomum camphora leaf. Nanotechnology, v. 18, p. 104-105, 2007.

INGLE, A; GADE, A; PIERRAT, S; SÖNNICHSEN, C; MAHENDRA, R. **Mycosynthesis of silver nanoparticles using the fungus Fusarium acuminatum and its activity against some human pathogenic bacteria.** Current Nanoscience, v. 4, p. 141-144, 2008.

KARASKI, T. U; RIBEIRO, F. M; PEREIRA, B. R; ARTEAGA, L. P. S. **Embalagem e Sustentabilidade – Desafios e orientações no contexto da Economia Circular.** 1ª Edição, São Paulo, 2016. Disponível em <http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem_sustentabilidade.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2019.

KATHIRESAN, K; MANIVANNAN, S; NABEEL, M. A; DHIVYA, B. **Studies on silver nanoparticles synthesized by a marine fungus, *Penicillium fellutanum* isolated from coastal mangrove sediment.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, v. 71, p. 133-137, 2009.

KIM, S; YOO, B; CHUN, K; KANG, W; CHOO, J; GONG, M; JOO, S. **Catalytic effect of laser ablated in nanoparticles in the oxidative addition reaction for a coupling reagent of benzylchloride and bromoacetonitrile.** V. 226, p. 231-234, 2005.

KORBOKANDI, H; IRAVANI, S. **Silver Nanoparticles.** Genetics and Molecular Biology Department, School of Medicine, 2012.

LABUZA T. P; BREENE, W. M. **Applications of active packaging for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods.** J Food Proc Preserv v. 13 n. 1, p. 1-69, 1989.

LEE, D.S. **Carbon dioxide absorbers for food packaging applications.** Trends in Food Science & Technology, 57,146–155, 2016.

MACDONALD, I. D. G; SMITH, W. **Orientation of Cytochrome c adsorbed on a citratereduced silver colloid surface.** Langmuir, v. 12, p. 706, 1996.

MANE, K. A. **A Review on Active Packaging: An Innovation in Food Packaging.** International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. Vol-1, Issue-3, Sept-Oct- 2016.

MARCOS, B; AYMERICH, T; MONFORT, J. M; GARRIGA, M. **High-pressure processing and antimicrobial biodegradable packaging to control *Listeria Monocytogenes* during storage of cooked ham.** Food Microb., 2008.

MARX, W; BARTH, A. **Carbon Nanotubes - A scientometric study.** In J. M. Marulanda, Carbon Nanotubes, p. 766, 2010.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F. D. F; LIM, L. T. T. **Nanotechnology development in food packaging: A review.** Trends in Food Science & Technology, v. 40, n. 2, p. 149–167, 2014.

MISTRY, B. S; MIN, D. B. **Oxidized flavor compounds in edible oils. Off-flavors in foods and beverages.** London, Elsevier Science Publishers, p. 171-209, 1992.

MUNTEANU, B. S; AYTAC, Z; PRICOPE, G. M; UYAR, T; & VASILE, C. **Poly(lactic acid (PLA)/Silver-NP/VitaminE bionanocomposite electrospun nanofibers with antibacterial and antioxidant activity.** Journal of Nanoparticle Research, v. 16, n. 10, p. 2643, 2014.

MUREDZI, P. **Active, Intelligent and Modified Atmosphere Packaging: A Model Technology for the Food Industry.** Harare Institute of Technology, [2013?].

SUJITHAMOL, P. S. **ASSIGNMENT Topic: Active Packaging.** 2013.

NAIR, B; PRADEEP, T. **Coalescence of nanoclusters and formation of submicron crystallites assisted by *Lactobacillus* strains.** Crystal Growth e Design, v. 2, p. 293- 298, 2002.

NASCIMENTO, A. P. S; PINTO, A. L; DUARTE, M. E. M; SOUZA, F. C. **Promotores e Inibidores da oxidação** lipídica. Revista Brasileira de Agrotecnologia, v. 6, n. 1, 2016. Disponível em <<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/3757/06-11>>. Acesso em 03 de junho de 2019.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. **Design de Embalagem do Marketing à Produção**. São Paulo: Novatec Editora, 2008.

NESPOLO, C. R; OLIVEIRA, F. A. de; PINTO, F. S. T; OLIVEIRA, F. C. **Práticas em tecnologia de alimentos [recurso eletrônico]**. Ciência e tecnologia de alimentos, Porto Alegre, Artmed, 2015.

OLIVEIRA, L. M; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. **Revisão: Principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas**. Brazilian Journal of Food Technology, v. 7, p. 161-165, 2004.

