

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE PORTO ALEGRE**

**DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO**

**TECNOLOGIA EM ALIMENTOS**

**Franccyne Kuser Fegalo**

**EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PARA ALIMENTOS: Possíveis substitutas para  
embalagens plásticas diminuindo o impacto causado ao meio ambiente?**

**PORTO ALEGRE  
2019**

**Franccyne Kuser Fegalo**

**EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS PARA ALIMENTOS: Possíveis substitutas para embalagens plásticas diminuindo o impacto causado ao meio ambiente?**

Trabalho de Conclusão do curso de Tecnologia em Alimentos apresentado ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Poliana Deyse Gurak

**PORTO ALEGRE  
2019**

## RESUMO

Embalagem biodegradável é um tipo de recipiente para alimentos que tem como característica principal a degradação no meio ambiente a partir da ação de microrganismos. Estas embalagens podem ser uma alternativa para o problema do descarte de resíduos plásticos no meio ambiente, questão de extrema relevância em tempos atuais. O plástico tradicional apresenta diversas características positivas que fazem com que seu uso atualmente se dê em grande escala, todavia a poluição cresce a cada dia devido a esse imenso uso e descarte. Este trabalho reúne informações a respeito das embalagens plásticas e biodegradáveis e apresenta vantagens e desvantagens do uso de ambas. Apresenta matérias-primas para fabricação das biodegradáveis bem como diversas empresas que as produzem no Brasil. As referências bibliográficas aqui apresentadas se posicionam de diferentes formas à respeito das embalagens biodegradáveis e sua possível substituição às embalagens plásticas de maneira a diminuir o impacto ambiental. Estas embalagens apresentam potencial para substituir os plásticos tradicionais, contudo algumas barreiras ainda devem ser ultrapassadas para que a substituição seja feita de maneira eficaz, como as suas propriedades físicas que ainda não são equivalentes aos plásticos tradicionais.

**Palavras chave:** Embalagem. Biodegradável. Plástico. Poluição.

## **ABSTRACT**

Biodegradable packaging is a type of food container that has as its main feature the degradation in the environment from the action of microorganisms. These packages can be an alternative to the problem of the disposal of plastic waste in the environment, a matter of extreme relevance in the current times. Traditional plastic has several positive characteristics that make its use in large scale today, however the pollution grows every day due to this immense use and disposal. This work gathers information about plastic and biodegradable packaging and presents advantages and disadvantages of using both. It presents the main raw materials for the manufacture of biodegradables as well as several companies that produce them in Brazil. The authors presented here stand in different ways in their opinions about biodegradable packaging and its possible replacement to plastic packaging in order to reduce the environmental impact. These packages have the potential to replace traditional plastics, but some barriers have yet to be overcome for effective replacement, such as their physical properties that are not yet equivalent to traditional plastics.

**Keywords:** Packaging. Biodegradable. Plastic. Pollution.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. METODOLOGIA.....	7
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	8
4.1 Definição e histórico da embalagem .....	9
4.2 Embalagem plástica .....	11
4.3 Vantagens e desvantagens do plástico .....	12
4.4 Legislação de embalagens plásticas .....	13
4.5 Tratamento dos resíduos plásticos .....	14
4.6 Embalagem biodegradável .....	19
4.6.1 Materiais utilizados na elaboração de embalagens biodegradáveis.....	22
4.6.1.1 Polissacarídeos .....	23
4.6.1.1.1 Celulose .....	23
4.6.1.1.2 Quitina e quitosana .....	25
4.6.1.1.3 Amido .....	26
4.6.1.1.4 Fécula de mandioca .....	28
4.6.1.1.5 Amido de arroz.....	29
4.6.1.1.6 Amido de feijão.....	29
4.6.1.2 Proteínas .....	30
4.6.1.2.1 Caseína.....	31
4.6.1.2.2 Colágeno- Gelatina .....	33
4.6.1.2.3 Isolado proteico do soro do leite .....	34
4.6.1.2.4 Glúten .....	35
4.6.1.2.5 Isolado proteico de soja .....	36
4.6.1.2.6 Zeína .....	38

4.6.1.3 Polímeros sintéticos .....	39
4.6.1.3.1 PLA (ácido polilático) .....	39
4.6.1.3.2 PCL (policaprolactona) .....	41
4.6.1.3.3 PVA (poliacetato de vinila) .....	42
4.6.1.3.4 PBS (succinato de butileno) .....	43
4.6.1.3.5 PHA (polihidroxicanoatos) .....	44
4.6.1.3.6 PHB (polihidroxibutirato) .....	46
4.7 Plastificantes .....	47
4.8 Potencialidades e desafios para produção de embalagens biodegradáveis .....	49
4.9 Empresas brasileiras produtoras de embalagens biodegradáveis .....	51
5. CONCLUSÃO .....	56
6. REFERÊNCIAS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

As embalagens são parte integrante e essencial no atual sistema econômico da sociedade, não sendo possível imaginar o mundo sem elas (RUIZ e FIGUEIREDO, 2016). No seguimento de alimentação, elas possuem um papel fundamental em virtude das suas múltiplas funções de conter, conservar e proteger. Ainda, mantém a qualidade e segurança do alimento, pois atuam como barreira a contaminações químicas, físicas e microbiológicas que possam colocar em risco a saúde do consumidor (JORGE, 2013). Atualmente, uma grande parte dessas embalagens são feitas de plástico, e sua produção e consumo excessivos tem sérias consequências ao meio ambiente e para vida humana.

Além das embalagens plásticas terem uma grande produção, acrescenta-se o fato de que a maioria dessas embalagens são usadas apenas uma vez e já são descartadas. Ainda, a má gestão destes resíduos faz com que o uso do plástico seja hoje um dos maiores problemas relacionados ao meio ambiente; onde prejudica os ecossistemas, reduz a biodiversidade e, tem o potencial de afetar a todos no planeta (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016; PNUD, 2018; BARNES, 2019). Partindo deste problema, diversos órgãos de pesquisas e empresas vêm reunindo esforços para tentar achar uma solução para substituição dos plásticos, ou mesmo para diminuição dos danos que o mesmo causa. Uma destas possíveis soluções são as embalagens biodegradáveis, que tem como principais atributos um menor tempo de permanência no meio ambiente e fabricação a partir de matérias-primas de fonte renovável.

Diante do crescente interesse na produção e uso das embalagens biodegradáveis no segmento da alimentação, o presente trabalho tem como objetivo congrega informações sobre a produção, aplicação, uso e oferta de embalagens biodegradáveis disponíveis para uso na área de alimentos. Desta forma, este trabalho reúne dados sobre o plástico convencional, traz informações sobre as embalagens biodegradáveis bem como as vantagens e desvantagens de ambos os tipos de recipientes, juntamente com um levantamento das empresas presentes no Brasil que produzem embalagens biodegradáveis para uso na área de alimentos e, por fim, os desafios a nível de disseminação e produção enfrentados pelas embalagens biodegradáveis quando utilizadas no segmento alimentação.

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo geral

- Realizar uma revisão sobre embalagens biodegradáveis e sua aplicação como substituta das embalagens plásticas no segmento da alimentação.

### Objetivos específicos

- Identificar as vantagens e desvantagens do uso e produção das embalagens biodegradáveis aplicadas na indústria de alimentos;
- Verificar os principais materiais utilizados para a produção de embalagens biodegradáveis;
- Apresentar empresas produtoras de embalagens biodegradáveis no Brasil;
- Identificar os principais desafios para o uso e disseminação das embalagens biodegradáveis para alimentos.

### 3. METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico foi realizado através de bases de dados como Scielo, Portal Periódicos Capes, Research Gate, Science Direct, Scopus e Google acadêmico. As palavras e expressões utilizadas para fazer as buscas foram: “embalagem”, “alimentos”, “biodegradável”, “biodegradabilidade”, “packaging”, “food pack”, “biodegradable”, “plastic”, “plastic pollution” e “pollution by plastics”.

Foram utilizados 185 artigos científicos para fazer a revisão, não limitando datas, todavia deu-se preferência aos materiais publicados entre os anos de 2015 a 2019 e nos idiomas português e inglês. Outras fontes bibliográficas disponíveis também foram utilizadas, como livros e revistas disponíveis em sites na internet ou na biblioteca da UFCSPA. A metodologia utilizada na busca das empresas brasileiras presentes neste trabalho ocorreu por meio do site de busca Google Shopping, utilizando as expressões “embalagem biodegradável” e “embalagem biodegradável empresas”. A partir disto, incluiu-se na pesquisa as empresas que tinham loja *online*, bem como as que responderam os e-mails de contato disponibilizados nos seus respectivos *sites*. As empresas foram contatadas entre 2018 e 2019, período em que este trabalho se desenvolveu.

#### **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre embalagens biodegradáveis e sua aplicação como substituta das embalagens plásticas tradicionais no segmento de alimentação. Apresenta-se, primeiramente, a definição e histórico das embalagens e como elas foram utilizadas nos primeiros tempos de sua invenção. Em seguida é apresentado uma revisão sobre embalagens plásticas e discute-se como tratar estes resíduos. Depois discute-se sobre a embalagem biodegradável e apresenta-se alguns tipos de materiais utilizados para elaboração destas, como polissacarídeos e proteínas, e ainda, apresenta-se alguns tipos de polímeros sintéticos. Adicionalmente, discute-se sobre as potencialidades e desafios enfrentados pelas embalagens biodegradáveis e por último, faz-se um levantamento das empresas que estão presentes no Brasil e que produzem embalagens biodegradáveis.

#### **4.1 Definição e histórico da embalagem**

De acordo com a RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) 259/2002, embalagem é o recipiente, o pacote ou a embalagem destinada a garantir a conservação e facilitar o transporte e manuseio dos alimentos. Nesta resolução também se distinguem as mesmas em: embalagem ou envoltório primário (que é a embalagem que está em contato direto com os alimentos); embalagem secundária ou pacote (embalagem que se destina a conter a embalagem primária); e ainda, a embalagem terciária (a qual tem a finalidade de conter uma ou várias embalagens secundárias).

Em geral o principal objetivo da embalagem é proteger o produto, com a finalidade de preservar as características do alimento, por meio das propriedades de barreira aos fatores ambientais, tais como luz, umidade, oxigênio e microrganismos, mantendo o produto sem alterações indesejáveis durante o transporte e armazenamento (FISPAL, 2018). Para Mestriner (2002), as embalagens somam novas funções, como a de despertar o desejo de compra, transmitir informações, comunicação, ser suporte de ações promocionais e ainda mais recente tem-se a utilização de embalagens ativas - embalagens que interagem com o produto - e embalagens inteligentes - que interagem com produto e comunicam com o consumidor. Desta forma, as embalagens passaram a conservar, expor, vender os produtos e por fim conquistar o consumidor por meio de seu visual atraente, funcional e comunicativo.

A necessidade da embalagem começou a aparecer a medida que a vida do homem tornou-se gradativamente mais urbana (NEGRÃO E CAMARGO, 2008). Não existe uma data exata para o surgimento da embalagem, mas provavelmente foram criadas para facilitar o transporte e o armazenamento dos alimentos, fundamentais para sobrevivência. Dados históricos relatam que a maneira encontrada para transportar a água inicialmente era com uso de crânios de animais, chifres ocos, conchas, cestos, depois iniciou-se a produção de vasos de argilas para a contenção e o transporte dos alimentos. Com o advento da Revolução Industrial no século XVIII, veio a demanda da produção em larga escala; conseqüentemente as embalagens tiveram um grande crescimento na quantidade produzida e aplicabilidade, utilizando materiais como a lata, o papel, o vidro, o alumínio para tal finalidade (MOURA E BANZATO, 1997).

A primeira matéria-prima usada em maior escala para a produção de embalagens foi o vidro. Por volta do primeiro século depois de Cristo, os artesãos sírios descobriram que o vidro fundido poderia ser soprado para produzir utensílios de diversos formatos, tamanhos e espessuras. Essa técnica permitia a produção em massa de recipientes de vários formatos e tamanhos. Embora o uso de metais como cobre, ferro e estanho tenha surgido na mesma época que a cerâmica de barro, foi somente nos tempos modernos que eles começaram a ter um papel importante para a produção de embalagens (MDIC, 2005).

Depois da aplicação em larga escala do vidro, outros materiais também foram sendo utilizados, como exemplo o metal. A ideia de utilizar o metal em embalagens surgiu quando Appert em 1795 ganhou um prêmio oferecido pelo governo francês para quem inventasse uma maneira de conservar os alimentos transportados aos campos de batalha para alimentar os soldados durante a guerra. Assim, Appert tornou-se fundador da indústria de processamento de alimentos com sua descoberta, o processo de apertização (DUARTE, 1997). A folha de metal surgiu em 1820 e os recipientes elaborados com esse material na época eram feitos à mão tendo o corpo e as extremidades soldadas. Isto causava problemas de vedação, que foram solucionados com a colocação de anéis de borracha. Desta forma, inúmeros produtos alimentícios podiam ser envasados em latas devido às suas características de impermeabilidade à luz, vapores e água, excelente condutibilidade, resistência, fechamento à vácuo, baixo custo e possibilidade de impressão e formatos diferenciados (MARIANO, 2004). No ano de 1880, além da produção de latas o vidro também era muito utilizado, principalmente para o transporte de leite. Assim, muitas máquinas foram desenvolvidas para que a produção de vidro abastecesse o mercado de diversos alimentos, tornando-o um material de uso em larga escala na indústria alimentícia e de utensílios domésticos (MARIANO, 2004).

No Brasil, até 1945, poucos produtos eram comercializados pré-acondicionados. Na indústria de alimentos, os principais eram o café torrado e moído, o açúcar refinado, o extrato de tomate, o leite em garrafa, o óleo de semente de algodão e o vinagre. Quase todos os produtos de primeira necessidade eram vendidos a granel, pesados no balcão e embrulhados em papel tipo manilha ou embalados em sacos de papel. Além de alimentos, alguns outros produtos eram vendidos já embalados, como o cigarro, a cerveja, a cera para assoalho, a creolina, os inseticidas líquidos e os produtos de perfumaria e de saúde bucal. Desta forma, pode-se observar que após grandes acontecimentos da história, como a Segunda Guerra Mundial, a vida urbana ficou ávida por novos elementos, e surgiram inúmeras inovações na produção de embalagens

para permitir que os produtos alimentares fossem transportados dos locais de produção para os centros consumidores, mantendo-se estáveis por longos períodos de estocagem (MDIC, 2005).

Com a população crescendo e se urbanizando a demanda por embalagens aumentou, fazendo com que embalagens de diferentes materiais iniciassem a produção em grande escala. Entre estes materiais encontra-se o plástico que é utilizado para diversas finalidades na produção e armazenamento de alimentos.

## **4.2 Embalagem plástica**

De acordo com Fiell e Fiell (2001), um material que revolucionou o mercado de embalagens foi o plástico, que modificou a cultura material do século XX e trouxe consigo infinitas possibilidades para a criação de embalagens devido à sua flexibilidade podendo assumir variados formatos.

A origem da palavra plástico vem do grego *plastikós*, que significa adequado à moldagem. São materiais formados pela união de polímeros, que são formados por monômeros, assim o tamanho e estrutura da molécula do polímero determinam as propriedades do material plástico (PLASTIVIDA, 2018).

Plásticos são produzidos a partir do petróleo por meio do processo de destilação fracionada do óleo cru. A fração da qual são obtidos os plásticos é a nafta, que é submetida a um processo de craqueamento térmico com catalisadores originando várias substâncias, entre elas: etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno - denominados petroquímicos básicos. Estes, por sua vez, são transformados nos chamados petroquímicos finos, tais como polietileno, polipropileno e policloreto de vinila (PIATTI e RODRIGUES, 2005).

Os plásticos são divididos em dois grupos de acordo com as suas características de fusão ou derretimento: termoplásticos e termorrígidos (ou termofixos) (LUCAS et al., 2001; FORLIN e FARIA, 2002; PATHAK, SNEHA, MATHEW, 2014). Os termoplásticos são aqueles que amolecem ao serem aquecidos, podendo ser moldados, e quando resfriados ficam sólidos e tomam uma nova forma. Esse processo pode ser repetido várias vezes. Estes correspondem a 80% dos plásticos consumidos e que vão para cadeia de reciclagem (PLASTIVIDA, 2018). Os termorrígidos são aqueles que não derretem quando aquecidos. Eles se tornam rígidos e não conseguem retornar a forma original. Essa é um agravante porque impossibilita a sua reutilização através dos processos convencionais de reciclagem (VGRESÍDUOS, 2017;

FRAGMAQ, 2016). São exemplos de plásticos termofixos: baquelite; poliuretanos (PU); poliacetato de Etileno Vinil (EVA); poliésteres e resinas fenólicas (PLASTIVIDA, 2018).

Na maioria das vezes, a combinação de mais de um polímero minimiza as deficiências individuais, permitindo a utilização de menores espessuras para constituição da embalagem (GILES e BAIN, 2001). Souza e colaboradores (2013) acrescentam que as embalagens plásticas podem apresentar boa barreira ou não à passagem de gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, vapor de água), em função da espessura e do tipo de polímero que constitui a embalagem, sendo que sempre que comparadas, as embalagens plásticas terão piores barreiras em relação às embalagens de vidro e metálicas.

Em levantamento feito pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) no ano de 2017, o setor de alimentos ocupou a segunda posição no ranking dos principais setores consumidores de produtos plásticos no Brasil, com 18,6% do total de plástico produzido e utilizado pelos diversos setores de serviços. O setor de bebidas ocupa o quinto lugar da lista, com 5,9%. O setor de alimentos inclui derivados de carne, laticínios, açúcares, óleos e gorduras, e o setor de bebidas inclui refrigerantes, cervejas, destilados, vinhos e águas envazadas (MME, 2018; PORTAL DA INDÚSTRIA, 2019).

#### **4.3 Vantagens e desvantagens do plástico**

Devido a sua composição, o plástico apresenta uma série de características positivas: força, resistência, durabilidade, longa vida, excelente barreira contra água e gases, resistência aos agentes químicos, e ainda possuem baixo peso e baixo preço (VGRESÍDUOS, 2017).

Com relação às garrafas de PET, a empresa ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do Pet), ainda cita vantagens como: sistemas de fechamento eficientes; inquebráveis; embalagem democrática (acessível a todas as classes); baixo custo de produção; 100% recicláveis (podendo ser facilmente separadas de outros produtos) e ainda, sua produção permite uma variedade de formas e tamanhos. No entanto, as mesmas qualidades que favorecem o seu uso intenso, também são as mesmas que influenciam o seu acúmulo nos ambientes naturais (ARAÚJO e SILVA-CAVALCANTI, 2016).

A limitação crescente da disponibilidade de matéria-prima fóssil, a não renovabilidade, instabilidade e aumento dos preços devido ao esgotamento dos recursos petrolíferos estão entre

os principais motivos pelos quais os pesquisadores buscam materiais de embalagem alternativos no lugar de combustíveis fósseis que possam superar as desvantagens associadas a plásticos convencionais, tais como renovabilidade e/ou biodegradabilidade (IMAM et al., 2008; THAKHIEW et al., 2010).

#### **4.4 Legislação de embalagens plásticas**

As embalagens e materiais que entram em contato com os alimentos podem transferir substâncias com potencial de apresentar risco à saúde dos consumidores. O órgão regulador destes materiais é a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), que estabelece requisitos visando garantir sua segurança e uso, através de regulamentações específicas para cada tipo de material.

A RDC 91/2001 dispõe sobre os critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos. As embalagens e equipamentos que estejam em contato direto com alimentos devem ser fabricados em conformidade com as boas práticas de fabricação para que não haja a migração para os alimentos de componentes indesejáveis, tóxicos ou contaminantes, em quantidades tais que superem os limites máximos estabelecidos de migração total ou específica e que possam representar um risco para saúde humana (BRASIL, 2001).

Com relação aos componentes utilizados nos materiais destinados a entrar em contato com alimentos, estes devem estar inclusos nas listas positivas de substâncias que provaram ser fisiologicamente inócuas em ensaios com animais e cujo uso está autorizado para a fabricação de materiais em contato com alimentos. Nesta resolução também constam os tipos de materiais que são reconhecidos e que compõem as embalagens e equipamentos para alimentos. Alguns exemplos são: materiais plásticos, incluídos os vernizes e revestimentos; celulose regenerada; elastômeros e borrachas; vidro; metais e suas ligas; madeira, incluindo a cortiça; ceras de parafina e microcristalinas e outros (BRASIL, 2001).

A RDC 27/2010 estabelece as categorias de alimentos e embalagens isentos de registro sanitário e as categorias de alimentos e embalagens com obrigatoriedade de registro. Como exemplo de alimento isento de registro tem-se balas e bombons, e como exemplo de

obrigatoriedade de registro tem-se alimentos com alegações de propriedades funcionais e/ou de saúde (BRASIL, 2010).

