

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

STELA LETÍCIA DE CASTRO MOURA

**Análise do cenário de biopolímeros no Brasil e sua importância para um  
desenvolvimento sustentável**

Lorena  
2020

STELA LETÍCIA DE CASTRO MOURA

**Análise do cenário de biopolímeros no Brasil e sua importância para um  
desenvolvimento sustentável**

Monografia apresentada à Escola  
de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo como  
requisito parcial para a obtenção  
do título de Engenheira Química.

Orientador: Prof. Dr. Leandro  
Gonçalves de Aguiar

Lorena  
2020

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE**

Ficha catalográfica elaborada pelo sistema Automatizado da Escola de Engenharia de Lorena,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Moura, Stela Letícia de Castro  
Análise do cenário de biopolímeros no Brasil e  
sua importância para um desenvolvimento sustentável /  
Stela Letícia de Castro Moura; orientador Leandro  
Gonçalves de Aguiar. - Lorena, 2020.  
68 p.

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia  
Química - Escola de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo. 2020

1. Biopolímeros. 2. Bioplásticos. 3.  
Desenvolvimento sustentável. 4. Resíduos sólidos. I.  
Título. II. Aguiar, Leandro Gonçalves de , orient.

## RESUMO

MOURA, S. L. C. **Análise do cenário de biopolímeros no Brasil e sua importância para um desenvolvimento sustentável.** 2020. 68p. Monografia – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Os materiais poliméricos de origem petroquímica são de grande importância no desenvolvimento da humanidade devido a sua versatilidade e baixo custo. No entanto, a falta de coleta seletiva, a destinação imprópria dos resíduos sólidos, os baixos índices de reciclagem e de reutilização de resíduos plásticos, além da falta de consciência ambiental da população, tudo isso alinhado ao alto tempo de degradação desses materiais no meio ambiente, são os principais responsáveis pela poluição dos ecossistemas por plásticos. O Brasil apresenta-se em quarto lugar num ranking de 200 países na produção de plásticos. Do montante total produzido, apenas 1,28% é reciclado. Além disso, quase metade dos resíduos sólidos produzidos tem destinação imprópria no país. Deste modo, o objetivo do presente trabalho é a análise dos biopolímeros renováveis e biodegradáveis, suas principais vantagens e de que forma eles podem contribuir para um desenvolvimento sustentável. Além disso, apresenta-se uma prospecção tecnológica com o objetivo de investigar as frentes de pesquisa e inovação de desenvolvimento de biopolímeros no Brasil. Com o trabalho, conclui-se que os biopolímeros são uma alternativa para um desenvolvimento sustentável, mas por si só não são suficientes, uma vez que os mesmos precisam ser coletados e destinados a locais próprios para que sofram biodegradação. Logo, é necessário o investimento em políticas públicas ambientais e coleta seletiva.

Palavras-chave: biopolímeros; bioplásticos; desenvolvimento sustentável; resíduos sólidos.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Ciclo de vida de biopolímero biodegradáveis e de origem renovável .....	22
Figura 2 - Esquema de produção dos insumos necessários à produção de polímeros .....	26
Figura 3 - Características de alguns polímeros conforme a matéria-prima e biodegradação. ....	29
Figura 4 - Classificação geral de polímeros biodegradáveis a partir da fonte de obtenção. ....	32
Figura 5 - Estruturas da amilose (a) e da amilopectina (b). ....	36
Figura 6 - Estrutura química do PLA. ....	38
Figura 7 - Estrutura geral dos polihidroxialcanoatos (PHBs).....	42
Figura 8 - Mercado de biopolímeros (2014).....	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Produção e reciclagem de plásticos no mundo (em tonelada).....	19
Tabela 2 - Composição de amilose em diferentes fontes vegetais. ....	36
Tabela 3 - Principais centros de pesquisa analisados. .....	50
Tabela 4 - Número de publicações por estado brasileiro. ....	50
Tabela 5 - Matérias-primas mencionadas na publicação. ....	52
Tabela 6 - Principais aplicações dos biopolímeros pesquisados. ....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Disposição final do resíduo sólido coletado por destinação. ....	16
Gráfico 2- Composição Gravimétrica da coleta seletiva realizada no Brasil em 2018.....	18
Gráfico 3 – Perfil dos Plásticos por tipologia.....	18
Gráfico 4 – Mercado de plásticos no Brasil por setor.....	26
Gráfico 5 - Proporção de terra necessária para a substituição de 20% da energia ou material total.....	46
Gráfico 6 - Número de publicações sobre biopolímeros por ano. ....	49
Gráfico 7 - Distribuição das publicações por instituição. ....	49
Gráfico 8 - Distribuição por objetivo da pesquisa realizada. ....	51
Gráfico 9 - Principais biopolímeros mencionados. ....	52