OLIVEIRA, M; UGARTE, D; ZANCHET, D; ZARBIN, A. **Influence of synthetic parameters on the size, structure, and stability of dodecanethiol-stabilized silver nanoparticles**. Journal Colloid Interface Sci, v. 292, p. 429-435, 2005.

PADULA, M; CUERVO, M. **Legislação de Embalagem para Contato com Alimentos: MERCOSUL e Outros Países Latinoamericados**. Ciência e Tecnologia, vol 14, nº 1, 2004. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/po/v14n1/19860.pdf>>. Acesso em 18 de junho de 2019.

PAIVA-MARTINS, F; CORREIA, R; FÉLIX, S; FERREIRA, P; GORDON, M. H. P. **Effects of Enrichment of Refined Olive Oil with Phenolic Compounds from Olive Leaves**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, 4139-4143, 2007.

PEDELHES, G. J. **Funções e valores na logística**. GELOG UFCS. 2005. Disponível em <<https://logisunip.files.wordpress.com/2011/10/embalagem.pdf>>. Acesso em 18 de junho de 2019.

PEREZ, F.S. *et al.* **Nanotecnologia: aplicações na área de alimentos**. Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2012.

PESSANHA, K. L. F. **Polímeros biodegradáveis adicionados de nanopartículas como embalagem para alimentos**. Rio de Janeiro, 2016.

PIRES, A. C. S. **Desenvolvimento e avaliação de filmes e sachê antimicrobianos na conservação de queijo mussarela fatiado**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, p. 73, 2006.

PROENÇA, R. P. C. **Aspectos organizacionais e inovação tecnológica em processos de transferência de tecnologia: uma abordagem antropotecnológica no setor de alimentação coletiva**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996

QUELHAS, A. S. **Dispositivo integrador tempo-temperatura enzimático para aferição cromática da qualidade da Cereja da Cova da Beira**. Universidade da Beira Interior. Ciências da Saúde, 2017. Disponível em

<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7023/1/5600_11552.pdf>. Acesso em 04 de setembro de 2019.

QUÍMICA ALIMENTAR. **Escurecimento enzimático em alimentos**. [2019]. Disponível em <<https://www.quimicalimentar.com.br/escurecimento-enzimatico-em-alimentos/>>. Acesso em 03 de junho de 2019.

RAIMUNDO, L. M. B; BATALHA M. O; TORKOMIAN, A. L. V. **Dinâmica tecnológica da Indústria Brasileira de Alimentos e Bebidas (2000-2011)**. Gest. Prod., São Carlos, v. 24, n. 2, p. 423-436, 2017. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/gp/2017nahead/0104-530X-gp-0104-530X2750-15.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2019.

REBELLO, F. F. P. **Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos**. Revista Agroambiental, v. 1, n. 3, 2017. Disponível em <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/225>>. Acesso em 15 de junho de 2019.

REDDY, M. M; VIVEKANANDHAN, S; MISRA, M; BHATIA, S. K; & MOHANTY, A. K. **Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities**. Progress in Polymer Science, v. 38, p. 1653–1689, 2013.

RHIM, J. W; NG, P. K. W. **Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 47, n. 4, p. 411–33, 2007.

SAIFUDDIN, N; WONG, C. W; NUR YASUMIRA, A. A. **Rapid biosynthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of bacteria with microwave irradiation**. Journal of Chemistry, v. 6, p. 61-70, 2009.

SANCHES-SILVA, A; COSTA, H. S. **Potenciais riscos das embalagens alimentares**. Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge IP, 2013. Disponível em <<http://repositorio.insa.pt/handle/10400.18/2093>>. Acesso em 18 de junho de 2019.

SANUJA, S; AGALYA, A; & UMAPATHY, M. J. **Studies on magnesium oxide reinforced chitosan bionanocomposite incorporated with clove oil for active food packaging application**. International Journal of Polymeric Materials, v. 63, n. 14, p. 733–740, 2014.

SARANTÓPOULOS, C; COFCEWICZ, S. L. **Embalagens ativas para produtos perecíveis**. ITAL - Instituto de tecnologia de alimentos, v. 28, n. 3, 2016. Disponível em <http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/cetea/informativo/v28n3/artigos/v28n3_artigo3.pdf>. Acesso em 28 de junho de 2019.

SCULLY, A. D; HORSHAM, M. A. **Intelligent and active packaging for fruits and vegetables**. Taylor & Francis Group, LLC, cap. 4, 2007.