Ainda, com relação à materiais reciclados na elaboração de embalagens e equipamentos destinados a entrar em contato com alimentos, está proibida a utilização de materiais plásticos procedentes de embalagens, fragmentos de objetos, plásticos reciclados ou já utilizados, devendo, portanto, ser usado material virgem de primeiro uso. Esta proibição não se aplica para o material reprocessado no mesmo processo de transformação que o originou (scrap) de parte de materiais plásticos não contaminados nem degradados. Esta proibição também não se aplica ao PET, sendo este regulamentado pela RDC 20/08 - embalagens de polietilenotereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinados a entrar em contato com alimentos. Adicionalmente, este polímero é pouco aditivado e é formado por monômeros aprovados para o contato direto com alimentos. De modo geral, a empresa deve comprovar que o método utilizado para descontaminação do PET é suficiente para eliminar riscos à saúde e que o PET obtido ao final do processo equivale ao PET virgem quanto à segurança (BRASIL, 2008).

#### **4.5 Tratamento dos resíduos plásticos**

O plástico utilizado como material para embalagem é ambientalmente problemático devido seu uso e descarte desordenado gerarem um grande volume de resíduos sólidos que quando não reciclados requerem centenas de anos para se degradar após o seu uso final (MADERA-SANTANA et al., 2014; SONG e ZHENG, 2014; FERNQVIST et al., 2015; LANDIM et al., 2016; MORENO et al., 2015; SHANKAR e RHIM, 2015; OTSYINA et al., 2018). Uma das regiões mais afetadas pela poluição plásticas são os oceanos, e estima-se que cerca de 8 milhões de toneladas de plásticos vão parar no oceano a cada ano (JAMBECK et al., 2015; VGRESÍDUOS, 2017).

As embalagens representam 26% das aplicações dos plásticos, e seu tamanho pequeno e seu baixo valor como resíduo também as tornam propensas a se dispersarem (BARNES et al., 2009). Além de contaminar os oceanos e praias, o vazamento dos plásticos também podem degradar outros sistemas naturais, como florestas, canais navegáveis de água, e induzir custos econômicos diretos por entupimento de esgotos e outras infraestruturas urbanas. Além dos custos econômicos diretos, existem potenciais impactos adversos sobre os meios de




subsistência humanos e saúde, cadeias alimentares e sistemas sociais (STAP, 2011; OCEAN CONSERVANCY, 2015).





Devido à esta enorme poluição gerada por uma grande quantidade de embalagens plásticas, mostra-se de extrema importância o tratamento destes resíduos a fim de diminuir a quantidade dos mesmos no meio ambiente, como por exemplo, por meio do processo de reciclagem.

Segundo a NBR 15792:2010, o processo de reciclagem é a conversão de embalagens pós-consumo e/ou aparas de conversão industrial, separadas e coletadas, em um produto ou matéria-prima secundária. Dessa maneira, a reciclagem caracteriza-se por ações que visam facilitar a coleta e o retorno dos resíduos sólidos aos seus geradores, para que recebam tratamento adequado ou sejam reaproveitados, reduzindo a extração de matérias-primas e o volume de rejeitos gerados durante os processos produtivos (MARCHI, 2011).

A norma ABNT NBR 13230 trata sobre embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis. Esta normativa apresenta a identificação e simbologia, padroniza os símbolos que identificam os diversos tipos de resinas plásticas utilizados na fabricação de produtos plásticos e sua aplicação correta, quais conceitos facilitam a etapa de triagem dos tipos de resíduos nas cooperativas e nas recicladoras. O quadro abaixo mostra a lista de símbolos e números tratados na normativa.

Quadro 1: Simbologia dos tipos de materiais plásticos:

	<p><b>Poli (tereftalato de etileno) - PET</b></p> <p>Os plásticos de PET são transparentes, inquebráveis, impermeáveis e leves. O PET é utilizado, principalmente, na fabricação de embalagens para produtos alimentícios como água, bebidas carbonatadas, óleos e sucos, produtos de limpeza, cosméticos e farmacêuticos.</p>
	<p><b>Polietileno de alta densidade – PEAD</b></p> <p>Embalagens para alimentos, produtos têxteis, cosméticos. Resistente a baixas temperaturas, leve, impermeável, rígido e com resistência química e mecânica, o PEAD, é também usado na fabricação de tampas de refrigerante, potes, brinquedos, eletrodomésticos, escovas e cerdas de vassoura, engradados e caixas plásticas, entre outros.</p>
	<p><b>Poli (cloreto de vinila) – PVC</b></p> <p>Por suas características como rigidez, impermeabilidade e resistência à temperatura, são usados principalmente em tubos, cabos elétricos e materiais de construção como janelas, portas, forros e esquadrias. O PVC também pode ser aplicado na fabricação de brinquedos, alguns tipos de tecido, chinelos, cartões de crédito, filmes esticáveis, frascos para cosméticos, rótulos e selos termoencolhíveis (moldam-se à embalagem).</p>

	<p><b>Polietileno de baixa densidade – PEBD e Polietileno linear de baixa densidade – PELBD</b></p> <p>São flexíveis, leves e transparentes. O polietileno de baixa densidade (PEBD) é utilizado na produção de filmes termoencolhíveis ou termocontráteis, como fios e cabos para televisão e telefone, mangueiras, embalagens flexíveis, camada selante em estruturas cartonadas (embalagens longa vida), entre outros. O polietileno linear de baixa densidade (PELBD) é aplicado, principalmente, na produção de embalagens de alimentos, fraldas, absorventes higiênicos e sacaria industrial.</p>
	<p><b>Polipropileno – PP</b></p> <p>Embalagens para alimentos, produtos têxteis e cosméticos, tampas de refrigerante, copos descartáveis, garrações de água mineral. O material também é utilizado em produtos hospitalares descartáveis, tubos para água quente, autopeças, fibras para tapetes, entre outros produtos que devam ser resistentes a mudanças de temperatura, brilhantes e rígidos.</p>
	<p><b>Poliestireno – PS</b></p> <p>Entre os produtos fabricados com o poliestireno estão os copos descartáveis, eletrodomésticos, produtos para construção civil, autopeças, potes para iogurte, sorvete e doces. O PS expandido também está presente em pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos etc. As principais características do PS são a rigidez e a leveza.</p>
	<p><b>Demais polímeros</b></p>

Fonte: adaptado de Guia ambiental SINDIPLAST, 2011; SESI, 2012.

Dentro do contexto da reciclagem, as rotas potenciais ou com viabilidade econômica disponíveis para a reciclagem dos materiais plásticos citados acima podem envolver: (a) a transformação mecânica em novos materiais ou produtos; (b) a recuperação de resinas; (c) a reutilização de embalagens; e (d) a transformação energética.

**Transformação mecânica em novos materiais ou produtos:** consiste em submeter os materiais plásticos à processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original. Os materiais termoplásticos, aplicados em embalagens plásticas primárias de alimentos, adequam-se vantajosamente ao processo, preservando, em grande parte, as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais (GARCIA, 1998).

Neste processo há a coleta seletiva, limpeza de contaminantes (resíduos de alimentos, sujidades adquiridas pelo descarte pós-consumo e outros materiais incompatíveis com a natureza do material a ser reciclado), delaminação (materiais de embalagem compostas), separação e enfardamento das frações por compatibilidade de natureza polimérica. Nas unidades recicladoras os materiais selecionados são desestruturados mecanicamente. Na forma

de particulados, são submetidos a um processo de extrusão, seguido de resfriamento brusco que, após moídos e secados, originam o material reciclado, o qual é vendido para a indústria de plásticos para a fabricação de novos produtos ou outros materiais (CEMPRE, 2001). Como qualquer outro processo industrial a reciclagem mecânica deve ser economicamente viável, requerendo, entre outros fatores, garantia de fornecimento contínuo de material reciclável, tecnologias apropriadas para os diferentes produtos e valor de comercialização para os novos produtos que compense os investimentos aplicados no processo (FORLIN, 2002).

**Recuperação de resinas:** Também conhecida como reciclagem química, a recuperação de resinas consiste, basicamente, na quebra de polímeros para que eles voltem a ser monômeros e se transformem em outros tipos de produtos a partir de sua manipulação. Em geral, o plástico que será reciclado é dissolvido por solventes ou por meio de calor (FRAGMAQ, 2017). Ao recuperar componentes químicos individuais, a reciclagem química também forma novos produtos a partir de misturas de componentes.

De acordo com Forlin (2002) um exemplo onde se utiliza muito a reciclagem química são as garrafas PET. Este processo se caracteriza por dois tipos de empresa: (a) as que fazem a valorização e descontaminação do PET oriundo de embalagens pós consumo ou de descarte industrial, através de diversas operações unitárias; (b) as que fabricam materiais de embalagem multicamadas com a utilização de resina PET reciclada e virgem.

Para que seja viável estes processos de reciclagem do PET existem diversos fatores importantes, como instalações e equipamentos adequados para acondicionamento e processamento do PET pós-consumo e pessoal adequadamente treinado para atuar em todas as fases do processo. Também são necessários fluxogramas detalhados dos processos de reciclagem e fabricação de novas embalagens, com a indicação dos pontos críticos de risco e os sistemas de monitoramento adotados, bem como o monitoramento dos resíduos do processo de reciclagem.

**Reutilização de embalagens:** De acordo com Forlin (2002) o conceito de reutilização ou retornabilidade de embalagens de alimentos compreende a recuperação da embalagem integral pós-consumo para o desempenho da função originalmente planejada. Essas embalagens retornáveis deverão conter em seu rótulo a expressão “uso exclusivo para ...”, indicando para o consumidor/usuário o alimento para o qual é destinada. Elas passam por processos de limpeza e eliminação de contaminantes, bem como sanitização e monitoramento do ciclo de vida útil das embalagens, seguindo critérios rígidos de controle.

A embalagem retornável reduz o consumo de matérias-primas virgens e diminui o impacto ambiental devido ao seu descarte pós-consumo, quando não aproveitada em outra rota de reciclagem. Apresenta, contudo, a desvantagem de exigir apreciável consumo energético no transporte e nas operações de monitoramento, controle e adequação ao ciclo de reutilização.

**Transformação energética:** A transformação ou reciclagem energética prevê a combustão ou pirólise dos materiais plásticos utilizados como embalagem com a recuperação da energia liberada. A pirólise é uma opção de transformação energética de materiais plásticos que origina óleo combustível bruto, o qual pode ser utilizado como fonte de energia, via combustão, ou transformado em outros produtos ou materiais.

Não obstante às vantagens inerentes ao processo de transformação energética, o controle e tratamento dos produtos e substâncias residuais têm concentrado estudos e críticas sob o ponto de vista ambiental. A combustão de materiais plásticos de PVC mostra sérios problemas de corrosão de equipamentos e de poluição ambiental decorrentes da transformação do cloro contido em sua composição em produtos nocivos, tais como o cloreto de hidrogênio e dioxinas.

As dioxinas são compostos químicos derivados da estrutura básica  $C_4H_4O_2$ . A substância 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina tem sido estudada em função da sua toxicidade e efeitos deletérios em animais e seres humanos (SELKE, 1990).

Da mesma forma, a presença de materiais pesados como cádmio, cromo, zinco e, especialmente, mercúrio, quer nas emissões gasosas ou no resíduo sólido (cinzas), requerem a implementação de controles eficientes de neutralização, separação ou recolhimento dessas substâncias, sob pena de comprometer a estrutura e equipamentos de incineração e pirólise, assim como a viabilidade do processo. O requerimento de equipamentos e instalações apropriados para os processos, o controle e monitoramento das emissões gasosas, dos resíduos sólidos e das frações decompostas na degradação térmica, de modo a representar um retorno ou ganho energético positivos e uma redução de impacto ambiental que justifique economicamente os processos utilizados, são os principais fatores críticos deste tipo de reciclagem (FORLIN, 2002).

De acordo com a Plastvida (2018), mesmo que se tenha diversas formas de tratar os resíduos plásticos ainda existem diversas dificuldades nos processos de reciclagem. Uma destas dificuldades reside no fato de que estes materiais se encontram misturados, existindo a necessidade de se separar os diferentes tipos por serem incompatíveis entre si e não poderem ser processados em equipamento convencional. A separação dos diversos plásticos por tipo de

resina é um problema que ainda não foi resolvido e é um dos motivos que tem restringido a reciclagem de plásticos. Apesar dos muitos estudos e pesquisas realizados e em desenvolvimento, não se chegou, até hoje, a um processo que possa, de maneira rápida, automática e eficiente, efetuar a perfeita separação dos plásticos. Muitos artefatos são fabricados com mais de um tipo de resina, o que dificulta ainda mais a separação. Ainda, ressalta-se que a reciclagem é inviabilizada quando os recipientes estão contaminados de comida ou gordura (óleo mineral, vegetal ou sintético).

#### **4.6 Embalagem biodegradável**

Com o crescimento do consumo dos polímeros sintéticos, tem se tornado necessário propor alternativas para diminuir o acúmulo desses resíduos no meio ambiente, como por exemplo, por meio da busca de materiais substitutos ambientalmente sustentáveis, os polímeros biodegradáveis (MENDES, 2009).

Estes polímeros de fontes renováveis são materiais conhecidos de longa data. Na verdade, o primeiro material bioplástico conhecido foi o nitrato de celulose, sintetizado a partir da fibra da celulose e patenteado em 1869 (CORREA, 2018). Em 1897, químicos alemães inventam plástico biodegradável feito de caseína, mas este teve avanço comercial limitado por razões como dificuldade de moldabilidade e ainda escassez de leite para sua fabricação. Em 1926, Maurice Lemoigne desenvolveu poli-hidroxibutirato (PHB) a partir da bactéria *Bacillus megaterium*, sendo este o primeiro bioplástico produzido a partir de bactérias (BIOPLASTICS, 2018).

Na década de 70, iniciou-se o uso de amido para produzir bioplásticos, tendo como primeira fonte o milho, seguida da mandioca (CURVELO et al., 2001). Os primeiros biopolímeros foram misturas de amido com polímeros convencionais, de modo que uma certa biodegradabilidade e o uso de matéria-prima natural foi parcialmente alcançado (LACKNER, 2000). A produção industrial de PHA iniciou em 1982 pela Imperial Chemical Industries (ICI), que inicializou a venda deste polímero com o nome de Biopol. O Biopol foi utilizado a partir de 1990 na Alemanha para manufaturar frascos de xampu para a indústria de cosméticos Well (BRAUNEGG et al. 1998).

No início da década de 90, foi testada a sensibilidade à água de filmes contendo 50% ou mais de amido, e esta foi reduzida pela adição de poli (cloreto de vinila) (SHOGREN,

FANTA, DOANE, 1993). Além disso, a combinação de uréia com certos polióis proporcionava uma melhor plastificação do amido (DOANE, 1992).

No mesmo período, a produção de PHA no Brasil começou a ser estudada. Um projeto de pesquisa reuniu o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), a Universidade de São Paulo (USP) e a Copersucar, para iniciar os estudos de PHA no Brasil, visando a produção de plásticos biodegradáveis a partir da cana-de-açúcar por via biotecnológica. Como resultado, a Copersucar produziu o homopolímero P(3HB) e o copolímero P(3HB-co-3HV), utilizando a linhagem *Raustonia eutropha* DSMZ 545 (PIMENTEL, 2015)

Ainda na década de 90, produtos derivados de amido, como dextrinas ou glicose, eram amplamente utilizados como componente de fermentação. A glicose pode ser fermentada em ácido lático, que pode ser polimerizado em polímeros de ácido polilático e copolímeros. Seu uso como plástico biodegradável era considerado de interesse comercial (NARAYAN, 1993). Foram preparados filmes a partir de quitosana e seus derivados, e suas propriedades mecânicas e de biodegradação estudadas (KITTUR, KUMAR, THARANATHAN, 1998).

Hidrocolóides proteicos de origem vegetal eram utilizados em algumas formulações, e forneciam filmes com boa barreira ao oxigênio, mas não à água. Filmes a partir da zeína, a fração protéica do milho, eram resistentes, brilhantes e ainda proporcionavam resistência ao óleo. Adicionando glicerina, estes filmes tornavam-se ainda mais resistentes (THARANATHAN, 2003).

Em 1997, duas empresas americanas se juntaram com a intenção de produzir bioplásticos a partir do milho. Houve a fusão da empresa e então, em 2001, inicia-se a produção do PLA (ácido polilático). Nas últimas décadas observa-se diversas descobertas relacionadas aos biodegradáveis, como no ano de 2010 onde criou-se a primeira empresa de bioplásticos que utiliza algas (BIOPLASTIC, 2018).

Biodegradável é o nome dado aos materiais que podem ser decompostos pela ação de microrganismos do solo, da água e do ar (MMA, 2005). O termo biodegradação envolve atividade biológica. De acordo com Lucas et al., (2008), a biodegradação de polímeros consiste em três etapas importantes: i) biodeterioração, que é a modificação das propriedades mecânicas, químicas e físicas do polímero devido ao crescimento de microrganismos na superfície ou dentro da superfície dos polímeros, ii) biofragmentação, que é a conversão de polímeros em oligômeros e monômeros pela ação de microrganismos e; iii) assimilação, onde microrganismos são fornecidos por fontes necessárias de carbono, energia e nutrientes da

fragmentação de polímeros e convertem o carbono de plástico em CO<sub>2</sub>, água e biomassa. Basicamente, a biodegradação começa quando os microrganismos se desenvolvem na superfície do polímero e secretam enzimas que quebram o polímero, transformando a macromolécula em pequenos fragmentos (AVELLA et al., 2005; DAVIS e SONG, 2006). As taxas de biodegradação de biopolímeros podem ser obtidos em dias ou meses dependendo da matéria-prima em estudo (ARANCIBIA et al., 2014; GONZÁLEZ et al., 2011; SU et al., 2010).

Para Ramalho (2009), a biodegradação demora de 12 a 18 meses para se degradar, e de acordo com a norma D833 da ASTM (Sociedade Americana de Testes e Materiais) bem como a norma técnica da ABNT 15448:2008, para que o material possa ser considerado biodegradável, eles devem ser totalmente desintegrados em um tempo máximo de 180 dias após serem dispostos no meio ambiente. Ainda, Imam et al. (2008) acrescentam que para o processo de biodegradação destas embalagens seja feita de forma eficaz, depende-se de uma série de fatores como temperatura, umidade e pH no ambiente de descarte.

Com relação à análise do ciclo de vida, este é um novo princípio sobre o desenvolvimento de um produto. A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um instrumento concebido para identificar e contabilizar todos impactos ambientais do início do produto, processo ou serviço desde a sua fase de produção e durante a sua utilização, bem como no fim de sua vida (WENZEL et al., 2000). O resultado da ACV fornece importantes informações para a indústria e os formuladores de políticas sobre opções de tecnologia que minimizam os impactos ambientais e, portanto, é uma ferramenta de gestão ambiental na mudança para mais tecnologias ambientalmente saudáveis. Os plásticos biodegradáveis são um caso interessante, pois podem ser tratados em todas opções de final de vida, incluindo compostagem e digestão anaeróbica (BIDLINGMAIER, 2003).

As embalagens biodegradáveis de alimentos úmidos podem contribuir para um aumento da taxa de compostagem de resíduos alimentares e na qualidade dos compostos. No entanto, o desempenho ambiental de várias opções de descarte precisa ser explorado para o caso específico de embalagens secas e usadas feitas de plástico biodegradável (RAZZA e INNOCENTINI, 2012). O ciclo de vida de um polímero biodegradável é caracterizado por um ciclo completo, um ciclo fechado, onde a matéria prima utilizada na fabricação dos polímeros biodegradáveis é de fonte renovável. Estes polímeros, no final de seu ciclo de vida, sofrem degradação de microorganismos que o decompõe em água, gás carbônico e nutrientes, que retornam para o solo. Já os polímeros convencionais, ao final de seu ciclo de vida, retornam para o solo como

forma de descarte, de lixo, e ficam expostos ao céu aberto em aterros sanitários e lixões (COSTA, 2013).

Utilizando parcialmente esta metodologia, HARDING e colaboradores (2007) compararam a produção de matéria-prima e processo de produção de PHB, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade. Porém não analisou os impactos de uso, reuso e descarte. O autor descreve que em quase todas as categorias analisadas (que incluem aquecimento global, depleção abiótica e toxicidade terrestre e de águas doce e salgada), a produção de PHB a partir de sacarose alcançou reduções significantes. Por outro lado, devido à utilização de fertilizantes na agricultura, ácidos e um número significativo de sais, a produção de PHB aumenta o nível potencial de toxicidade das águas residuais e de eutrofização. Porém, conclui-se que o processo de produção de PHB é mais benéfico ao meio ambiente do que os de polipropileno e poliestireno.

#### **4.6.1 Materiais utilizados na elaboração de embalagens biodegradáveis**

Nos últimos anos grandes esforços estão sendo feitos para o desenvolvimento de materiais de embalagem que sejam biodegradáveis (DAVIDOVIC e SAVIC, 2010; KHAN et al., 2017). Os materiais biodegradáveis podem ser classificados em polímeros naturais, polímeros sintéticos (quimicamente sintetizados) e polímeros microbianos (derivados de microorganismos) (COLTRO et al., 2015; MAJID, 2018).

Os polímeros obtidos de recursos naturais comumente disponíveis são derivados de fontes animais, marinhas e agrícolas. Esses compostos incluem os polissacarídeos, como amido, celulose, quitosana e gomas; as proteínas extraídas de animais (caseína, colágeno, gelatina) e derivadas de plantas, como a zeína (proteína do milho) e o glúten (proteína do trigo) (BERTAN et al., 2005; KARNNET et al., 2005). Para Assis et al., (2008), os filmes desenvolvidos com base em biopolímeros naturais, como os polissacarídeos e as proteínas apresentam uma característica promissora que é o fato de existirem em abundância a partir de fontes renováveis. Entretanto, a maioria destes polímeros são hidrófilos, fator que causa problemas de processamento e desempenho, especialmente em relação ao acondicionamento de alimentos úmidos.

#### **4.6.1.1 Polissacarídeos**

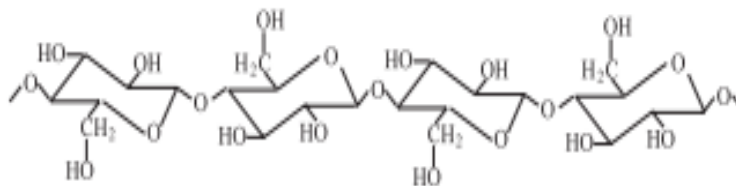
Os polissacarídeos representam de longe os biopolímeros mais abundantes da Terra. Os principais de interesse comercial são a celulose e o amido, havendo também uma atenção especial aos carboidratos mais complexos, como as quitosanas, quitinas e xantanas (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006; BRITO, 2011; MOLINA, 2012). Comparando as estruturas de alguns destes polímeros, constata-se que são formadas por unidades básicas de glicose, ligadas como anéis de grupos acetais (aldeído e álcool) e, desse modo, com grande quantidade de grupos hidroxilas (alta hidrofiliçidade) (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Os biomateriais feitos de polissacarídeos possibilitam a obtenção de filmes com boas propriedades mecânicas. No entanto, não fornecem adequada barreira ao vapor de água devido ao seu caráter hidrofílico (IVANKOVIC, 2017). Dentre as propriedades mecânicas relacionadas às interações moleculares, os polissacarídeos apresentam elevada resistência à tração e baixa capacidade de alongamento, enquanto as proteínas apresentam moderada resistência à tração e elevado alongamento. Abaixo são citados os principais polissacarídeos já listados para desenvolvimento de filmes biodegradáveis.

##### **4.6.1.1.1 Celulose**

A celulose é o polímero natural com maior abundância no planeta (MARRON et al., 2000; GOMES, 2011). Consiste em um polímero formado por unidades de D-glicopirranose, unidos por ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  (1-4) (figura 1) (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006; MOREIRA, 2010). É biodegradável, atóxica e não alergênica. Apresenta elevada resistência mecânica e rigidez (MACEDO, 2015). É o principal componente da parede celular das plantas e é normalmente obtida industrialmente a partir do processamento da madeira para a produção de pasta celulósica, designada de celulose vegetal. A celulose também pode ser produzida por microrganismos como algas, fungos e bactérias, e, neste caso, designa-se celulose bacteriana (GOMES, 2011).

Figura 1- Estrutura molecular do polímero de celulose.



Fonte: FRANCHETTI e MARCONATO (2006).

Para produzir celulose, podem ser utilizadas matérias-primas regionais (materiais fibrosos não de madeira), como por exemplo a cana-de-açúcar e diversos bagaços (KESHK e SAMESHIMA, 2006).

Em análise com diferentes agro-resíduos, obteve-se rendimento de 60% e 70% na extração de celulose das ramas de cenoura e salsa, respectivamente, utilizando o ácido trifluoracético (ácido orgânico de baixa toxicidade e referido como biodegradável, a partir da ação microbiana) (MACEDO, 2015). A produção de polímeros biodegradáveis por meio de resíduos orgânicos surge como uma alternativa para remediar os danos causados pela prática de extração de celulose vegetal.

No estudo de Silva (2018), onde desenvolveram-se filmes de celulose bacteriana e goma de cajueiro, obteve-se filmes que apresentaram aparência homogênea e boa estabilidade térmica. Verificou-se ainda que com o aumento da proporção da celulose bacteriana nas formulações dos filmes ocorreu uma melhora significativa das propriedades de resistência à tração, na elasticidade, na solubilidade e a diminuição da permeabilidade dos filmes.

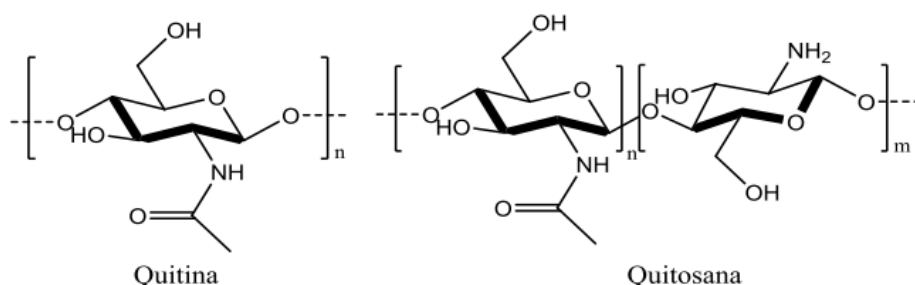
Kubaski e Ito (2017) desenvolveram embalagens biodegradáveis a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja pelo método *foam-mat*. Este método consiste na secagem de alimentos líquidos ou semilíquidos para posterior formação de uma espuma estável, através da incorporação de ar e adição de um agente emulsificante/estabilizante. É um processo de baixo custo, fácil operação e de fácil secagem. Os testes iniciais feitos com uma mistura do resíduo de batata e de bagaço de cevada, resultaram em materiais que apresentaram característica esfarelada. Após adição de pectina e glicerol o material se equilibrou, não mais estando esfarelado e se apresentando mais firmes. Testes de biodegradabilidade também foram feitos, e após 14 dias os resultados foram positivos, com altos valores de decomposição.

#### 4.6.1.1.2 Quitina e quitosana

Outros polissacarídeos possíveis de serem empregados é a quitina e quitosana. A quitosana é obtida a partir da quitina de exoesqueleto de crustáceos e é mais abundante nas paredes celulares da pele de insetos, nas conchas de moluscos e insetos, sendo também encontrado na parede celular de alguns fungos (CLARNIVAL e HALLEUX, 2005). Os dois principais crustáceos marinhos explorados pela quitina são os camarões e caranguejos (RINAUDO, 2006).

A quitina possui em sua estrutura grupos acetamida, e quando estes grupos são desacetilados a quitina é transformada em quitosana. Este biopolímero pode ser total ou parcialmente desacetilado, constituído então de grupos D-glicosamina (GlcN) e N-acetil-DGlicosamina (GlcNAC) resultando em um copolímero de  $\beta$ -(1,4)-D-glicosamina e  $\beta$ -(1,4)-N-acetil-D-glicosamina (DIAS et al., 2008). A figura 2 mostra a estrutura molecular da quitina e da quitosana:

Figura 2: Estrutura molecular da quitina e quitosana.



Fonte: REGATTIERI et al., 2016.

A quitosana é um produto natural, de baixo custo, renovável e biodegradável, de grande importância econômica e ambiental. As carapaças de crustáceos são resíduos abundantes e rejeitados pela indústria pesqueira, que em muitos casos as consideram poluentes. Ambas, quitina e quitosana, são aplicadas para produzir vários filmes biodegradáveis para embalagem, e são mais largamente utilizados como um revestimento comestível para prolongar o prazo de validade de frutas e vegetais frescos (GOY et al., 2009; ELSABEE E ABDU, 2013) como por exemplo pepinos, morangos e pimentas.

No trabalho de Viégas (2016) onde estudou-se filmes de amido e filmes de quitosana, observou-se que filmes de quitosana são menos rugosos em comparação com filmes de amido. Ainda, as permeabilidades encontradas nos filmes de amido com quitosana foram relativamente altas, concluindo que esse tipo de filme é ideal para alimentos frescos, como frutas, verduras, legumes que exigem altas permeabilidades, não podendo ser utilizados em alimentos secos pois a alta permeabilidade afetaria a qualidade do alimento.

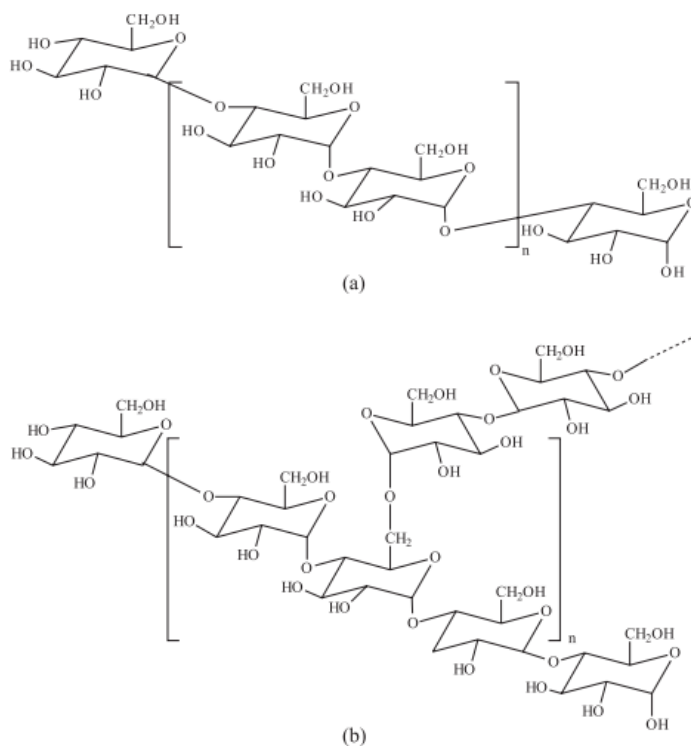
Deus e colaboradores (2017) estudaram propriedades ópticas de filmes biodegradáveis de quitosana com adição de óleo essencial de *Citrus limonia* (mais conhecido como limão china ou limão rosa). Os filmes foram produzidos pela técnica *casting* (que consiste no espalhamento de uma suspensão em placas de pequena dimensão seguido de secagem) com concentrações fixas de quitosana (2%), glicerol (50%) e ácido acético glacial (1%), e concentrações de óleo essencial de *Citrus limonia* variando de 0% a 1%. Estes filmes apresentaram boa propriedade de barreira à luz UV, sendo assim, se mostrando promissoras para utilização em embalagens para alimentos que sofrem oxidação lipídica quando expostos à luz, e ainda, uma opção de embalagem biodegradável.

#### 4.6.1.1.3 Amido

O amido é potencialmente o polímero biodegradável mais aceitável devido ao seu baixo custo e disponibilidade (MALI et al., 2010). Em contraste com a celulose ele pode ser digerido por humanos e representa uma das principais fontes de energia que sustenta a vida (BRITO, 2011). Por ser formado por unidades de glicose que compõem as frações de amilose e amilopectina, e por estas se apresentarem em diferentes proporções a depender da fonte de amido estudada, pode-se afirmar que amidos provenientes de diferentes fontes vegetais possuem características físico químicas distintas e aplicações comerciais variadas que estão diretamente ligadas à relação da concentração de amilose/amilopectina, grau de cristalinidade, forma física e tipos de processamento (OLIVEIRA et al., 2016).

A amilose é um polímero essencialmente linear, formado por unidades de  $\alpha$ -D-glicopirranose ligadas em  $\alpha$ -(1,4), com poucas ligações  $\alpha$ -(1,6). A amilopectina amilopectina é um polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em  $\alpha$ -(1-4) e  $\alpha$ -(1-6) (LAJOLO e MENEZES, 2006). As estruturas dos polímeros de amilose e amilopectina podem ser observadas na figura 3:

Figura 3: Estrutura molecular da amilose (a) e amilopectina (b).



Fonte: CORRADINI et al., 2005.

A capacidade de geleificação do amido é uma das suas propriedades mais requeridas, principalmente na indústria de alimentos e fármacos e consiste na transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica (MALI et al., 2010). Quando submetido ao aquecimento em meio aquoso, algumas ligações internas de hidrogênio, responsáveis pela estabilização da estrutura cristaliza do grânulo, são rompidas e a água entra na sua estrutura molecular, provocando o rompimento do grão e a perda da birrefringência. Nesse momento, ocorre a gelatinização do amido (MOREIRA et al., 2013).

O amido é compatível com a maioria dos materiais, permitindo que misturas sejam elaboradas com facilidade (MALI et al., 2006; DIAS, 2008). O amido por si só não pode produzir filmes com resistência mecânica suficiente e, portanto, muitas vezes são misturados com outros materiais, pois o amido, quando exposto à umidade, pode inchar e sofrer deformação. A desvantagem dos polímeros à base de amido é a fragilidade, que pode ser

minimizada pela incorporação de plastificantes biodegradáveis, como glicerol e ureia, reduzindo a sua atividade de água (MAJID, 2018).

Na sequência, são descritos alguns tipos de aplicações de amidos obtidos de diferentes matérias-primas.

#### **4.6.1.1.4 Fécula de mandioca**

Tem sido amplamente utilizada na formulação de filmes devido a sua disponibilidade e baixo preço. A obtenção do filme de fécula de mandioca baseia-se no princípio da geleificação do amido, que ocorre aproximadamente a 70°C, com excesso de água. A fécula geleificada que se obtém, quando resfriada, forma películas devido às suas propriedades de retrogradação (SILVA, 2007). No estudo de Martins (2017) desenvolveu-se embalagens biodegradáveis de fécula de mandioca reforçadas com nanocelulose extraída de resíduo de palmito de pupunha. A adição de nanocelulose ao amido de mandioca possibilitou a obtenção de um material com maior força de tensão, menor alongamento e uma reduzida permeabilidade ao vapor de água. A medida que se aumentava a concentração de nanocelulose, houve uma redução na transparência e tendência para cor amarelada nos filmes. Estes filmes podem ser usados para contato direto com matrizes de baixo teor de umidade. Silva e colaboradores (2019c) produziram filmes de fécula de mandioca incorporados com cafeína irradiada e analisaram propriedades físico-químicas e mecânicas. Os filmes foram produzidos pelo método *casting* e as soluções filmogênicas foram preparadas contendo 10% de fécula de mandioca, 4% de glicerol, 85% de água e 1% de cafeína, bem como outra formulação controle. Com relação à solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor de água, demonstrou-se que a cafeína submetida a irradiação não influenciou nas propriedades de barreira e de interação hidrofóbica e hidrofílica da água com o filme de fécula de mandioca. Com relação à cor, observou-se que os filmes com cafeína irradiada tenderam a apresentar cor mais clara se comparado com o filme controle. Nos testes de tração, a cafeína irradiada não influenciou na resistência e ruptura do filme, e no geral, os filmes estudados apresentaram boa qualidade mecânica.

#### **4.6.1.1.5 Amido de arroz**

O arroz tem como constituinte principal o amido e apresenta quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e minerais. Apesar de o arroz branco ser o mais difundido e consumido no mundo, existem grãos que apresentam pigmentos em sua camada externa, como o arroz vermelho. Uma alternativa para aumento da produção e comercialização desse grão vermelho consiste na extração do amido, processo no qual essa matéria-prima pode ser transformada em um produto com grande interesse industrial e comercial (VARGAS et al., 2016). Vargas e colaboradores (2017) desenvolveram filmes biodegradáveis à base de farinha de arroz vermelho, amido de arroz vermelho e glicerol. A incorporação de amido na matriz do filme influenciou positivamente as propriedades mecânicas e morfológicas dos filmes e contribuiu para a formação de um filme mais resistente, mais elástico, com menor permeabilidade ao vapor de água, bem como uma superfície mais homogênea. Os filmes obtidos apresentaram baixa transparência e cor vermelha devido à presença de compostos fenólicos, e ainda mostraram ter uma maior capacidade de absorção UV, o que pode ser benéfica para evitar a oxidação lipídica em alimentos. No estudo de Queiroz e colaboradores (2016), desenvolveram-se filmes biodegradáveis a partir de amido extraído de arroz vermelho. Os filmes foram produzidos pela técnica de *casting* com 5g amido de arroz vermelho e 100g água caracterizados quanto a espessura e propriedades mecânicas. Os resultados indicaram que o amido de arroz vermelho foi capaz de formar uma película coesa que pôde ser facilmente retirada da placa. Os filmes de amido de arroz vermelho apresentaram-se menos resistentes, porém mais flexíveis quando comparados a filmes de amido de outras matérias-primas.

#### **4.6.1.1.6 Amido de feijão**

De um modo geral, os amidos de feijões apresentam baixo poder de inchamento e capacidade de dispersão em água, alta temperatura de gelatinização, rápida retrogradação, resistência ao cisalhamento e elevado teor de amido resistente, que se deve ao alto teor de amilose em comparação com amidos de outras fontes (MAARAN et al., 2014). O feijão é uma fonte de amido ainda pouco explorada com a finalidade de produzir materiais biodegradáveis, e sua estimativa de produção no Brasil, em 2018, foi 3,4 milhões de toneladas (IBGE, 2018). Segundo Salgado et al., (2005), o feijão macáçar ou caupi

apresenta 19,92% e 41,36% de amido nas fases verde e madura, respectivamente, prevalecendo a quantidade de amilopectina em relação à de amilose em ambas as fases.

No estudo de Costa, Silva e Lima (2018) realizou-se a caracterização de filmes de amido de feijão macáçar, quitosana e glicerol. A medida que se aumentava as quantidades de glicerol e quitosana houve a formação de filmes mais permeáveis ao vapor de água. Os filmes obtidos apresentaram espessuras e densidades bastantes uniformes, e os mesmos são adequados para embalagens transparentes de produtos desidratados e com baixo teor de umidade. No estudo de Figueroa (2016) extraiu-se e purificou-se amidos de diversos tipos de feijões cultivados no Brasil, para aplicá-los na obtenção de filmes biodegradáveis. Utilizou-se glicerol como agente plastificante e o estudo foi feito por meio da técnica de *casting*. Os filmes foram avaliados em termos de aparência da superfície, opacidade, solubilidade, poder de intumescimento, permeabilidade e propriedades mecânicas. Foi possível observar resquícios de grânulos inchados na superfície dos filmes, solubilidades em água próximas a 20 %, maior intumescimento em solução com pH 8,0 e baixa permeabilidade ao vapor d'água. Os ensaios mecânicos mostraram que os filmes elaborados com amidos dos feijões pretos e rajado apresentaram maiores resistências, enquanto que a elongação variou de 20 a 30 % para os diferentes filmes. De um modo geral, os resultados revelaram que os amidos de diferentes tipos de feijão apresentam características distintas havendo influência direta na qualidade dos filmes biodegradáveis.

#### **4.6.1.2 Proteínas**

Outro composto muito utilizado para a produção de embalagens biodegradáveis são as proteínas. Normalmente, existem dois tipos de proteínas empregadas para a síntese de materiais para embalagens: proteínas derivadas de fontes animais (caseína, colágeno, soro de leite, etc.) e proteínas derivadas de plantas (glúten, zeína, etc). Filmes e revestimentos a base de proteína são preparadas a partir de soluções composto de três componentes principais: proteína, plastificante e solvente (KIRSTEN; PEGGY; PHOEBE, 2009). Podem ainda ser adicionados outros aditivos como agente ajustador de pH, como o ácido acético e hidróxido de amônio, e agentes reticulantes, como o gluteraldeído, formaldeído e transglutaminase (PAVLATH e ORTS, 2009).

As características obtidas no filme são dependentes da composição, da concentração dos componentes e o método de formação. A concentração de proteína e plastificante na solução filmogênica e o método de preparo do filme são fatores importantes que contribuem para as propriedades funcionais do filme como espessura, propriedades mecânicas (elasticidade e resistência à tração) e permeabilidade a gases (JIANG et al., 2012).

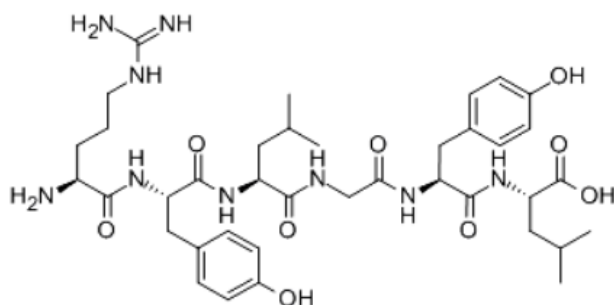
Os materiais de embalagem à base de proteínas têm excelentes propriedades de barreira à gases, mas eles (exceto a queratina) são prejudicados por sua natureza hidrofílica. Portanto, eles também precisam ser misturados com outros polímeros, ou devem sofrer alterações químicas ou microbiológicas. A proteína deve ser desnaturada para criar a estrutura necessária para a formação do filme (GEMILI et al., 2009, THAKUR et al., 2015). Abaixo, são descritas algumas aplicações de proteínas derivadas de fontes animais:

#### 4.6.1.2.1 Caseína

A caseína constitui o principal componente proteico no leite, e forma partículas coloidais estáveis de forma aproximadamente esférica conhecidas como micelas. Esta auto-associação é dirigida por interações hidrofóbicas, mas as interações repulsivas eletrostáticas são também importantes visto que definem o grau de polimerização e o limite de crescimento (CUQ et al., 1998).