SHAHVERDI, R. A; FAKHIMI, A; SHAHVERDI, H. R; MINAIAN, S. **Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against Staphylococcus aureus and Escherichia coli**. Nanotechnol Biol Med, v. 3, p. 168-171, 2007.

SILVA, A. M; SÁ, A. B; FRANCO, L. S; SILVA, T. C. C; CARVALHO, L. F. **Contaminação em embalagens de alimentos industrializados**. Rev. Saúde em foco, Teresina, v. 2, n. 2, art. 8, p. 107-114, 2015.

SILVA-SANTIAGO, P; SOARES, N. F. S; NOBREGA, J. E; JUNIOR, M. A. W; BARBOSA, K. B. F.; VOLP, A. C. P.; ZERDAS, E. R. M. A.; WURLITZER, N. J. **Antimicrobial efficiency of film incorporated with pediocin (ALTA_ 2351) on preservation of sliced ham**. Food Control, v. 20, p. 85-89, 2009.

SILVESTRE, C; DURACCIO, D; CIMMINO, S. **Food packaging based on polymer nanomaterials**. Progress in Polymer Science, v. 36, n. 12, p. 1766–1782, 2011.

SOARES, N. F. F; SILVA, W. A; PIRES, A. C. S; CAMILLOTO, G. P; SILVA, P. S. **Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos**. Revista Ceres, 2009.

SOUSA, L. C. F. S; SOUSA, J. S; BORGES, M. G. B; MACHADO, A. V; SILVA, M. J. S; FERREIRA, R. T. F. V; SALGADO, A. B. **Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico**. Revista ACSA, v. 8, n. 1, p. 19-27, 2012.

SOUZA, V. G. L. **Desenvolvimento de bio-nanocompósitos de quitosano / montmorilonite incorporados com extratos naturais como embalagens ativas para alimentos**. Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2018. Disponível em <https://run.unl.pt/bitstream/10362/42280/1/Souza_2018.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2019.

SUJITHAMOL, P. S. **ASSIGNMENT Topic: Active Packaging**. 2013.

SUZIGAN, W. **Industrialização brasileira em perspectiva histórica**. História Econômica & História de Empresas. 2012. Disponível em <<http://www.abphe.org.br/revista/index.php/rabphe/article/view/143>>. Acesso em 23 de maio de 2019.

TEIXEIRA, S. **Fatores que interferem na conservação dos alimentos**. CPT – Centro de produções Técnicas, [2015]. Disponível em <<https://www.cpt.com.br/cursos-gastronomia-segurancaalimentar/artigos/fatores-que-interferem-na-conservacao-dos-alimentos1>>. Acesso em 29 de maio de 2019.

TIDD, J; BESSANT, J. **Gestão da inovação**. Editora Bookman, São Paulo, SP, Brasil, 2015. Disponível em <<https://pt.scribd.com/document/350120035/Tidd-Bessant-2015-Gesta-o-da-Inovac-a-o>>. Acesso em 11 de maio de 2019.

VERMEIREN, L; HEIRLINGS, I; DEVLIEGHERE, F; DEBEVERE, J. **Oxygen, ethylene and scavengers**. R. Novel Food Packaging Technique. Boca Raton, FL: CRC PRESS, cap. 3, p. 22-49, 2003.

WILSON, C. L. **Intelligent and active packaging for fruits and vegetables**. Taylor & Francis Group, LLC, 2007.

WOJTYSIAK, S; KUDELSKI, A. **Influence of oxygen on the process of formation of silver nanoparticles during citrate/borohydride synthesis of silver sols.** Journal Colloids and Surfaces, v. 410, p. 45-51, 2012.

YAM, K. L; TAKHISTOV, P. T; MILTZ, J. **Intelligent Packaging: Concepts and Applications.** R: Concise Reviews in Food Science, 2005.

YILDIRIM S. **Active packaging for food biopreservation.** In: Lacroix C, editor. **Protective cultures, antimicrobial metabolites and bacteriophages for food and beverage biopreservation.** Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd. p 460–89, 2011.

YILDIRIM, S; ROCKER, B; PETTERSEN, M. K; NYGAARD, J. N; AYHAN, Z; RUTKAITE, R; RADUSIN, T; SUMINSKA, P; MARCOS, B; COMA, V. **Active Packaging Applications for Food.** Institute of Food Technologists, vol. 17, 2018.

ZONAECO, 2011. **Embalagens antimicrobianas com recursos naturais renováveis.** Disponível em <<https://lojazonaeco.wordpress.com/2011/08/23/embalagens-antimicrobianas-com-recursos-naturais-renovaveis/>>. Acesso em 21 de agosto de 2019.