Com relação ao leite bovino, cerca de 78% das proteínas presentes são caseínas, organizadas na forma de micelas constituídas por 92% de proteínas e 8% de sais inorgânicos, principalmente fosfato de cálcio (SGARBIERI, 1996). A figura 4 mostra a estrutura da caseína:

Figura 4: Estrutura da molécula de caseína.



Fonte: PATNI et al., 2015.

Quatro proteínas principais -  $\alpha_1$  (44 %),  $\alpha_2$  (13 %),  $\beta$  (33 %) e  $\kappa$  (10 %) – estão presentes nas micelas de leite bovino (CUQ et al., 1998). A  $\beta$ -caseína possui excelentes propriedades de estabilização da emulsão, porém por possuir uma estrutura muito desordenada resulta em uma película interfacial muito fraca. Já a  $\kappa$ -caseína é uma proteína menor que possui mais estruturas secundárias do que  $\beta$ -caseína, sendo assim, mais resistentes à ruptura e ao deslocamento (RIDOUT et al., 2015).

A caseína comercial, produzida por meio da precipitação ácida, é uma das principais proteínas com funcionalidade tecnológica em alimentos (FOX, 1989). Os métodos tradicionais de fabricação de caseína promovem alterações químicas irreversíveis na estrutura da micela de caseína, por meio da acidificação ou modificação enzimática, a fim de facilitar a separação das proteínas coaguladas dos constituintes do soro (SMITHERS, 1991).

Lopes e colaboradores (2018) estudaram os efeitos do extrato da planta barbatimão nas propriedades físicas e estruturais de filmes de amido e caseína. Os filmes foram feitos pelo método de *casting* e quatro tipos de formulações foram estudadas: A (4 gramas de amido contendo 30% de glicerol), AC (3 gramas de caseína + 1 grama de amido contendo 30% de glicerol), AB (4 gramas de amido contendo 30% de glicerol + 1% de extrato de barbatimão) e ACB (3 gramas de caseína + 1 grama de amido contendo 30% de glicerol + 1% de extrato de barbatimão).

Com relação à espessura, os resultados indicaram que esta não se alterou entre as formulações. Em relação à solubilidade, os filmes AB e ACB foram menos solúveis, e ainda, com relação à cor, estas duas formulações se apresentaram mais opacas que os filmes sem extrato de barbatimão. Com a presença do barbatimão, os filmes se tornaram mais escuros, amarelados e ásperos.

Senhorinho (2015), estudou o efeito da adição de caseína em filmes à base de amido de araruta plastificados com glicerol ou sorbitol. Com relação à espessura do filme, os plastificados com glicerol não apresentaram diferença significativa de espessura enquanto que os plastificados por sorbitol apresentaram um aumento na espessura com o aumento do teor de caseína.

Na análise de solubilidade percebeu-se que os maiores teores de caseína apresentaram os menores valores de solubilidade em ambos os plastificantes. Para a umidade, quanto maior o teor de caseína menor a umidade dos bioplásticos. A cor dos bioplásticos sofreu influência do aumento do teor de caseína. Quanto às propriedades

mecânicas, a adição de caseína proporcionou uma diminuição na resistência a tração e um aumento na flexibilidade dos bioplásticos.

#### 4.6.1.2.2 Colágeno- Gelatina

O colágeno, proteína de origem animal, compõe cerca de 6% do peso corporal de uma pessoa e 30% de sua proteína corporal total, fazendo parte da estrutura dos tecidos (SILVA e PENNA, 2012), como parte constituinte de peles, tendões, ossos, dentes, vasos sanguíneos, intestinos e cartilagens (TONHI e PLEPIS, 2002). Constituído por aminoácidos em formato de tripla-hélice, o colágeno pode ser caracterizado de acordo com sua obtenção (SILVA e PENNA, 2012).

Apresentam disposição física alongada além de cadeias peptídicas formadas pelos aminoácidos lisina, alanina, hidroxilisina, glicina e prolina, e organizadas paralelamente a um eixo, proporcionando melhores índices de resistência, estabilidade e elasticidade à estrutura, e ainda impedindo a rotação da cadeia (WOLF, 2007). A forma de apresentação do colágeno pode ser como fibras ou pó, sendo insolúvel em água devido à grande concentração de aminoácidos hidrofóbicos contidos no interior da proteína (SILVA e PENNA, 2012).

Com o colágeno se produz gelatina, e essa gelatina pura e seca dará origem a um sólido transparente, insípido, quebradiço, inodoro e com cor amarela fraca (DJAGNY, WANG e XU, 2001). No estudo de Souza (2016), elaborou-se filme biodegradável a partir da gelatina extraída da pele de tilápia. Este autor obteve um filme com boa habilidade em ser manipulado, com textura lisa e homogênea. Além disso, apresentaram alta capacidade de elasticidade, diferente de filmes de amido que se rompem com facilidade.

Correia (2016) produziu filmes a base de colágeno bovino, ágar-ágar e agarose a partir do método de *casting*, e observou que os filmes com adição de ágar-ágar, acrescido ou não de colágeno, apresentaram maior possibilidade de absorção de umidade. O processo de laminação feito nos filmes não interferiu na capacidade de intumescimento dos mesmos, e ainda, o autor observou que os biofilmes produzidos a partir de ágar-ágar favorecem a absorção de umidade devido à sua grande capacidade de absorção de água.

Dessa forma, os mesmos não poderiam ser utilizados como embalagens para produtos que requerem proteção contra a umidade. Makishi (2016) estudou propriedades

de soluções filmogênicas e de filmes de gelatina ou colágeno com extrato de boldo-do-Chile, a partir da técnica de *casting*, e observou que os filmes produzidos com gelatina e colágeno adicionados de extratos aquosos de boldo-do-Chile, quando comparados à formulação controle, mantiveram alguns parâmetros inalterados, ou seja, a adição do extrato não apresentou influência sobre as propriedades mecânicas, a solubilidade, a umidade, a cristalinidade, a permeabilidade ao vapor de água.

As propriedades de superfície dos filmes de gelatina mostraram-se bastante homogêneas, lisas e brilhantes em ambos os lados. Já nos filmes de colágeno, a superfície de secagem mostrou-se bastante rugosa. O autor também observou que as propriedades óticas e de barreira UV/Visível foram influenciadas pela adição do extrato de boldo-do-Chile, tanto para os filmes de colágeno como para os filmes de gelatina. O extrato de boldo-do-Chile conferiu uma coloração amarelada aos filmes, e aumentou as propriedades de barreira UV sugerindo que os filmes produzidos podem diminuir a oxidação lipídica por oferecerem uma barreira à luminosidade.

#### **4.6.1.2.3 Isolado proteico do soro do leite**

O soro de leite, também conhecido como soro lácteo, é um líquido residual obtido a partir da coagulação do leite, destinado à fabricação de queijos e caseína (BRASIL, 1996). Representa a porção aquosa do leite de onde são extraídas as proteínas do soro (ANDRADE e MARTINS, 2002). O soro representa cerca de 85 a 90% do volume total de leite que entra no processo de fabricação do queijo, variando conforme o tipo de queijo processado (ALMEIDA et al., 2001). As proteínas do soro de leite incluem:  $\alpha$  – lactalbumina,  $\beta$  – lactoglobulina, lactoferina, lactoperoxidases, lisozima junto com outros componentes menores (SGARBIERI, 2004).

O soro de leite pode ser obtido em laboratório ou na indústria por três processos principais: I) pelo processo de coagulação enzimática (enzima quimosina), resultando no coágulo de caseínas, matéria-prima para a produção de queijos e no soro "doce"; II) precipitação ácida no pH isoeletrico (pI), resultando na caseína isoeletrica, que é transformada em caseinatos e no soro ácido; III) separação física das micelas de caseína por microfiltração, obtendo-se um concentrado de micelas e as proteínas do soro, na forma de concentrado ou isolado proteico (SGARBIERI, 2004).

O isolado proteico de soro de leite tem sido utilizado com sucesso como base polimérica na produção de filmes biodegradáveis em virtude de essas embalagens apresentarem excelentes propriedades de barreira ao oxigênio, odores e aromas. Além disso, também apresentam elevada transparência e estão altamente disponíveis como subproduto da indústria de queijos. Todavia, estes filmes se apresentam frágeis e pouco maleáveis (AZEVEDO et al.,2015).

Soares, Silva e Oliveira (2016), desenvolveram filmes a partir do concentrado proteico de soro do leite aplicando duas variações de tratamento de pH: 5,5 e 8,5 pelo método de *casting*. Os autores observaram que os filmes não obtiveram variação de espessura e que apresentaram homogeneidade na estrutura morfológica. Observou-se também que houve variação na umidade durante o período de armazenamento dos filmes, havendo ganho de massa, que pode ter interferência com a alta permeabilidade de água que os filmes de proteína apresentam.

Lamas (2015) desenvolveu embalagem de isolado protéico de soro de leite, nanopartículas de argila e agente antifúngico natamicina avaliando o seu efeito na conservação do queijo muçarela. A autora observou que a adição da argila aumentou a estabilidade térmica dos filmes, e que as características mecânicas e ópticas foram influenciadas pela adição de natamicina. Ainda relatou a formação de bolhas e cristais na superfície dos filmes. Com relação à espessura do filme, esta foi reduzida pela adição de natamicina. Por fim, a autora concluiu que as utilizações destes filmes foram eficientes na conservação da muçarela, aumentando a vida de prateleira do produto.

Além das proteínas derivadas de fontes animais, existem também as proteínas derivadas de plantas, e algumas de suas aplicações são discutidas abaixo:

#### **4.6.1.2.4 Glúten**

O trigo é um cereal muito plantado no Brasil e no mundo e esta grande produção é devida a enorme quantidade de alimentos à base de trigo disponível e consumido por seres humanos, como produtos de padaria, massas, lanches e produtos para o café da manhã. Uma das razões mais significativas por trás desse grande uso são as propriedades funcionais das proteínas formadoras da rede de glúten, gliadina e glutenina, contidas no endosperma do trigo (LAGRAIN et al., 2010). As gliadinas são proteínas de cadeia

simples, extremamente pegajosas, responsáveis pela consistência e viscosidade da massa, apresentando pouca resistência a extensão. As gluteninas apresentam cadeias ramificadas, sendo responsáveis pela extensibilidade da massa (CZUCHAJOWSKA e PASZCZYNSKS, 1996).

Elas formam uma rede que fornece as propriedades viscoelásticas essenciais para produção da maior parte dos alimentos à base de trigo consumidos por seres humanos (LAGRAIN et al., 2010). Rocca-Smith e colaboradores (2016), por meio da técnica *casting*, avaliaram o efeito da incorporação lipídica nas propriedades funcionais de filmes de glúten de trigo.

A fração lipídica era uma mistura comercial de ésteres acéticos de mono e diglicerídeos e cera de abelha. Observou-se que a incorporação da fração lipídica foi capaz de reduzir a absorção de água nos filmes de glúten de trigo. Com relação às propriedades de barreira às moléculas de água em líquido ou vapor, esta aumentou após a adição de lipídios. Todavia, a incorporação de lipídios induziu uma estrutura de rede mais fraca, provavelmente porque a fase lipídica dificultou fisicamente a formação de ligações intra-cadeia durante a formação de filme.

No estudo de Zubeldía, Ansorena e Marcovich (2016), produziu-se filmes de glúten de trigo obtidos por moldagem por compressão. Esta técnica consiste em colocar as misturas em um molde, que em seguida é colocado em uma prensa aquecida seguido de aplicação de pressão. Água e glicerol foram utilizados e observou-se que a concentração de plastificante teve um efeito significativo nas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água, enquanto as propriedades mecânicas permaneceram inalteradas. A temperatura de prensagem afetou a cor dos filmes, estes ficando mais escuros se estiverem sob uma temperatura superior a 100°C. Segundo os autores, esta coloração mais escura poderia levar os consumidores a não aceitarem estes filmes caso fossem utilizados como embalagem de alimentos.

#### **4.6.1.2.5 Isolado proteico de soja**

As proteínas de origem vegetal estão entre os maiores biopolímeros encontrados na natureza. As sementes de variedades cultivadas de soja contêm cerca de 40% de proteína e 20% de óleo com base na matéria seca. As proteínas presentes em maior quantidade são as proteínas de reserva glicinina e  $\beta$ -conglucina, lipoxigenases, lectina e

uréase. Destas, a glicinina e  $\beta$ -conglucina são predominantes, perfazendo um total de cerca de 70% das proteínas da semente (HILL e BREIDENBACH, 1974).

A proteína de soja tem a vantagem de ser economicamente competitiva, biodegradável e de fácil disponibilidade (SCREMIN, 2004). A proteína de soja possui características de desempenho que são semelhantes às do glúten, dando origem a filmes brilhantes, resistentes à umidade do ambiente, e que não se dissolvem em água (MAJID, 2018).

Carpiné (2016) desenvolveu e caracterizou filme biodegradável produzido a partir de proteína isolada de soja, óleo de coco e surfactantes naturais. Os filmes foram feitos por meio da técnica *casting* e utilizou-se glicerol como plastificante. Os surfactantes utilizados, com a finalidade de auxiliar na formação e estabilização da suspensão coloidal, foram a lecitina de soja e o extrato da planta *Yucca schidigera*. Com relação à transparência dos filmes, esta foi dependente da proporção de óleo na matriz, onde o seu uso crescente nas formulações levou ao aumento na opacidade dos filmes. O óleo de coco promoveu a flexibilidade dos filmes, independente do surfactante utilizado. Ainda, os filmes elaborados com lecitina foram mais flexíveis e menos resistentes do que os filmes com extrato da planta *Yucca*.

A boa flexibilidade dos filmes produzidos com lecitina permitiu a elaboração de sachês para acondicionamento de azeite de oliva, e a oxidação lipídica deste, aumentou rapidamente nos primeiros dias de estocagem. Os autores concluíram que o extrato da planta *yucca* foi o que se mostrou mais apropriado para acondicionar o azeite, entretanto, a formulação deve ser ajustada de acordo com as características finais dos produtos a serem estocados.

No estudo de Paglione (2018), produziu-se e caracterizou-se filmes biodegradáveis de isolado proteico de soja (IPS) contendo micropartículas de óleo essencial de orégano. Dois tipos de óleo foram estudados, o óleo essencial de orégano livre (OEO) e o óleo essencial de orégano microencapsulado (OEOM). Observou-se que o aumento na concentração de IPS causou o aumento da solubilidade do filme e a elevação do pH elevou a resistência à tração e à flexibilidade e reduziu a solubilidade em água.

A adição de OEO, seja na forma livre ou microencapsulada, proporcionou filmes com diferentes propriedades. O OEO livre proporcionou filmes menos resistentes e mais permeáveis ao vapor de água. Os filmes de IPS com OEOM apresentaram-se mais resistentes, menos flexíveis e permeáveis ao vapor de água.

A autora concluiu que a produção de filmes de isolado proteico de soja com óleos essenciais microencapsulados é uma alternativa interessante, pois proporcionou materiais com melhores propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água, quando comparado com filmes contendo óleo livre, além de possuírem atividade antimicrobiana frente a microrganismos patogênicos de interesse alimentar.

#### 4.6.1.2.6 Zeína

As zeínas, ou prolaminas, são proteínas de reserva compostas por vários polipeptídeos que representam mais de 50% da massa total das proteínas presentes no endosperma do milho (*Zea mays*). Zeínas são consideradas proteínas globulares e constituídas de frações classificadas de acordo com sua massa relativa e solubilidade, como zeínas  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  e  $\delta$ . As zeínas  $\alpha$  são as mais abundantes constituindo aproximadamente 80% de todas as zeínas (BICUDO et al., 2006).

Por serem ricas em resíduos de aminoácidos apolares (leucina, prolina, alanina, glicina, valina e outros), as zeínas  $\alpha$  são altamente hidrofóbicas, portanto insolúveis em água, mas solúveis em meios alcoólicos (FORATO et al., 2004). Por conseguinte, filmes produzidos a partir da diluição de zeínas puras apresentam também caráter hidrofóbico, o que pode ser potencialmente interessante para aplicações como revestimentos ou barreiras à umidade e ao vapor de água.

De um modo geral, filmes à base de zeínas apresentam também uma boa barreira ao transporte de oxigênio, dióxido de carbono e demais compostos voláteis (HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2004). No estudo de Ribeiro et al. (2015), produziu-se filmes biodegradáveis a base de zeína e ácido oléico com adição de nanocarbonato, e observou-se que as propriedades funcionais e estruturais do filme foram afetadas pela adição de nanocarbonato. Uma maior concentração de nanocarbonato permitiu a melhoria nas propriedades mecânicas, tornando o filme mais flexível e elástico, além de mais estável em relação à cor.

Santos e colaboradores (2015) estudaram o efeito da adição de ácido tânico sobre propriedades de filmes de zeína. Utilizou-se a técnica *casting* e glicerol foi utilizado como plastificante. Com relação à permeabilidade ao vapor de água, este parâmetro foi influenciado pelo pH especialmente em concentrações mais baixas de ácido tânico, sendo que, quanto maior o pH, menor a permeabilidade.

A solubilidade também diminuiu notavelmente com o aumento do pH. A resistência à tração foi favorecida em concentrações mais altas de ácido tânico e alto pH. Já a alongação na ruptura foi favorecida em alto pH e baixas concentrações de ácido tânico. Os autores ainda concluíram que a opacidade dos filmes aumentou com o aumento do pH e concentração de ácido tânico.

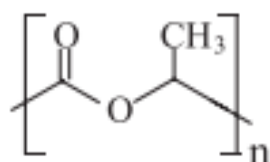
#### 4.6.1.3 Polímeros sintéticos

Há ainda os polímeros biodegradáveis sintéticos e/ou obtidos de recursos não renováveis. Esta classe de polímeros tem sido muito empregada em usos biomédicos e na área de embalagens, e os mais usados são o PLA (ácido polilático), PCL (policaprolactona), PVA (poliacetato de vinila), PBS (succinato de butileno) (FRANCHETTI, 2006). Estes materiais serão discutidos brevemente abaixo.

##### 4.6.1.3.1 PLA (ácido polilático)

O polímero de ácido láctico é um poliéster alifático produzido por síntese química a partir de ácido láctico, com estrutura amorfa ou semicristalina (figura 5). O ácido láctico é obtido pela fermentação bacteriana de matérias-primas à base de carboidratos (como trigo, arroz, milho, etc) e resíduos ou subprodutos derivados da agricultura e indústria alimentícia. Esta classe de polímeros de fontes renováveis é uma das mais promissoras, principalmente devido ao seu processamento ser realizado com a maioria dos equipamentos padrões já existentes nas indústrias de produção de polímeros (GIMENES, 2017).

Figura 5 – Estrutura química do PLA (ácido polilático)



Fonte: FRANCHETTI e MARCONATO, 2010.

Este polímero possui melhor processabilidade térmica em comparação ao PHA (polihidroxialcanoatos) e ao PCL (policaprolactona). Ele pode ser processado por moldagem

por injeção, extrusão de filme, moldagem por sopro, termoformação, fiação de fibras e formação de filme (RASAL et al., 2010). Requer de 25% a 55% menos energia para ser produzido em comparação aos polímeros de petróleo (VINK et al., 2003). O custo energético menor faz a produção do PLA potencialmente mais vantajosa em relação aos custos (RASAL et al., 2010).

Embora apresente interessantes propriedades, o PLA possui certas limitações. Sua resistência à tração e módulo de elasticidade (razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente) são comparáveis ao PET (politereftalato de etileno). No entanto, sua baixa densidade limita seu uso nas aplicações que necessitam de deformação plástica com maiores níveis de resistência (AURAS et al., 2004; RASAL et al., 2010).

O PLA apresenta baixa resistência, sendo muito quebradiço, com menos de 10% de alongamento na ruptura (RASAL e HIRT, 2009). Ainda, sua baixa taxa de cristalização e sensibilidade à umidade tornam necessária sua modificação para atender as expectativas do mercado. Um dos principais métodos para esta modificação é a mistura do PLA com outros polímeros convencionais e/ou biopolímeros, formando blendas poliméricas. Este modo é relativamente barato e prático (BRITO et al., 2012; ARAÚJO et al., 2015).

Neste sentido, o uso de copolímeros com grupos funcionais potencialmente reativos com o PLA tem sido uma opção interessante. São vários os copolímeros que estão sendo utilizados na modificação do PLA através de blendas (ARAÚJO et al., 2015). Em estudo, Souza e colaboradores (2014) analisaram a influência de argilas organofílicas no processo de biodegradação do PLA em condições de compostagem. Preparou-se nanocompósitos de PLA mediante técnica de intercalação do fundido, utilizando um misturador de alto cisalhamento.

Após o processamento, os materiais foram prensados a 210 °C e, em seguida, resfriados também sob compressão. A influência das argilas no processo de biodegradação do PLA foi avaliada com base no método de respirometria. Foi verificado que a biodegradação ocorreu de forma mais lenta, quando comparada aos outros materiais, o que pode estar relacionado a um efeito antimicrobiano da argila (SOUZA et al., 2014).

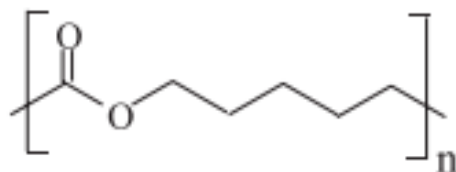
Zhang e colaboradores (2011) analisaram a influência do EGA (terpolímero de etileno/ acrilato de metila/ metacrilato de glicidila) na tenacidade e na cristalização do PLA a partir da produção de blendas de PLA com diferentes teores do terpolímero. O PLA possui grupos terminais carboxilas e hidroxilas, fazendo do GMA uma alternativa potencial para a formação de blendas.

Os resultados do estudo indicaram um aumento nas propriedades mecânicas de alongamento até a ruptura e resistência ao impacto, além do aumento da taxa cristalização, com a incorporação do EGA, especialmente para o teor de 20% em massa do terpolímero (Zhang et al., 2011). Ainda, a literatura destaca que a incorporação de fibras vegetais ou sintéticas podem melhorar as propriedades do PLA (SHIH et al., 2010; PITT et al., 2011).

#### 4.6.1.3.2 PCL (policaprolactona)

O PCL é um poliéster alifático e sintético, de fonte fóssil, hidrofóbico e semicristalino, com propriedades semelhantes a polímeros à base de petróleo (figura 6) (BALZER, 2009; CAMPOS et al., 2010). É termoplástico, tenaz e flexível, completamente biodegradável (via enzimática) e solúvel em vários tipos de solventes (ROA et al., 2010; ROSA et al., 2010). Apresenta capacidade de sofrer quebras hidrolíticas ou enzimática ao longo de sua cadeia, resultando em baixos valores de massa molar (GIMENES, 2017).

Figura 6 – Estrutura química do PCL (policaprolactona)



Fonte: FRANCHETTI e MARCONATO, 2010.

Normalmente não é empregado para embalar produtos alimentícios, mas quando misturado com amido, produz um material bastante biodegradável, que é usado principalmente para sacos de lixo (PAWAR e PURWAR, 2013). Devido à sua biocompatibilidade, capacidade de formar blendas e copolímeros compatíveis com uma vasta gama de outros polímeros, o PCL tem sido utilizado para melhorar as propriedades mecânicas, processabilidade e permeabilidade dos materiais (BALZER, 2009; CAMPOS et al., 2010).

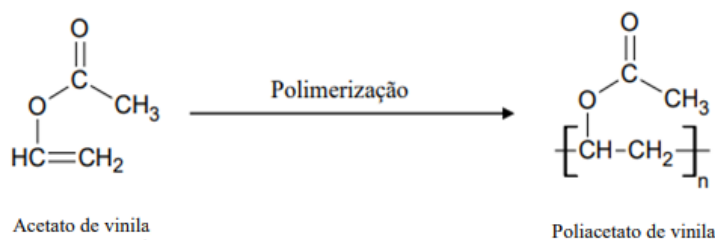
Em estudo da biodegradabilidade de copolímeros contendo PCL, PLA e PHB, Lemos e colaboradores (2014) desenvolveram blendas através do método de extrusão e posterior prensagem em forma de filmes. Os autores ressaltaram que na escolha do polímero que irá formar a blenda com o PCL, deve-se levar em conta se a velocidade de degradação total ou

parcial a qual é desejada. Todas as amostras decompuseram completamente após os 105 dias do ensaio.

#### 4.6.1.3.3 PVA (poliacetato de vinila)

A principal matéria-prima utilizada na fabricação de álcool polivinílico é o monômero acetato de vinila e é produzido pela polimerização do acetato de vinila seguido por uma hidrólise parcial. O processo de hidrólise é baseado na substituição parcial do grupo éster de acetato de vinila pelo grupo hidroxila, e é concluído na presença de hidróxido de sódio aquoso. Após a adição gradual do agente aquosa de saponificação, o álcool polivinílico é precipitado, lavado e seco (SOUZA, 2010). A figura 7 mostra o processo de polimerização do acetato de vinila em poliacetato de vinila.

Figura 7: Processo de polimerização do acetato de vinila em poliacetato de vinila.



Fonte: BIAZZON, 2016.

É um polímero não tóxico, com excelentes propriedades de formação de filme, emulsificação e propriedade adesiva, bem como resistência à tração e flexibilidade (YUAN et al., 2015). O PVA é totalmente biodegradável sob condições aeróbicas ou anaeróbicas e é empregado em diversas aplicações nas indústrias alimentícia e médica (MAJID, 2018). Todavia, a grande desvantagem do PVA é a alteração da propriedade mecânica induzida pela umidade que limita bastante sua aplicação (JAYAKUMAR et al, 2019).

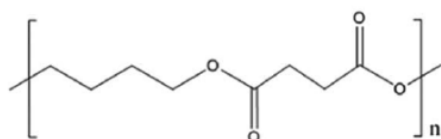
Cano e colaboradores (2015) avaliaram as propriedades físicas e microestruturais de filmes biodegradáveis à base de amido de ervilha e PVA. Os filmes foram preparados pelo método *casting* e glicerol foi utilizado como plastificante. Os autores concluíram que a incorporação de PVA nos filmes à base de ervilha melhorou as propriedades mecânicas e de barreira desses filmes. Ainda, a mistura de PVA e amido levaram à filmes que eram menos solúveis e não tão sensíveis à absorção de água, se apresentando mais elástico e resistente que

os filmes apenas de amido. Os autores acreditam que estes filmes são promissores e podem ser usados para prevenir reações oxidativas em embalagens de alimentos.

#### 4.6.1.3.4 PBS (succinato de butileno)

O PBS - poli (succinato de butileno) - e os seus outros copolímeros são derivados das reações de condensação de glicóis, como o etilenoglicol e o 1,4-butanodiol, com os ácidos dicarboxílicos alifáticos, como o ácido succínico e adípico (MAJID, 2018). A figura 8 mostra a estrutura química do PBS.

Figura 8: Estrutura química do PBS.



Fonte: LIU et al., 2015.

Além do PBS, diversos polímeros foram sintetizados a partir dessas reações de condensação, como succinato de polietileno (PES) e co-adipato de PBS (PBSA). PBSA, um copolímero, é obtido quando o ácido adípico é adicionado. PBS, um termoplástico cristalino branco, mostra uma processabilidade melhor que a do PGA e PLA (MAJID, 2018). Apresenta boas propriedades mecânicas, natureza semicristalina, boa estabilidade térmica e baixa temperatura de fusão (YOO, 1999; MUTHURAJ et al., 2014). Pode ser degradado no aterro ou no mar pela facilitação de bactérias e fungos (LIU et al., 2012). Pode ser processado como outros plásticos comuns (derivados de petróleo) por diversas técnicas como moldagem por sopro, moldagem por injeção e termoformagem. Além disso, o PBS possui algumas propriedades físicas e mecânicas comparáveis às do polietileno (PE) e polipropileno (PP) (LIU et al., 2012; PANDEY et al., 2005).

Frollini e colaboradores (2015) estudaram embalagens à base de poli (succinato de butileno) e da planta curaua e verificaram suas propriedades mecânicas e morfológicas. Elas foram preparadas através de moldagem por pressão térmica. As fibras de curaua têm um teor elevado de celulose que confere cristalinidade e boas propriedades mecânicas e são

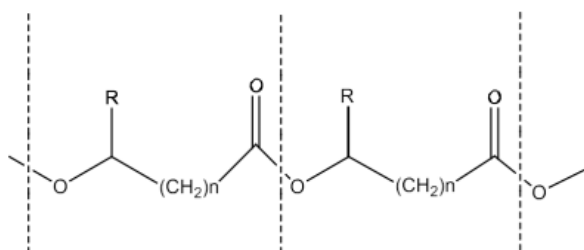
termicamente estáveis até 250°C. A temperatura de fusão do PBS (em torno de 115°C) permitiu o uso de uma temperatura máxima de processamento durante a moldagem. Os autores ainda observaram que a maior capacidade de absorção de água devido às fibras lignocelulósicas da planta pode ser benéfica ou desvantajosa, dependendo da aplicação do material final. As embalagens testadas com as melhores propriedades mecânicas (mistura de PBS com caraua) que os do polímero puro de PBS preparados no trabalho, podem ter diversas aplicações, como por exemplo, serem usadas como embalagens rígidas.

Existem, ainda, os polímeros microbianos. Esta classe inclui os polímeros que são sintetizados a partir da fermentação microbiana de polissacarídeos. É um campo bastante recente e inovador que tem imenso potencial na indústria. Esta categoria inclui tipicamente os polímeros, tais como PHA e PHB (polihidroxibutirato) que são discutidos abaixo.

#### 4.6.1.3.5 PHA (polihidroxicanoatos)

Os poli(hidroxicanoatos), conhecidos como PHAs, são poliésteres alifáticos considerados biopolímeros. Segundo Franchetti e Marconato (2006), a família de biopolímeros PHA possui uma grande variação em suas propriedades, isto é, podem ser materiais rígidos e quebradiços até mesmo plásticos com boas propriedades de impacto ou até elastômeros resistentes. Existem mais de 100 tipos diferentes de polihidroxicanoatos (PHA) cuja variação depende ou da estrutura da cadeia lateral ou do número de átomos de carbono entre as duas ligações éster (STEINBÜCHEL e VALENTIN, 2006). A figura 9 mostra a fórmula química geral dos polihidroxicanoatos.

Figura 9: Fórmula química geral dos polihidroxicanoatos.



Fonte: PIMENTEL, 2015.

Os polidroxialcanoatos (PHA) são sintetizados por inúmeras bactérias, como um material de reserva energética, geralmente quando um nutriente essencial, tal como, nitrogênio,

fósforo, enxofre ou oxigênio, é limitado, na presença de excesso de fonte de carbono. Entre as bactérias utilizadas para síntese de PHA estão *Ralstonia eutropha*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Allochromatium vinosum* e *Bacillus megaterium* (REHM, 2003).

Os PHA são considerados fortes candidatos a material plástico biodegradável porque possuem propriedades similares a vários plásticos convencionais correntemente em uso (do polipropileno a borrachas sintéticas) e são completamente degradados a dióxido de carbono e água, quando descartados no meio ambiente (FONSECA, 2003). Em contrapartida, Modi (2010) apresenta algumas características como fragilidade, instabilidade térmica e baixa resistência ao impacto, restringindo sua aplicação nas embalagens de alimentos.

Tão importante quanto à biodegradabilidade dos PHA, é o fato de que sua produção ocorre a partir de fontes de carbono renováveis. Alguns processos fermentativos, para a produção de PHA, utilizam produtos agrícolas, tais como, açúcares e ácidos graxos, como fontes de carbono e energia. Estes produtos são derivados do CO<sub>2</sub> e água e, após sua conversão em PHA, são novamente convertidos em CO<sub>2</sub> e água, fechando completamente o ciclo do carbono (FONSECA, 2013). Estes polímeros são degradados eficientemente por micro-organismos de solo que são capazes de secretar polihidroxibutirato despolimerases, enzimas que hidrolisam as ligações éster do polímero tornando-os monômeros ou oligômeros solúveis em água (CHANPRATEEP, 2010).

Pimentel (2015) produziu filmes obtidos a partir de ésteres graxos epoxidados e polihidroxialcanoatos. Os filmes foram elaborados a partir de amido, gelatina e ésteres metílicos epoxidados de macaúba (*Acrocomia acuelata*), milho (*Zea Mays*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e soja (*Glycine max*) e também de filmes multicamada de polihidroxialcanoatos (PHA). O PHA foi extraído a partir de cultivos com a bactéria *Burkholderia sacchar* (extraída do solo de canavial brasileiro) e os filmes foram produzidos com a técnica *casting*. Todas as amostras de ambas formulações se apresentaram uniformes, com ausência de bolhas e fissuras. Filmes a base de gelatina e amido plastificados com ésteres epoxidados se mostraram mais resistentes do que a amostra padrão, sem plastificante.

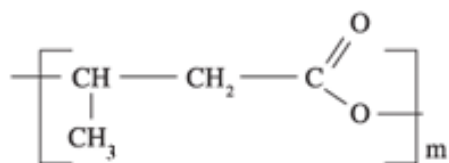
Os filmes de ésteres epoxidados acrescidos de PHA não apresentaram diferença significativa nas análises de espessura e opacidade. Com relação à solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água e resistência à tração, houve um aumento significativo de todos estes parâmetros se comparado à amostra padrão, no caso a amostra de PHA puro.

Nas amostras de filmes multicamadas de ésteres/PHA observou-se superfície plana e homogênea e com ausência de fissuras, reforçando a possibilidade de miscibilidade dos materiais presentes nos filmes. A autora ainda faz uma observação com relação à coloração dos filmes, que se apresentaram opacos, podendo influenciar na aceitação tanto para fins comestíveis como não comestíveis, no caso, embalagens de uso geral.

#### 4.6.1.3.6 PHB (polihidroxibutirato)

O PHB é um poliéster de origem microbiana, sintetizado por fermentação submersa através de diversas bactérias (como *Alcaligenes eutrophus* e *Rhodospirillum rubrum*) (figura 10) (ROA et al., 2010). Geralmente, o PHB é um termoplástico duro, altamente cristalino, obtido de fontes renováveis. É um material quebradiço, escoia facilmente durante o processamento, não é solúvel em água e é pouco permeável a O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>.

Figura 10: Estrutura química do PHB (polihidroxibutirato)



Fonte: ROA et al., 2010.

O PHB apresenta propriedades físico-químicas semelhantes ao polipropileno (PP), podendo assim servir como substituto potencial a esse polímero derivado do petróleo (CARDOSO, 2017). No entanto, a exploração comercial desse polímero tem sido dificultada devido a fatores como a alta cristalinidade, dificuldades de processamento, alto custo de produção e purificação, principalmente devido aos substratos utilizados (ROA et al., 2010; CARDOSO, 2017). Outra desvantagem do PHB se dá devido à baixa estabilidade térmica que apresenta: acima de 170 °C ocorre diminuição na massa molecular (ROA et al., 2010; MACHADO et al., 2010). A utilização de fibras naturais tem sido pesquisada visando melhorar as propriedades e reduzir o custo do PHB.

Vários tipos de resíduos da indústria agroalimentar podem ser usados como fonte de carbono para sintetizar esses polímeros, como por exemplo a cana-de-açúcar (CARDOSO, 2017). Na maioria das vezes, utiliza-se açúcares como substratos, o que chega a representar

30% do preço final do produto. Assim, Cardoso (2017) propôs a produção do PHB utilizando bactérias metilotróficas, isoladas de ambiente estuarino, e capazes de consumir metanol, obtendo resultados positivos no experimento. Os melhores resultados foram obtidos por *M. extoquens*, sem ajuste de condições físico-químicas.

Em estudo, Machado e colaboradores (2010) incorporaram pó de madeira em mistura com PHB. Os autores analisaram as propriedades mecânicas, térmicas e reológicas do PHB e de compósitos de PHB/pó de madeira. Os materiais foram processados através das seguintes etapas de processamento: calandragem, fragmentação, extrusão, granulação, secagem e moldagem por injeção. Os autores concluíram que o processamento do material com 30% de pó de madeira melhorou muito em relação ao processamento do PHB puro. A viscosidade desse compósito aumentou, tornando sua injeção mais fácil (MACHADO et al., 2010).

As temperaturas empregadas na injeção foram mais baixas e a temperatura de cristalização do mesmo foi mais alta, fatores que contribuíram tanto para a redução do ciclo de processamento como para redução da degradação térmica do material. Ainda, o compósito com 30% de pó de madeira apresentou, em relação ao PHB puro, maior rigidez e pequena redução da resistência à tração, demonstrando também aumento dos valores do grau de cristalinidade, temperatura de transição vítrea e temperatura de cristalização (MACHADO et al., 2010).

#### **4.7. Plastificantes**

De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), plastificantes são substâncias incorporadas a plásticos com a finalidade de aumentar sua flexibilidade, processabilidade ou capacidade de alongamento. São substâncias que, quando adicionadas a outro material, provocam mudanças nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (MCHUGH; KROCHTA, 1994).

Os plastificantes são compostos orgânicos de baixo peso molecular que são utilizados para reduzirem as forças de ligação entre moléculas, conferindo alta mobilidade molecular e flexibilidade ao filme (MCHUGH; KROCHTA, 1994; LAWTON, 2004). A organização molecular tridimensional dos polímeros se altera, reduzindo a energia necessária para o movimento molecular e a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias. Como consequência, um aumento no volume livre, portanto, na mobilidade molecular, é observada (WYPYCH, 2004).

Os plastificantes mais comumente usados em filmes biodegradáveis são glicerol (MALI et al., 2006), polietilenoglicol (PARRA et al., 2006) e outros polióis como sorbitol, manitol, sacarose, glicose e frutose (HAYASHI et al., 2006). Estes aditivos são essenciais na produção destes filmes, pois podem melhorar a sua flexibilidade e manuseio, manter a integridade e evitar poros e rachaduras na matriz polimérica (GARCIA et al., 2000).

A incompatibilidade é comumente evidenciada pela separação de fases entre o biopolímero e o plastificante, apresentada sob a forma de gotas na superfície do produto imediatamente após a sua mistura ou durante o processo final de aplicação do mesmo (WILSON, 1995). Ressalta-se que o excesso de plastificantes pode resultar na redução das propriedades mecânicas dos filmes (COUPLAND et al., 2000; MALI et al., 2006).

Os plastificantes para biopolímeros podem ser divididos em solúvel e insolúvel em água (SIEPMANN et al., 1998). Plastificantes hidrofílicos se dissolvem no meio aquoso quando são adicionados a dispersões de polímeros e, se adicionados em alta concentração, podem levar a um aumento na difusão da água. Por outro lado, plastificantes hidrofóbicos podem fechar os micro espaços no filme, levando a uma diminuição na absorção de água. Contudo, plastificantes insolúveis em água podem causar separação de fases levando a perdas de flexibilidade ou ainda à formação de zonas de descontinuidade durante a secagem do filme. Como consequência, as taxas de permeabilidade ao vapor de água aumentam (BODMEIER e PAERATAKUL, 1997).

O glicerol é um plastificante hidrofílico bastante empregado e quando interage, por exemplo, com as cadeias de amido, aumenta a sua mobilidade molecular e, conseqüentemente, aumentam sua característica hidrofílica e a flexibilidade dos filmes plastificados (MALI et al., 2004). É largamente empregado na indústria de cosméticos, alimentos, farmacêutica, papel e celulose. É um tri-álcool com três carbonos, tendo como nome sistemático (IUPAC) 1,2,3-propanotriol, sendo um líquido incolor, com gosto adocicado, sem cheiro e muito viscoso, derivado de fontes naturais ou petroquímica. Comercialmente, é chamado de glicerina (BEATRIZ, 2011). Formado por 3 hidroxilas que são responsáveis pela solubilização em água (RAHMAT, ABDULLAH, MOHAMED, 2010).

O plastificante sorbitol é um álcool de açúcar, é composto por seis grupos hidroxilas o que o torna capaz de fazer a interação com ligações de hidrogênio (BANEGAS, 2008). O sorbitol pode ser obtido através da redução da D-glicose e tem como principais características o fato de ser capaz de produzir soluções viscosas e de grande aplicabilidade, principalmente na indústria de alimentos, farmacêutica e estética, também tem funções de plastificante como melhorador de processabilidade e promove o aumento da flexibilidade (VASQUES, 2007). A

adição, na concentração correta, de plastificantes como o sorbitol e glicerol usado por exemplo, em amido, promove alterações significativas em suas propriedades ampliando a sua faixa de aplicações (BANEGAS, 2008).

A sacarose, um dissacarídeo formado pelos monossacarídeos glicose e frutose, também tem sido relatada como plastificante em filmes (TEIXEIRA et al., 2007). É um material comestível, biodegradável e de baixo custo. Em estudo com filmes de amido de mandioca com adição de sacarose, estes apresentaram um maior alongamento, e ainda, maior absorção de água (VEIGA-SANTOS et al., 2007). Devido ao maior número de -OH na molécula, a sacarose é mais hidrofílica e tem poder plastificante maior (TEIXEIRA et al., 2007). Ainda, acrescenta-se que a mistura de diferentes plastificantes na matriz polimérica auxilia na melhora das características dos filmes.

#### **4.8 Potencialidades e desafios para produção de embalagens biodegradáveis**

Alguns autores afirmam que as características positivas de uma embalagem biodegradável surgem desde sua fabricação, já que utiliza substância atóxica em sua composição, apresenta alta biodegradabilidade, podem atuar como fertilizante ao se decompor e ainda auxiliam na redução de resíduos sólidos (MOHANTY, 2002; CARR, 2007; THARANATHAN, 2013).

Os plásticos provenientes de fontes renováveis são uma alternativa em relação à fonte fóssil (MOHANTY, 2002; CARR, 2007; BRITO et al., 2011; MAJID, 2018) no entanto, quando estes forem de origem vegetal, em produção de larga escala, poderá acarretar no aumento do desflorestamento para plantio, com conseqüente aumento da emissão de CO<sub>2</sub> (MULHAUPT, 2013; VAN DEN OEVER et al., 2017). Ainda, há uma discussão a respeito da terra arável (terra para plantação da matéria-prima) para produção dos biodegradáveis. Como exemplo, para 1 kg de bioplástico, utiliza-se de 1 a 2 kg de milho e 5 a 10 kg de batata, o que significa que 500.000 toneladas de bioplástico por ano requerem 50.000 a 100.000 hectares de solo (IVANKOVIC et al., 2017). Portanto, esta é uma questão que pode, futuramente, limitar a produção destas embalagens.

Com relação ao descarte destas embalagens, existem algumas condições limitantes. Há uma falta de clareza com relação ao conceito de biodegradabilidade, fazendo com que as pessoas pensem, erroneamente, que pode-se descartar estas embalagens em qualquer lugar, e

que as mesmas vão desaparecer do meio ambiente de qualquer maneira (ITAL, 2006; MULHAUPT, 2013). O termo “biodegradável” não constitui uma permissão para o descarte impróprio, tanto em terra como no mar. Em vez disso, a questão precisa ser tratada por educadores e medidas informativas para aumentar a conscientização sobre formas de gestão adequadas e controladas de eliminação deste material (VAN DEN OEVER et al., 2017).

Com relação ao local de descarte, especificidades como umidade, pH e temperatura do ambiente afetam diretamente a eficácia do processo. Portanto, outra barreira para a difusão dos bioplásticos é a conscientização do consumidor com relação à essas necessidades e também a disponibilidade destes ambientes para que a degradação ocorra (MOHANTY et al., 2002; FAO, 2016; PHYS, 2017). A emissão de gases do efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono, é significativa em aterros sanitários. Isso pode ser controlado projetando-se estas embalagens para que eles possam se desintegrar e quebrar lentamente ou acumulando o metano liberado e usá-lo em outro lugar como combustível.

Acrescenta-se que a relação entre alimentos e embalagens biodegradáveis se torna dupla quando estes dois podem competir pela mesma matéria-prima, podendo causar tanto aumento dos preços dos alimentos como falta destes para uso na alimentação (SHEN et al., 2009; COLWILL et al., 2012; FAO, 2016; VAN DEN OEVER et al., 2017), sendo este um fator limitante para sua produção em maior escala futuramente.

Ainda, diversas fontes concordam que a principal limitação dos materiais de embalagem de base biológica é o seu comportamento hidrofílico (que tem afinidade pela água), porque muitos produtos exigem condições livres de umidade (MOHANTY et al., 2002; SHIMAZU e GROSSMANN, 2007 e MAJID, 2018).

Outra importante limitação é suas pobres propriedades mecânicas. Estes materiais estão sendo utilizados para embalar produtos que têm curta vida útil, exigindo baixas propriedades de barreira, e acabam sendo uma boa escolha no caso de produtos que requerem alta transmissão de água. Inúmeros estudos estão sendo realizados para melhorar as propriedades de barreira à água bem como outras deficiências dos materiais de base biológica, e as pesquisas mais atuais sugerem usar técnicas nanotecnológicas (nanopartículas, nanodispersões e nanotubos), ou biotecnológicas, como por exemplo, a fermentação.

Por fim, os bioplásticos são uma tecnologia nova e exigem ainda mais incentivo, pesquisa e desenvolvimento para serem averiguados. As embalagens biodegradáveis são de 2 a 5 vezes mais caras que as embalagens plásticas convencionais (BASTOS, 2014; ARIKAN, 2016; BBC, 2018). Diversos autores (SERAFIM, LEMOS, REIS, 2003; CHANGWICHAN,

2018) afirmam que um dos fatores que fazem com que elas tenham um custo maior é o uso de certas matérias-primas (como culturas microbianas e aditivos) adicionados na formulação, e ainda, os custos para implementar uma indústria deste tipo. Esta informação também foi confirmada pelas empresas 6 e 10, que estão presentes neste trabalho, informações presentes no item 4.9 deste.

À medida que mais empresas e marcas migrarem para os bioplásticos e que as capacidades de produção e de fornecimento aumentarem, os preços deverão reduzir (FECHINE, 2013; EUROPEAN-BIOPLASTICS, 2016; VAN DEN OEVER et al., 2017; CHANGWICHAN, 2018).

#### 4.9 Empresas brasileiras produtoras de embalagens biodegradáveis

Os produtos de embalagem biodegradável estão cada vez mais presentes em uma ampla variedade de indústrias, como a de alimentos, bebidas, produtos farmacêuticos e cuidados pessoais / domésticos, devido ao baixo impacto ambiental e à crescente demanda por soluções sustentáveis. De acordo com um grupo de pesquisa do setor de biodegradáveis, o mercado mundial deste tipo de embalagem foi avaliado em 81,01 bilhões de dólares em 2017 e deve atingir um valor de 113,55 bilhões até 2023 com uma taxa de crescimento anual de 5,9% no período previsto (2018 – 2023) (BIO-BASED, 2019). Em comparação, o mercado mundial de embalagens de plástico rígido valia 166 bilhões de dólares em 2017 e deve subir para 200 bilhões em 2022.

Usando a ferramenta *Google shopping* com o descritor “embalagem biodegradável”, encontrou-se diversas marcas produtoras deste tipo de embalagem no Brasil. No quadro abaixo, se encontram algumas informações obtidas no site ou por troca de e-mail eletrônico sobre as empresas, bem como sobre os produtos produzidos pelas mesmas.

Quadro 2: Empresas produtoras de embalagens biodegradáveis no Brasil.

<b>Empresas</b>	<b>Tipos de produtos</b>	<b>Matéria prima utilizada</b>	<b>Valores</b>
Empresa 1	Bandejas e copos	Amido de mandioca	R\$ 0,20 a 0,35 (por unidade)

Empresa 2	Copos, potes, baldes e canudos	NO	R\$ 123,90 a 577,50 (grandes quantidades)
Empresa 3	Sacos para acondicionamento	Amido de polpa de madeira	NO
Empresa 4	Copos, potes e baldes	Madeira	NO
Empresa 5	Copos, talheres bandejas, <i>bowls</i> , pratos e canudos	Amido de milho	R\$ 12,50 a 300,00 (pacotes com maiores quantidades)
Empresa 6	Cápsulas de café	Soja, milho	Custo 4 vezes mais elevado que as cápsulas tradicionais
Empresa 7	Bandejas para frutas e verduras	Bagaço da cana de açúcar; Fibras de coco, de curauá, sisal, juta; Cascas de café e de arroz	NO
Empresa 8	Bandejas e estojos para ovos, maçã e melão	Fibras de aparas de jornal	NO
Empresa 9	Bandejas, pratos, talheres, potes e tampas	Bagaço de cana	NO
Empresa 10	Embalagem para transporte de garrafas e bandejas	Pseudocaule da bananeira (resíduo); Resíduos urbanos como jornais, revistas e outros papéis	De R\$ 0,15 a 0,50 centavos a unidade
Empresa 11	Panos de cera para envolver ou tapar alimentos	Tecido 100% algodão e uma mistura de cera de abelha, resina e óleo vegetais	De R\$ 15,00 a 25,00 reais
Empresa 12	Panos de cera para envolver ou tapar alimentos	Tecido de algodão 100%, impermeabilizado com cera de abelha, resina natural e óleo vegetal	De R\$ 12,75 a 23,37 reais

Empresa 13	Bowl, copo e colheres comestíveis para <i>fingerfood</i>	Fécua de mandioca + água + fibras naturais	De R\$ 20,00 a 380,00 reais (grandes quantidades)
Empresa 14	Copos e baldes de pipoca	NO	NO
Empresa 15	Hamburgueira, talheres, canudos e bandejas	NO	NO

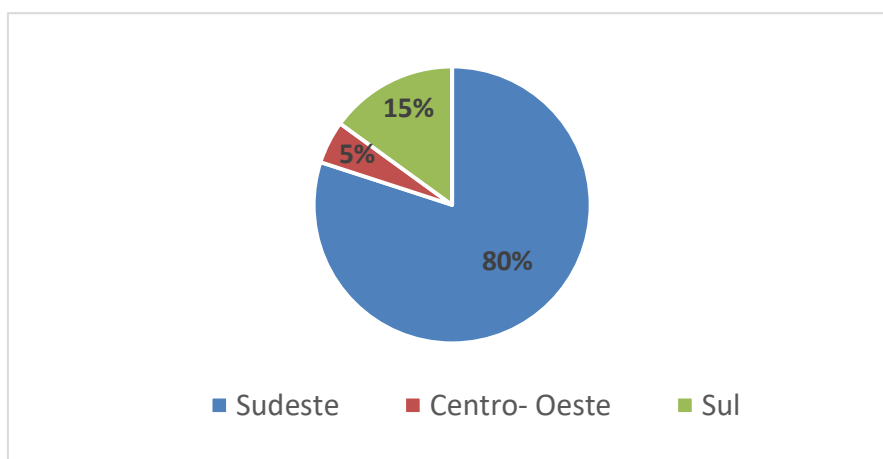
Legenda: NO (Não obtido).

Fonte: O autor.

A partir da busca feita com a ferramenta Google Shopping, encontrou-se 15 empresas no Brasil que se encaixavam nos parâmetros de pesquisa de embalagem biodegradável. Ainda, outras duas empresas foram encontradas, mas estas não foram adicionadas ao trabalho, visto que as mesmas fabricam produtos que são oxi-biodegradáveis. As embalagens oxi-biodegradáveis se encaixam em um outro tipo de material e conceito, estes não sendo discutidos neste trabalho. Optou-se, então, por deixar estas duas marcas fora da lista de empresas.

Com relação à localidade onde as empresas mencionadas se encontram, as mesmas estão distribuídas em diferentes regiões do Brasil. A Figura 11 mostra a divisão de regiões bem como a porcentagem de empresas que se encontram em cada uma destas.

Figura 11: Regiões das empresas produtoras de embalagens biodegradáveis no Brasil.



Fonte: O autor.

Em sua maioria, as empresas se encontram na região Sudeste, nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, totalizando 80% das empresas encontradas no trabalho. Na região Sul, encontram-se 15% das empresas, na cidade de Porto Alegre e no Estado de Santa Catarina. Por último, a região centro-oeste conta com 5 % das empresas, na cidade de Goiânia.

As empresas citadas acima fornecem suas embalagens para acondicionar diferentes tipos de alimentos. Entre estes tipos de alimentos estão: café (líquido ou em pó), chá, água, sucos, refrigerantes, bebidas alcoólicas, sobremesas (como sorvete ou açaí), sopas e cremes (quentes e frias), petiscos, canapés, comida oriental, ovos, frutas e verduras diversas, arroz, açúcar, feijão, sal, grãos em geral, pipoca (já pronta ou apenas o grão), pão de forma, hambúrguer, batata frita, frango frito, proteína em pó, alimentos crus (como cogumelos), especiarias e temperos (como pimenta), nozes, farinhas, biscoitos, salgadinhos, chocolates e outros tipos de doce.

A empresa 13 relata que suas embalagens são adequadas para alimentos frios e de consumo imediato e que os copos não são adequados para café e chá, e que, em geral, as embalagens não suportam alimentos muito líquidos e quentes. A partir disso, a empresa sugere que os clientes façam alguns testes com as mesmas.

As empresas aqui mencionadas devem seguir obrigatoriamente a RDC 91/2001 (critérios gerais e classificação de materiais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos) a qual é regulamentada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), esta já tendo sido citada anteriormente neste trabalho.

Ainda com relação à legislação, existe no Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é uma entidade privada e responsável, entre outras coisas, por fazer os testes de embalagens. A mesma elaborou e publicou a norma técnica “Embalagens Plásticas Degradáveis e/ou Renováveis”, com o objetivo de estabelecer um padrão para a certificação para embalagens plásticas biodegradáveis. Esta norma divide-se em duas partes: NBR (Normas Brasileiras) 15448-1(Terminologia) - que define os termos técnicos referentes a embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis - e NBR 15448-2 (Biodegradação e Compostagem), que determina quais os requisitos mínimos para comprovação de que um produto seja efetivamente biodegradável.

Além disso, no Brasil as normas são de uso voluntário, isto é, não são obrigatórias por lei, e então é possível fornecer um produto ou serviço que não siga a norma aplicável no mercado determinado. À nível internacional existem as normas EN 13432 e EN 14995, que definem as especificações técnicas para compostabilidade de bioplásticos. Existe ainda a norma

ASTM D6400 que especifica o padrão para rotulagem de plásticos para compostagem aeróbica em instalações municipais ou industriais. Todas estas normas também são de uso voluntário (EUROPEAN-BIOPLASTICS, 2016; ASTM, 2019). Por outro lado, fornece um produto que não siga a norma aplicável no mercado-alvo implica esforços adicionais para introduzi-lo nesse mercado, que incluem a necessidade de demonstrar de forma convincente que o produto atende às necessidades do cliente e de assegurar que questões como intercambialidade de componentes e insumos não representarão um impedimento ou dificuldade adicional. Do ponto de vista legal, em muitos mercados, quando não é seguida a norma aplicável, o fornecedor tem responsabilidades adicionais sobre o uso do produto.

Com relação aos laudos que as empresas possuem, informações foram cedidas por 12 das 15 empresas. Entre estes laudos estão: laudo de biodegradação, compostagem, estudo do ciclo do carbono, laudo de conformidade com normas ABNT-NBR, testes do FDA norte-americano para uso em produtos alimentícios, Norma Europeia EN13432 (garantia de material compostável e feito a partir de fontes renováveis), Rótulo Ecológico (certificação ABNT) e EN13432 (Padrão Europeu- Ensaio de biodegradação). As empresas 11 e 12 informaram que não possuem laudos. Estas, comercializam panos de cera, sendo este um produto que se difere um pouco dos outros comercializados pelas outras empresas aqui mencionadas. Todavia, estas duas empresas ainda se encaixam no conceito de biodegradabilidade, por essa razão constam no trabalho.

Por último, faz-se uma observação em relação à empresa 6, que comercializa cápsulas de café. Analisando o site da marca bem como os produtos vendidos, verificou-se que as cápsulas de café, além de terem uma embalagem primária (a própria cápsula), ainda possuem uma embalagem secundária (para acondicionamento da cápsula) e outra terciária (para acondicionamento das 2 já mencionadas). Visto que as empresas mencionadas neste trabalho produzem embalagens com intuito ambiental, questiona-se a real necessidade de comercializar junto com as cápsulas estas outras embalagens, já que desta forma, há uma maior geração de lixo.

## 5. CONCLUSÃO

As embalagens biodegradáveis vêm sendo estudadas há um certo tempo devido à poluição plástica, um problema imenso e extremamente atual. Inúmeros estudos vêm sendo feitos e uma grande quantidade de diferentes materiais podem ser utilizados para fabricação destas embalagens. No Brasil, o número de empresas produtoras de embalagens biodegradáveis vem crescendo, e ainda que as mesmas sejam vistas como uma possibilidade para o problema atual da poluição plástica, as opiniões a respeito deste assunto são divididas.

Estas embalagens apresentam características positivas como serem elaboradas a partir de matéria-prima renovável, tempo de degradação de no máximo 18 meses, utilização de substâncias atóxicas em sua composição, atuarem como fertilizante ao se decompor e poder auxiliar na redução dos resíduos sólidos. Por outro lado, diversos estudos, apresentados neste trabalho, mostram que as propriedades físicas e de barreira ainda são deficientes para substituir os plásticos sintéticos na área de alimentos. Ainda, os autores apontam que o nível de conscientização da população em relação a questões ambientais ainda é pequeno, somado à uma falta de clareza em relação ao conceito de biodegradabilidade, o que pode levar o consumidor a fazer o descarte da embalagem em lugares inadequados fazendo com que o processo de biodegradação seja prejudicado. Estas embalagens ainda apresentam um valor mais elevado em comparação aos plásticos, e ainda, futuramente, pode-se enfrentar problemas como o aumento do desflorestamento para plantio das matérias-primas, o que pode ocasionar um aumento das emissões de CO<sub>2</sub>.

Por fim, a partir do conteúdo aqui apresentado observa-se que as embalagens biodegradáveis têm potencial para substituir as embalagens plásticas visando diminuir o impacto ambiental, todavia, há que se ultrapassar inúmeras barreiras relacionadas à diversos fatores aqui apresentados. Estas embalagens, sozinhas, não são solução para este problema imenso que é a poluição plástica. O sucesso destas embalagens com intuito ambiental não depende apenas de um único setor da sociedade, mas sim de uma união interdisciplinar de todos os agentes participantes desta cadeia. Ciência, política, indústria, comércio e público em geral precisam trabalhar juntos. Este esforço conjunto é necessário para melhorar as intervenções atuais e criar soluções poderosas, imediatas e globais para limitar a quantidade de plástico no meio ambiente, bem como a inserção de maneira eficaz das embalagens biodegradáveis no mercado.

## 6. REFERÊNCIAS

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. Brazilian Plastic Processed and Recycling Industry - Profile. 2017. Disponível em: < <http://file.abiplast.org.br/file/download/2018/Perfil-2017.pdf> >. Acesso em: 15 mar. 2019.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 13230:2008 Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. 2008. Disponível em : < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=28397> >. Acesso em: 21. Jun. 2018.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15792:2010. Embalagem — Índice de reciclagem — Definições e método de cálculo. 2010. Disponível em : < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=57618> > Acesso em: 20. Jun. 2018.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2017. Disponível em < [http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf) >. Acesso em: 8 mai. 2019.

AIDER, Mohammed. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. **LWT-food science and technology**, v. 43, n. 6, p. 837-842, 2010.

ALMEIDA, K.E.; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. *Ciências Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 2, p. 187-192, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM Standard D833. “Standard Terminology Relating to Plastics.” ASTM International. ASTM D833. West Conshohocken, PA, 2008.

ANDERSON, TJ and Lamsa BP. Zein extraction from corn, corn products, and coproducts and modifications for various applications: a review. *Cereal Chem*; 88: 159–173, 2011.

ANDRADE, R.L.P.; MARTINS, J.F.P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, v.22, n.3, p. 249-253, 2002.

ARANCIBIA, M.Y., López-Caballero, M.E., Gómez-Guillén, M.C., Montero, P. Release of volatile compounds and biodegradability of active soy protein lignin blend films with added citronella essential oil. *Food Control* 44, 7–15, 2014.

ARAÚJO, Jeane Paulino; AGRAWAL, P. A.; MÉLO, Tomás Jeferson Alves. Blendas PLA/PEgAA: Avaliação da reatividade entre os polímeros e da concentração de PEgAA nas propriedades e na morfologia. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 3, p. 118-127, 2015.

ARAÚJO, M. C. B.; SILVA-CAVALCANTI, J. S. Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 74-81, Jan/maio. 2016.

ASCHERI, D. P. R.; SOUSA, A. M. G.; CARVALHO, C. W. P. Curvas de secado y de isothermas de adsorción de agua de bagazo de cebada. *Alimentaria*, Madrid, v.1 n. 366, p. 102-115, 2005.

ASSIS, G.; FORATO, A.; BRITTO, A.de. Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. *Higiene Alimentar*, v.22, n.160, p. 99-106, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15448:0520: Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis. Parte 2: Biodegradação e compostagem - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em : < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=609> >. Acesso em: 9 Out. 2018.

ASTM D6400-19, Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. Disponível em: < <https://www.astm.org/Standards/D6400.htm> >. Acesso em: 5 set. 2019.

AURAS, Rafael; HARTE, Bruce; SELKE, Susan. An overview of polylactides as packaging materials. **Macromolecular bioscience**, v. 4, n. 9, p. 835-864, 2004.

AVELLA, M.; VLIENER, J.J.; ERRICO, M.E.; FISCHER, S.; VACCA, P.; VOLPE, M.G. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chemistry*, v 93, p. 467-474, 2005.

AZEVEDO, V. M. et al. Whey protein isolate biodegradable films: influence of the citric acid and montmorillonite clay nanoparticles on the physical properties. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 43, p. 252-258, Jan. 2015.

BALZER, Palova Santos et al. Estudo Comparativo do Efeito Plastificante de Policaprolactonas diol e triol e Dioctil Ftalato em Poli (cloreto de vinila). 2012.

BANEGAS, S.R. Filmes formados por Goma Aguar: Efeito do plastificante e agente reticulante nas propriedades térmicas, mecânicas e absorção de água. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de ciências físicas e matemática departamento de química. Florianópolis. SC. 2008.

BARNES, David KA et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. ***Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences***, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.

BARNES, Stuart J. Understanding plastics pollution: The role of economic development and technological research. ***Environmental Pollution***, 2019.

BASTOS A. Embalagens de plástico verde reduzem desperdício e dão mais segurança. 2014. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1967385/embalagens-de-plastico-verde-reduzem-desperdicio-e-dao-mais-seguranca> > Acesso em: 1 dez.2019.

BBC. Whats the real price of getting rid of plastic packaging, 2018. Disponível em: < <https://www.bbc.com/worklife/article/20180705-whats-the-real-price-of-getting-rid-of-plastic-packaging> >. Acesso em: 7 out. 2019.

BEATRIZ, A. et al. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. *Revista Química Nova*. Campo Grande. v. 34, n. 2, p. 306- 319, dez. 2011.

BERTAN, L.C.,Tanada-Palmu,P.S.,Siani,A.C.,Grosso,C.R.F.,2005.Effect of fatty acids and ‘Brazilian elemi’ on composite films based on gelatin.*Food Hydrocolloids*19,73–82.

BIAZZON, João Carlos. Influência da velocidade de avanço no aplainamento da madeira sobre o desempenho de colagem com adesivos à base de poliacetato de vinila. 2016.

BICUDO, R. C.; Bicudo, T. C.; Forato, L. A.; Colnago, L. A. & Lanças, F. M. - “Análise de zeínas  $\alpha$  do milho por LC-ESI-Q/TOF”, Comunicado Técnico n.77, Embrapa Instrumentação, CNPDIA, São Carlos, 3p. 2006.

BIDLINGMAIER, W. et al. Kassel Project. **Information about the World's Only Pilot Project for Marketing and Recycling of Compostable Packaging Made from Biodegradable Polymers.** Berlin, Germany, 2003.

BIO BASED NEWS. **Global Biodegradable Packaging Market Size & Share**, 2019. Disponível em: < <http://news.bio-based.eu/global-biodegradable-packaging-market-size-share/> >. Acesso em: 5 jun. 2019.

BIOPLASTICS NEWS. History of bioplastics. 2018. Disponível em: < <https://bioplasticsnews.com/2018/07/05/history-of-bioplastics/> >. Acesso em : 22 nov. 2019.

BODMEIER R, Paeratakul O. Plasticizer uptake by aqueous colloidal polymer dispersions used for the coating of solid dosage forms. 1997.

BRASIL Decreto nº 1.812, 08/02/1996. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. 08 de fevereiro de 1996.

BRASIL. RESOLUÇÃO - RDC Nº 90, DE 29 DE JUNHO DE 2016. Disponível em : < [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23163422/do1-2016-06-30-resolucao-rdc-n-90-de-29-de-junho-de-2016-23163250](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23163422/do1-2016-06-30-resolucao-rdc-n-90-de-29-de-junho-de-2016-23163250) > . Acesso em 22 nov.2019.

BRASIL. RESOLUÇÃO A - RDC Nº 88, DE 29 DE JUNHO DE 2016. Disponível em: < [http://www.in.gov.br/web/guest/materia//asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23163458/do1-2016-06-30-resolucao-a-rdc-n-88-de-29-de-junho-de-2016-23163247](http://www.in.gov.br/web/guest/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23163458/do1-2016-06-30-resolucao-a-rdc-n-88-de-29-de-junho-de-2016-23163247) >. Acesso em: 22 nov.2019.

BRASIL. RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 91, DE 11 DE MAIO DE 2001. Disponível em: < [http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/\(1\)RDC\\_91\\_2001\\_COMP.pdf/fb132262-e0a1-4a05-8ff7-bc9334c18ad3](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/(1)RDC_91_2001_COMP.pdf/fb132262-e0a1-4a05-8ff7-bc9334c18ad3) >. Acesso em: 22 nov. 2019.

BRASIL. RESOLUÇÃO Nº 89, DE 29 DE JUNHO DE 2016. Disponível em: < [http://www.lex.com.br/legis\\_27162895\\_RESOLUCAO\\_N\\_89\\_DE\\_29\\_DE\\_JUNHO\\_DE\\_2016.aspx](http://www.lex.com.br/legis_27162895_RESOLUCAO_N_89_DE_29_DE_JUNHO_DE_2016.aspx) >. Acesso em: 22 nov.2019.

BRASIL. Resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem de alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-259-de-20-de-setembro-de-2002.pdf/view> >. Acesso em: 8 ago. 2018.

BRASIL. RESOLUÇÃO-RDC No- 27, DE 6 DE AGOSTO DE 2010. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre embalagens de polietilenotereftalato (PET) pós-consumo reciclado grau alimentício (PET-PCR grau alimentício) destinados a entrar em contato com alimentos. Disponível em: < [http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/390501/RDC\\_20.pdf/289a388c-aa83-47f1-93fc-5165410dc13f](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/390501/RDC_20.pdf/289a388c-aa83-47f1-93fc-5165410dc13f) > . Acesso em: 1 dez. 2019.

BRASIL. RESOLUÇÃO-RDC No- 27, DE 6 DE AGOSTO DE 2010. Disponível em:< [http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/396299/DIRETORIA\\_COLEGIADA\\_27\\_2010.pdf/3d2ea4a0-6962-452a-b57d-11d09e8d0c6e](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/396299/DIRETORIA_COLEGIADA_27_2010.pdf/3d2ea4a0-6962-452a-b57d-11d09e8d0c6e)>. Acesso em: 22 nov. 2019.

BRAUNEGG, G.; LEFEBVRE, G.; GENSER, K. F. Polyhydroxyalkanoates, biopolyesters from renewable resources: physiological and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, Vol. 65, p. 127-161, 1998.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

BRITO, Gustavo F. et al. Tenacificação do poli (ácido lático) pela adição do terpolímero (etileno/acrilato de metila/metacrilato de glicidila). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 22, n. 2, p. 164-169, 2012.

BUCCI, D. Z.; TAVARES, L. B. B.; SELL, I. PHB packaging for the storage of food products. **Polymer testing**, v. 24, n. 5, p. 564-571, 2005.

CAMPOS, Adriana de; MARCONATO, José C.; FRANCHETTI, Sandra MM. Biodegradação de Filmes de PP/PCL em Solo e Solo com Chorume. *Polímeros*, p. 295-300, 2010.

CANO, Amalia I. et al. Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. **Journal of food engineering**, v. 167, p. 59-64, 2015.

CARDOSO, Letícia Oliveira Bispo. **Produção de polihidroxibutirato (PHB) por bactérias metilotróficas**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2017.

CARPINÉ, Danielle. Desenvolvimento e caracterização de filme emulsionado biodegradável produzido a partir de proteína isolada de soja, óleo de coco e surfactantes naturais. 2015.

CARR, Laura Gonçalves. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir da fécula da mandioca**. São Paulo, 2007. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, USP, 2007.

CHANGWICHAN, Kunnika; SILALERTRUKSA, Thapat; GHEEWALA, Shabbir. Eco-efficiency assessment of bioplastics production systems and end-of-life options. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 952, 2018.

CHANPRATEEP, S. Current trends in biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 110, n. 6, p. 621-632, 2010

CHIELLINI, Emo (Ed.). **Environmentally compatible food packaging**. Elsevier, 2008.

CIOLACU, L.; Nicolau, A.I.; Hoorfar, J. *Global Safety of Fresh Produce. A Handbook of Best Practice, Innovative Commercial Solutions and Case Studies*; Woodhead Publishing Limited: Sawston, UK, 2014.

CLARNIVAL, AM, Halleux J. Classification of biodegradable polymers. *Biodegradable polymers for Industrial Application*, Cambridge, UK, Woodhead Publishing Ltd., 3–31, 2005.

COLTRO, Leda; SARANTÓPOULOS, Claire IGL; JR, Ildebrando A. Jesus. **BIOPOLÍMEROS USADOS EM EMBALAGEM: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES**, 2015.

COLWILL, J. A. et al. Bio-plastics in the context of competing demands on agricultural land in 2050. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 5, n. 1, p. 3-16, 2012.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE), 2001. – Disponível em: < <http://www.cempre.org.br/> >. Acesso em: 25 abr. 2018.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/MMA/ MEC/ IDEC, 160 p, 2005.

CORRADINI, Elisângela; LOTTI, Celso; MEDEIROS, Eliton S de; *et al.* Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. ***Polímeros Ciência e Tecnologia***, São Carlos, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

CORREA, Carlos Alberto Correa. Considerações sobre o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis para bioplásticos a partir de fontes renováveis como alternativa aos plásticos de origem fóssil. *Unisanta BioScience*, v. 7, n. 6, p. 126-143, 2018.

CORREIA, Marília Ferreira. **Produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino, ágar-ágar e agarose.** 2016.

COSTA, Ana Carolina Perini. Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis-Um estudo de caso. 2013.

COSTA, Djerson Mateus Alves da ; Leidiane Araújo da Silva ; Mayra Thatiane Jerônimo de Lima. CARACTERIZAÇÃO DE BLENDA DE AMIDO DE FEIJÃO MACÁÇAR, QUITOSANA E GLICEROL. 2018.

COUPLAND, J. N. et al. Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. ***Journal of Food Engineering***. 2000.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. *Journal of Food Science*, Chicago, v.61, n.3, p.580-584, 1996.

CURVELO, A. A. S.; CARVALHO, A. J. F.; AGNELLI, J. A. M.; Thermoplastic starchcellulosic fiber composites: Preliminary results. *Carbohydrate Polymer*, v.45, p. 183- 188. 2001.

CZUCHAJOWSKA, Z.; PASZCZYNSKI, B. Is wet gluten good for baking? *Cereal Chemistry*, v. 73, n. 4, p. 483- 489, 1996.

DAVIDOVIC´ A and Savic´ A. Microbial production of bio - degradable polymer. ***Tehnologica Acta***, 3: 3–13, 2010.

DAVIS, G.; SONG, J.H. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products*, v 23, p. 147-161, 2006.

DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, Volume 44, Issue 9, Pages 842-852, 2002.

DEUS, Isabella Pelosi Borges; RODRIGUES, Juliana Moraes; ALVES, Cassia Cristina Fernandes; VALADARES, Anna Carolina Fernandes; OLIVEIRA FILHO, Josemar Gonçalves. Propriedades ópticas de filmes biodegradáveis de quitosana adicionados do óleo essencial de citrus limonia. 2017.

DIAS, Amanda Borba et al. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz. 2008.

DIAS, F. S.; Queiroz, D. C.; Nascimento, R. F.; Lima, M. B. Um sistema simples para preparação de microesferas de quitosana. *Química Nova*. 2008.

DJAGNY, Kodjo Boady; WANG, Zhang; XU, Shiyang. Gelatin: a valuable protein for food and pharmaceutical industries. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 41, n. 6, p. 481-492, 2001.

DOANE, W. M. USDA research on starch-based biodegradable plastics. 1992.

DOS SANTOS, T. M. et al. Efeito da adição de ácido tânico sobre propriedades de filmes de zeína. In: **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 13.2015.

DUARTE, Marcelo. O livro das invenções. São Paulo: Companhia das letras, 1997.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION and McKinsey & Company, World Economic Forum, The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics. 2016. Disponível em: <[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation\\_TheNewPlasticsEconomy\\_Pages.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2018.

ELLENMACARTHURFOUNDATION. The new plastics economy. 2016. Disponível em: <[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation\\_TheNewPlasticsEconomy\\_Pages.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf)>. Acesso em 22 nov. 2019.

ELSABEE, Maher Z.; ABDU, Entsar S. Chitosan based edible films and coatings: A review. **Materials Science and Engineering: C**, v. 33, n. 4, p. 1819-1841, 2013.

ESPITIA, Paula Judith Pérez et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. **Food hydrocolloids**, v. 35, p. 287-296, 2014.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Harmonised standards for bioplastics. Disponível em: < <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/standards/> >. Acesso em: 25 out.2019.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. Bio-based food packaging in Sustainable Development. Challenges and opportunities to utilize biomass residues from agriculture and forestry as a feedstock for bio-based food packaging. 2016. Disponível em: < <http://www.fao.org/forestry/45849-023667e93ce5f79f4df3c74688c2067cc.pdf> >. Acesso em: 24 nov. 2019.

FECHINE, José Macêdo. Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial. 2013.

FERNQVIST, F., Olsson, A., Spendrup, S., What's in it for me? Food packaging and consumer responses, a focus group study. *British Food Journal* 117 (3), 1122–1135, 2015.

FIELD, Charlotte J.; FIELD, Peter M. *Design Industrial A – Z*. Taschen: Lisboa, 2001.

FIGUEROA, Amanda Mileo et al. CARACTERIZAÇÃO DE AMIDOS OBTIDOS DE DIFERENTES FEIJOES E SUA APLICAÇÃO EM FILMES BIODEGRADÁVEIS. 2016.

FISPAL TECNOLOGIA. Segurança alimentar na indústria de embalagens. Disponível em: < <https://www.fispaltecnologia.com.br/content/dam/Informa/fispaltecnologia/landings/seguran%C3%A7a-alimentar-na-ind%C3%BAstria-de-embalagens/BRA18FPT-AD-whitepaper-seguranca-alimentar.pdf> >. Acesso em: 6 set. 2018.

FONSECA, CAMILA CHULUCK DA. Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA. 2014.

FONSECA. G. G. Produção de polihidroxialcanoatos por *Escherichia coli* recombinante. (2003). 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

FORATO, L. A.; Yushmanov, V. E. & Colnago, L. A. Interaction of Two Prolamins with 1-<sup>13</sup>C Oleic Acid by <sup>13</sup>C NMR†. 2004.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José de Assis F.. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros**, São Carlos , v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002

FOX PF. The milk protein system. In: Fox PF, editor. Developments in dairy chemistry - 4. London: Elsevier; 1989.

FRAGMAQ. **Conheça os tipos de plásticos recicláveis**. 2016. Disponível em: < <https://www.agmaq.com.br/blog/conheca-tipos-plasticos-reciclaveis/> >. Acesso em: 2 jun. 2019.

FRAGMAQ. **Entenda o que define e como funciona a reciclagem química**. 2017. Disponível em: < <https://www.agmaq.com.br/blog/entenda-o-que-define-e-como-funciona-reciclagem-quimica/> >. Acesso em: 18 set. 2019

FRAGMAQ. **Veja como funciona o processo de reciclagem de polímeros**. 2017. Disponível em: < <https://www.agmaq.com.br/blog/veja-como-funciona-o-processo-de-reciclagem-de-polimeros/> > . Acesso em: 12 jul. 2019.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, p. 811-816, 2006.

FROLLINI, Elisabete et al. Biocomposites based on poly (butylene succinate) and curaua: Mechanical and morphological properties. **Polymer Testing**, v. 45, p. 168-173, 2015.

GARCIA MA, Martino MN, Zaritzki NE. Barrier properties of edible starch-based films and coatings. 2000.

GARCIA, E.E. - Boletim Técnico do Centro de Tecnologia de Embalagem, 10 (1), p.8 (1998).

GEMILI, Seyhun; YEMENICIOĞLU, Ahmet; ALTINKAYA, Sacide Alsoy. Development of cellulose acetate based antimicrobial food packaging materials for controlled release of lysozyme. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 453-462, 2009.

GIANCONE, Tiziana et al. Effect of surface density on the engineering properties of high methoxyl pectin-based edible films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 7, p. 1228-1236, 2011.

GILES, GA, Bain, DR. Technology of Plastics Packaging for the Consumer Market. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2001

GIMENES, Danielle Camargo. **Avaliação de comportamento térmico, morfológico e mecânico de blendas de PLA/PCL compatibilizadas por copolímero em bloco de baixa massa molar.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2017.

GOMES, Fábio P. A. Biossíntese de Celulose Bacteriana a partir de Resíduos Industriais. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro, Departamento de Química, Portugal, 2011.

GONZÁLEZ, A., Strumia, M.C., Alvarez Igarzabal, C.I. Cross-linked soy protein as material for biodegradable films: synthesis, characterization and biodegradation. J. Food Eng. 106, 331–33, 2011.

GOVERNMENT OF GUJARAT. **8° Global Summit; Establishment of Biodegradable Packaging for Food Products Manufacturing Unit. Agro and Food Processing ;** (2017). Disponível em : < <http://www.indextb.com/documents/Biodegradable-packaging-for-food-products.pdf> >. Acesso em: 30 mar.2019.

GOY, R. C.; BRITTO, D.; ASSIS, O. B. G. A Review of the antimicrobial activity of chitosan. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, nº 3, p. 241-247, 2009.

GREGORY, M. R. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions, 2009. Disponível em: < <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0265> >. Acesso em: 15 abr. 2019.

HARDING, K. G.; DENNIS, J. S.; VON BLOTTNITZ, H.; HARRISON, S. T. L. Environmental analysis of plastic production processes: comparing petroleum-based polypropylene and polyethylene with biologically-based poly- $\beta$ -hydroxybutyric acid using life cycle analysis. J. Biotechnol., v.130, p.57-66, 2007.

HAYASHI, A.; VEIGA-SANTOS, P.; DITCHFIELD, C.; TADINI, C.C. Investigation of Antioxidant Activity of Cassava Starch Biobased Materials. 2006.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Pilar; VILLALOBOS, Ricardo; CHIRALT, Amparo. Effect of cross-linking using aldehydes on properties of glutenin-rich films. Food Hydrocolloids, v. 18, n. 3, p. 403-411, 2004

HILL, J.E.; BREIDENBACH, R.W. Proteins of soybean seeds. II. Accumulation of the major protein components during seed development and maturation. *Plant Physiology*, v.53, p.747-751, 1974.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE prevê safra de grãos 6,8% menor em 2018. Disponível em: < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19474-ibge-preve-safra-de-graos-6-8-menor-em-2018> >. Acesso em: 5 ago. 2019.

IMAM, Syed et al. Types, production and assessment of biobased food packaging materials. In: **Environmentally compatible food packaging**. Woodhead Publishing, p. 29-62. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2017. Disponível em: < [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29296](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296).> Acesso em: 23 mai. 2019.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Biodegradação = benefício ao meio ambiente. Será?, 2006. Disponível em: < <https://ital.agricultura.sp.gov.br/noticia/biodegradacao-beneficio-ao-meio-ambiente-sera> > Acesso em: 10 ago.2019.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). A Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária . Sandro Pereira Silva , Rio de Janeiro, Janeiro de 2017. Disponível em: < [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29271](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29271) > Acesso em: 20 set. 2019.

IVANKOVIC, Anita et al. Biodegradable packaging in the food industry. **Arch Lebensmittelhyg**, v. 68, p. 26-38, 2017.

JAMBECK J.R. et al., Plastic waste inputs from land into the ocean (*Science*, 13 February 2015). Disponível em: < [https://www.iswa.org/fileadmin/user\\_upload/Calendar\\_2011\\_03\\_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71\\_2\\_.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/Calendar_2011_03_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71_2_.pdf) >. Acesso em : 7 mai. 2018.

JAYAKUMAR, Aswathy et al. Starch-PVA composite films with zinc-oxide nanoparticles and phytochemicals as intelligent pH sensing wraps for food package application. **International journal of biological macromolecules**, 2019.

JENNINGS, Simon et al. Global-scale predictions of community and ecosystem properties from simple ecological theory. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 275, n. 1641, p. 1375-1383, 2008.

JIANG, J. et al. Structure-modifying alkaline and acidic pH-shifting processes promote film formation of soy proteins. 2012.

JORGE N. Embalagens para Alimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013

KALE, Gaurav; AURAS, Rafael; SINGH, Sher Paul. Degradation of commercial biodegradable packages under real composting and ambient exposure conditions. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 14, n. 3, p. 317-334, 2006.

KARNNET, S.,Potiyaraj,P.,Pimpan. Preparation and properties of chitosan films. *Polymer Degradation and Stability* 90,106–110. V.,2005.

KESHK, Salam, SAMESHIMA, Kazuhiko. The utilization of sugar cane molasses with/without the presence of lignosulfonate for the production of bacterial cellulose. *Biotechnological Products and Process Engineering*. p. 291-296, 2006.

KHAN, Bahram et al. Thermoplastic starch: A possible biodegradable food packaging material—A review. *Journal of Food Process Engineering*, v. 40, n. 3, p. e12447, 2017.

KIRSTEN, D.; PEGGY, M. T.; PHOEBE, Q. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. In: EMBUSCADO, M. E.; HUBER, K. C. *Edible films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer. 2009.

KITTUR, F. S., Kumar, K. R., & Tharanathan, R. N. Functional packaging properties of chitosan films. 1998.

KUBASKI, Luana Aparecida; ITO, Paula Bauto. Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja. 2017.

LACKNER, Maximilian. Bioplastics. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, p. 1-41, 2000.

LAGRAIN, Bert et al. Molecular basis of processing wheat gluten toward biobased materials. **Biomacromolecules**, v. 11, n. 3, p. 533-541, 2010.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

LAMAS, M. L. **Filme de proteína de soro de leite incorporado com argila montmorilonita e natamicina para conservação de queijo muçarela fatiado**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. **2015**.

LANDIM, Ana Paula Miguel et al . Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. *Polímeros*, São Carlos , v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

LEMO, A. L.; BOCKORNY, G. A.; SANTANA, RMC. ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE BLENDA CONTENDO PCL, PLA E PHB. 2014.

LIU, Dasong et al. Collagen and gelatin. **Annual review of food science and technology**, v. 6, p. 527-557, 2015.

LIU, Haiming et al. The preparation and characterization of branching poly (ethylene terephthalate) and its foaming behavior. **Cellular Polymers**, v. 34, n. 2, p. 63-94, 2015.

LIU, Wen-GuangL; Xiu-Cheng Zhang; Hong-Yuan Li; Zhi Liu. Effect of surface modification with 3-aminopropyltriethoxy silane on mechanical and crystallization performances of ZnO/poly(butylsuccinate) composites. 2012.

LOPES, Allan & Dragunski, Douglas & Júnior, Leandro & Francisco, Camila & Caetano, Josiane. INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO EXTRATO DE BARBATIMÃO EM FILMES DE AMIDO E CASEÍNA.2018.

LUCAS, E.F.; SOARES, B.G. e MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros. Rio de Janeiro: E-papers, p. 26. 2001.

LUCAS, Nathalie et al. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques—A review. **Chemosphere**, v. 73, n. 4, p. 429-442, 2008.

MAARAN, S.; HOOVER, R.; DONNER, E.; LIU, Q. Composition, structure, morphology and physicochemical properties of lablab bean, navy bean, Rice bean, tepary bean and velvet bean starches. **Food Chemistry**, v. 152, p. 491-499, 2014.

MACEDO, Maria João Mano Fernandes. **Produção de bioplásticos a partir de agro-resíduos**. 2015.

MACHADO, Miriam LC et al. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero poli-3-hidroxi-butirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 65-71, 2010.

MADERA-SANTANA, T. J.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; AZAMAR-BARRIOS, J. A. Physicochemical and morphological properties of plasticized poly (vinyl alcohol)–agar biodegradable films. **International journal of biological macromolecules**, v. 69, p. 176-184, 2014.

MAJID, Ishrat & Thakur, Mamta & Nanda, Vikas. **Biodegradable Packaging Materials**. 2018.

MAKISHI, Gisele Lourenço da Aparecida. **Propriedades de soluções filmogênicas e de filmes de gelatina ou colágeno com extrato de boldo-do-Chile**. 2016.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., & YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(1), 137-156. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n1p137>. 2010.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v.56, p.129-135, 2004.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITSKY, N. E. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, v. 75, p. 453-460, 2006.

MARCHI, C. M. D. F. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

MARIANO, M. J. . Considerações sobre a história da embalagem de alimentos: a evolução de uma poderosa ferramenta de marketing.. In: 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e

Desenvolvimento em Design., 2004, São Paulo. 6º P&D Design - Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design., 2004

MARKET KEY FIGURES, CHALLENGES & PERSPECTIVES OF WORLDWIDE PACKAGING. All4pack France, 26-29 NOV 2018.

MARRON, V., Saari, L., Floridi, G, Boelck, C, and Innocenti, F. The Market of Biobased Packaging Materials. Biobased Packaging Materials for the Food Industry- Status and Perspectives, edited by C.J. Weber (Copenhagen: Department of Dairy and Food Science, The Royal Veterinary and Agricultural University). 2000.

MARTINS, Mariana Pereira. Desenvolvimento e caracterização de filme de fécula de mandioca (manihot esculenta) reforçado com nanocelulose extraída de resíduo de pupunha (bactris gasipaes kunth). UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba. 2017.

MCHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Permeability properties of edible films. Edible coatings and films to improve food quality. 1994.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. O Futuro da Indústria de Transformados Plásticos: embalagens plásticas para alimentos. Brasília: Instituto Evaldo Lodi – Núcleo Central, p. 25-34. 2005.

MELLO, Léa. R. P. F. et al. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina: UEL. 2013.

MENDES, Fernanda Miranda. Produção e caracterização de bioplásticos a partir de amido de batata. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2009.

MESTRINER, F. Design de embalagem curso básico. São Paulo: Makron Books. 2002.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados. SEGMENTO ALIMENTOS E BEBIDAS. 28.06.2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+7\\_Vpublicacao.pdf/f9e50883-e76b-4c70-8618-21728ee215e1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+7_Vpublicacao.pdf/f9e50883-e76b-4c70-8618-21728ee215e1)>. Acesso em: 18 set.2019.

MODI, S. J. *Assessing the feasibility of poly-(3-hydroxybutyrate-co-3-valerate) (PHBV) and poly-(lactic acid) for potential food packaging applications* (Thesis). Ohio State University. 2010.

MOHANTY, A.K.; MIRSA, M.; DRZAL, T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, v 10, p. 19-26, 2002.

MOLINA, Andrade Talita Pires de Camargo. *Embalagem Ativa Biodegradável Para Massa Alimentícia Fresca*. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2012.

MOREIRA, Francys Kley Vieira et al. Desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos biodegradáveis a partir de pectina, amido e nanofibras de celulose. 2010.

MOREIRA, G.L. P.; VIANA, A.E.S; ANDRADE, A.C.B; CARDOSO, A.D.; SANTOS, V.S.;; LOPES, S.C.. Teores de amilose e amilopectina em genótipos de mandioca (manihot esculenta crantz). 2013.

MORENO, O., Atarés, L., Chiralt, A. Effect of the incorporation of antimicrobial/antioxidant proteins on the properties of potato starch films. *Carbohydr. Polym.* 133, 353–364. 2015.

MOURA, R. A.; BANZATO, J. M. *Embalagem, unitização & containerização*. 2. ed. São Paulo, SP: IMAM, v. 3, 354 p. 1997.

MULHAUPT, R. Green polymer chemistry and bio-based plastics: dreams and reality. *Macromolecular Chemistry and Physics*, v. 214, p. 159-174, 2013

MUNHOZ, Cláudia Leite; ARGANDOÑA, Eliana Janet Sanjinez; SOARES JÚNIOR, Manoel Soares. *Extração de pectina de goiaba desidratada*. 2010.

MUTHURAJ, R.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. Biodegradable Poly (butylene succinate) and Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blends: Reactive Extrusion and Performance Evaluation. 2014.

NARAYAN, R. *Biodegradable plastics in opportunities for innovation*: National Institute of Standards and Technology. 1993.

NEGRÃO, Celso; CAMARGO, Eleida. Design de Embalagem do Marketing à Produção. São Paulo: Novatec Editora, 2008.

OCEAN CONSERVANCY and McKinsey Center for Business and Environment, Stemming the Tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean. 2015. Disponível em: < <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/full-report-stemming-the.pdf> >. Acesso em: 3 jun. 2018.

OCEAN CONSERVANCY. Building a clean swell 2018 report. Disponível em : < <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2018/07/Building-A-Clean-Swell.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2018.

OCEAN CONSERVANCY. By weight. 2015-2050 projection of plastics in the ocean based on S. Jennings et al., Global-scale predictions of community and ecosystem properties from simple ecological theory (Proceedings of the Royal Society, 2008). 2015. Disponível em: < [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation\\_TheNewPlasticsEconomy\\_29-1-16.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ElleMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_29-1-16.pdf) >. Acesso em 29 out.2018.

OLIVEIRA, A.A.; REIS, R.C.; VIANA, E.S.; SANTOS, B.J.R.; JESUS, J.L.. Determinação dos teores de amilose e amilopectina do amido de bananas e plátanos. 2016.

OTSYINA, H. R. et al. Knowledge, attitude, and practices on usage, disposal, and effect of plastic bags on sheep and goats. **Tropical animal health and production**, v. 50, n. 5, p. 997-1003, 2018.

PAGLIONE, Isabela dos Santos et al. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de isolado proteico de soja contendo micropartículas de óleo essencial de orégano**. 2018.

PANDEY, Jitendra K. et al. An overview on the degradability of polymer nanocomposites. **Polymer degradation and stability**, v. 88, n. 2, p. 234-250, 2005.

PARRA, D. F.; CARR, L.G.; PONCE, P.; TADINI, C.C.; LUGÃO, A.B. Biodegradable Foams Made of Cassava Starch and Fibers: Influence in the Mechanical Properties. 2006.

PATHAK, Swati; SNEHA, C. L. R.; MATHEW, Blessy Baby. Bioplastics: its timeline based scenario & challenges. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**, v. 2, n. 4, p. 84-90, 2014.

PATNI, Neha & Tripathi, Neha & Bosmia, Sweta. Casein Extraction from various milk samples and its role as a viable substitute for conventional plastics. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015.

PAVLATH, A. E.; ORTS, W. Edible Films and Coatings: Why, What, and How? In: EMBUSCADO, M. E.; HUBER, K. C. *Edible films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer. 2009.

PAWAR,P.A.,PURWAR,A.H. Biodergradable polymers in food packaging. *American Journal of Engineering Research* 2,151–164. 2013.

PHYS ORGANIZATION. **The truth about bioplastics, 2017. Disponível em:** < <https://phys.org/news/2017-12-truth-bioplastics.html> >. Acesso em: 23 out.2019.

PIATTI, T.M. & RODRIGUES, R.A.F., Plásticos: Características, uso, produção e impactos ambientais. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005

PIMENTEL, Tairine et al. Produção e caracterização de filmes obtidos a partir de ésteres graxos epoxidados, polihidroxialcanoatos e suas combinações. 2015.

PINHEIRO, A. C.; CERQUEIRA, M.A.; SOUZA, B.W.S.; MARTINS, J.T; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A. Utilização de revestimentos/filmes edíveis para aplicações alimentares. Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, Braga, Portugal, 2010.

PITT, Fernando Darci; BOING, Denis; BARROS, António André Chivanga. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEBE**, v. 1, n. 09, 2011.

PLASTIVIDA, materiais plásticos. Disponível em: < <http://www.plastivida.org.br/index.php/conhecimento/35-os-plasticos?lang=pt> >. Acesso em: 5 ago. 2018.

PNUD. Dia mundial do meio ambiente. 2018. Disponível em: < <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/presscenter/articles/2018/dia-mundial-do-meio-ambiente.html> >. Acesso em: 22 nov. 2019.

POPA, Mona et al. Biodegradable materials for food packaging applications. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, v. 12, n. 4, p. 1825-1834, 2011.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Disponível em: <  
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/brazil-4-business/alimentos-e-bebidas/> > .  
Acesso em: 17 ago.2019.

PROLLA, I. R. D.; BARBOSA, R. G.; VEECK, A. P. L.; AUGUSTI, P. R.; SILVA, L. P.; RIBEIRO, N. D.; EMANUELLI, T. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, p. 96-102, 2010.

QUEIROZ, L. B. P. de, C. H. Pagno, A. de O. Rios, S.H. Flôres, C.G. Vargas. DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO DE ARROZ VERMELHO (*Oriza glaberrima*). 2016.

RAHMAT, N.; ABDULLAH, A. Z.; MOHAMED, A. R. Recent progress on innovative and potential technologies for glycerol transformation into fuel additives: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.14, p. 987–1000, 2010.

RAMALHO, M. **Plásticos biodegradáveis proveniente da cana-de-açúcar**, Centro Paula Souza, São Paulo, 2009.

RASAL, Rahul M.; HIRT, Douglas E. Toughness decrease of PLA-PHBHHx blend films upon surface-confined photopolymerization. **Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials**, v. 88, n. 4, p. 1079-1086, 2009.

RAZZA, F., Innocenti, F.D.,. Bioplastics from renewable resources: the benefits of biodegradability. 2012.

REGATTIERI, Adriana B.; DA SILVA FILHO, Eloi A.; DE SENA, Geovane L. Preparação e Caracterização de Emulsões Ternárias Quitosana/SDS/Hexano. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 622-633, 2016.

REHM, B.H.A. Polyester synthases: natural catalysts for plastics. *Biochem. J.*, v. 376, p.15–33, 2003.

RIBEIRO, Wanessa Ximenes et al . Characterization of biodegradable film based on zein and oleic acid added with nanocarbonate. *Cienc. Rural*, Santa Maria , v. 45, n. 10, p. 1890-1894, Oct. 2015.

RIDOUT, Michael J. et al. Interaction of transglutaminase with adsorbed and spread films of  $\beta$ -casein and  $\kappa$ -casein. ***Colloids and Surfaces B: Biointerfaces***, v. 128, p. 254-260, 2015.

RINAUDO, Marguerite. Chitin and chitosan: properties and applications. ***Progress in polymer science***, v. 31, n. 7, p. 603-632, 2006.

ROA, Juan PB et al. Síntese e Caracterização do Copolímero Poli (3-Hidroxibutirato-co- $\epsilon$ -Caprolactona) a Partir de Poli (3-Hidroxibutirato) e Poli ( $\epsilon$ -Caprolactona). ***Polímeros***, v. 20, n. 3, p. 221-226, 2010.

ROCCA-SMITH, Jeancarlo R. et al. Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. ***Journal of cereal science***, v. 69, p. 275-282, 2016.

ROSA, D. dos S.; PENTEADO, DENISE FRANCO; CALIL, MARIA REGINA. Propriedades térmicas e biodegradabilidade de PCL e PHB em um pool de fungos. ***Revista de Ciência & Tecnologia***, v. 15, n. 8, p. 75-80, 2000.

RUIZ GJ, Figueiredo LF. Gestão de design: Estratégia no desenvolvimento de embalagens para sustentabilidade, 2016 .

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C.; LIVERA, A. V. S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 3, p. 525-530, jul./set. 2005

SCREMIN, F.F. Estabilidade térmica de filmes biodegradáveis produzidos a base de proteína de soja e amido de milho. 2004.

SELKE, S.E.M. - “Packaging and the environment – alternatives, trends and solutions”. Lancaster, England (1990).

SENHORINHO, Ludimila Mascarenhas. EFEITO DA ADIÇÃO DE CASEÍNA EM FILMES À BASE DE AMIDO DE ARARUTA (*Maranta arundinacea*L.) PLASTIFICADOS COM GLICEROL OU SORBITOL. 2015.

SERAFIM, Luísa & LEMOS, Paulo & REIS, Maria. Produção de Bioplásticos por Culturas Microbianas Mistas. 2003.

SESI. Indústria Da Transformação Do Material Plástico SESI-SP. 2012.

SGARBIERI, V. C. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. Revista da Nutrição, v. 17, n. 4, p. 397-409, 2004.

SGARBIERI, VC. Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Varela; 1996.

SHANKAR, Shiv; RHIM, Jong-Whan. Amino acid mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial agar/silver nanoparticles composite films. **Carbohydrate polymers**, v. 130, p. 353-363, 2015.

SHEN, Li; HAUFE, Juliane; PATEL, Martin K. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics PRO-BIP 2009. Report for European polysaccharide network of excellence (EPNOE) and European bioplastics, v. 243, 2009.

SHIMAZU, S.M., GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**. p. 79-88. 2007.

SHOGREN, R. L., Fanta, G. F., & Doane, W. M. Development of starch based plastics—a reexamination of selected polymer systems in historical perspective. 1993.

SIEPMANN J, Paeratakul O, Bodmeier R. Modeling plasticizer uptake in aqueous polymer dispersions. 1998.

SILVA , Maria & Lima, Pablo & Silveira, Miriam & Arthur, V. & Souza, Adriana. Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas de filmes de fécula de mandioca incorporado com cafeína irradiada. 2019.

SILVA , S. M. F. Filmes compósitos de celulose bacteriana e goma de cajueiro para aplicação em alimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2018.

SILVA, Rayane Monteiro dos Reis. Poluição marinha por resíduos plásticos e suas consequências ao meio ambiente. Uberlândia, 2018.

SILVA, Tatiane; PENNA, Ana. Colágeno: Características químicas e propriedades funcionais. Rev. Inst. Adolfo Lutz. 2012.

SILVA, W. A. D., Pereira, J., Carvalho, C. W. P. D., & Ferrua, F. Q. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. Ciência e agrotecnologia. 31(1), 154-163. 2007.

SINDIPLAST- Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de São Paulo. Guia ambiental DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO E RECICLAGEM DE MATERIAIS PLÁSTICOS. 2011. Disponível em: <[http://file.sindiplast.org.br/download/guia\\_ambiental\\_internet.pdf](http://file.sindiplast.org.br/download/guia_ambiental_internet.pdf)>. Acesso em 13 ago. 2019.

SMITHERS G. Value added milk protein products. Austr Biotechnol. 1991.

SOARES, D. S. B.; SILVA, E. E. A. N.; OLIVEIRA, T. M. Aplicação de filmes biodegradáveis de proteínas do soro de leite. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 3, n. 3, p. 1–5, jul./set. 2016.

SONG, Yihu; ZHENG, Qiang. Ecomaterials based on food proteins and polysaccharides. **Polymer Reviews**, v. 54, n. 3, p. 514-571, 2014.

SOUSA, Luci Cleide Farias Soares et al. Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 19-28, 2013.

SOUZA, Mayara Cíntia Cavalcante. Elaboração de filme biodegradável a partir da gelatina extraída da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). 2016. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SOUZA, Patrícia Moraes Sinohara et al. Estudo da influência de argilas organofílicas no processo de biodegradação do PLA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 110-116, 2014.

SOUZA, Sivoney Ferreira de. Obtenção de nanofibras de curauá e aplicação como reforço em compósitos baseados em PVA. 2010.

STAP, Marine debris as a global environmental problem. 2011. Disponível em: <<http://www.stapgef.org/sites/default/files/stap/wp-content/uploads/2013/05/Marine-Debris.pdf>> . Acesso em: 8 set. 2018.

STEINBÜCHEL, A., VALENTIN, H. E., Diversity of bacterial polyhydroxyalkanoic acids. *Microbiology Letters*. Vol 128, nº 3, p. 219-228, 2006.

SU, Jun-Feng et al. Properties stability and biodegradation behaviors of soy protein isolate/poly (vinyl alcohol) blend films. ***Polymer Degradation and Stability***, v. 95, n. 7, p. 1226-1237, 2010.

TEIXEIRA, E. M.; DA RO'Z, A. L.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S. The effect of glycerol/sugar/water and sugar/water mixtures on the plasticization of thermoplastic cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, v. 69, p. 619-624, 2007.

THAKHIEW, W.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S. Effects of drying methods and plasticizer concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films. *Journal of Food Engineering*, v. 99, p. 216–224, 2010.

THAKUR, Manju Kumari et al. Synthesis and applications of biodegradable soy based graft copolymers: a review. ***ACS Sustainable Chemistry & Engineering***, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2015.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. ***Trends in food science & technology***, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.

TONHI, Edivan; PLEPIS, Ana Maria. Obtenção e caracterização de blendas colágeno-quitosana. *Química Nova*. v. 25, n. 6, p.943-948, 2002

VALDÉS, Arantzazu et al. Natural pectin polysaccharides as edible coatings. ***Coatings***, v. 5, n. 4, p. 865-886, 2015.

VAN DEN OEVER, Martien et al. **Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures: focus on food packaging in the Netherlands**. Wageningen Food & Biobased Research, 2017.

VARGAS, Carolina Galarza et al. Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. ***Food Hydrocolloids***, v. 65, p. 96-106, 2017.

VASQUES, T.C. Preparação e caracterização de filmes poliméricos a base de amido de milho e polipirrol para aplicação como biomaterial. 2007.

VEIGA-SANTOS. P, L.M. OLIVEIRA , M.P. CEREDA , A.R.P. SCAMPARINI . Sucrose and inverted sugar as plasticizer. Effect on cassava starch–gelatin film mechanical properties, hydrophilicity and water activity. 2007.

VGRESÍDUOS. **Impactos causados pelo lançamento de resíduos no oceano.** 2017. Disponível em: < <https://www.vgresiduos.com.br/blog/impactos-causados-pelo-lancamento-de-residuos-no-oceano/> >. Acesso em: 22 set. 2018.

VGRESÍDUOS. **Quais os tipos e formas de reciclagem de resíduos plásticos?** 2017. Disponível em: < <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-plasticos-tipos-e-formas-de-reciclagem/> > . Acesso em: 20 ago. 2019.

VIÉGAS, L. P. Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos. Campos dos Goytacazes, RJ, Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 2016.

VINK, Erwin TH et al. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. **Polymer Degradation and stability**, v. 80, n. 3, p. 403-419, 2003.

WENZEL, Henrik; HAUSCHILD, Michael Z.; ALTING, Leo. Environmental Assessment of Products: Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Springer Science & Business Media, 2000.

WILSON AS. Plasticizers principles and practice. Cambridge: The Institute of Materials; 1995.

WOLF, Kleber. Propriedades físico-químicas e mecânicas de biofilmes elaborados a partir de fibra e pó de colágeno. 2007.

WRÓBLEWSKA-KREPSZTUL, Jolanta et al. “Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment ”. 2018.

WYPYCH G. Handbook of plasticizers. Toronto: ChemTec Publishing. 2004.

YOO, E.; IM, S. Melting behavior of poly (butylene succinate) during heating scan by DSC. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, v. 37, n. 13, p. 1357- 1366, 1999.

YUAN, Peng; TAN, Daoyong; ANNABI-BERGAYA, Faiza. Properties and applications of halloysite nanotubes: recent research advances and future prospects. **Applied Clay Science**, v. 112, p. 75-93, 2015.

YULIARTI, Oni et al. Characterization of gold kiwifruit pectin from fruit of different maturities and extraction methods. **Food chemistry**, v. 166, p. 479-485, 2015.

ZHANG, Kunyu et al. Improvement in toughness and crystallization of poly (L-lactic acid) by melt blending with poly (epichlorohydrin-co-ethylene oxide). **Polymer Engineering & Science**, v. 51, n. 12, p. 2370-2380, 2011.

ZUBELDÍA, Francisco; ANSORENA, María R.; MARCOVICH, Norma E. Wheat gluten films obtained by compression molding. **Polymer Testing**, v. 43, p. 68-77, 2015.