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Classificação dos principais plásticos quanto à origem e biodegradabilidade.....	30
Quadro 2 - Possibilidade de substituição de alguns polímeros petroquímicos por biopolímeros.....	31
Quadro 3 - Principais bioplásticos e suas características. ....	34
Quadro 4 - Potencial de substituição de polímeros por biopolímeros a base de amido. ....	37
Quadro 5 - Potencial de substituição do PLA a outros polímeros. ....	40

## **LISTA DE SIGLAS**

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
ACV	Avaliação do ciclo de vida
GPPS	Poliestireno cristal
HIPS	Poliestireno alto impacto
PA	Poliamida
PBA	Poli(acrilato de butila)
PBAT	Poli(butileno adipato co-tereftalato)
PBS	Poli(succinato de butileno)
PCL	Policaprolactona
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PHA	Polihidroxialcanoato
PHB	Polihidroxibutirato
PHBHx	Poli(hidroxibutirato-cohidroxihexanoato)
PHBV	Poli(hidroxibutirato-cohidroxivalerato)
PLA	Poliácido láctico
PMMA	Poli(metilmetacrilato de metila)
POM	Poli(óxido de metileno)
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTT	Poli(tereftalato de trimetileno)
PU	Poliuretano
PUR	Poliuretano rígido
PVC	Poli(cloreto de vinila)
Tg	Temperatura de transição vítreia
TSC	Compósito de amido

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVO GERAL.....	13
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3	METODOLOGIA.....	14
4	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	15
5	PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS NO BRASIL.....	17
6	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	21
7	POLÍMEROS .....	24
8	BIPOLÍMEROS: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável.....	28
9	BIOPLÁSTICOS PROMISSORES.....	32
9.1	Amido termoplástico (TPS) .....	35
9.2	Poli (ácido lático) – PLA .....	38
9.3	Polihidroxialcanoatos – PHA .....	40
10	DESAFIOS DOS BIOPLÁSTICOS .....	43
11	ANÁLISE DO CENÁRIO DE BIOPOLÍMEROS NO BRASIL .....	47
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
13	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A .....	64

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir da década de 70, o mercado é dominado por produtos plásticos, o que foi possibilitado pela consolidação dos processos de produção de polímeros da indústria petroquímica. O desenvolvimento de materiais poliméricos trouxe progresso e proporcionou facilidade ao cotidiano das pessoas, ganhando espaço no mercado em decorrência do seu baixo custo e versatilidade. Nos dias atuais, no entanto, sua característica de alta resistência à degradação, a qual é de mais de 100 anos, justifica o acúmulo de plástico cada vez mais crescente, o que é um problema ao meio ambiente.

Segundo dados da ABRELPE (2018), a produção de resíduos sólidos no Brasil no ano de 2017 foi de 78,4 milhões de toneladas, sendo que quase metade dos resíduos desse montante tiveram destinos impróprios, em que foram despejados em locais sem infraestrutura adequada para assegurar a preservação do meio ambiente e dos ecossistemas presentes. Boa parcela desses resíduos sólidos coletados é composta por materiais plásticos cuja principal aplicação é no setor de embalagens.

A cultura de reaproveitamento de resíduos plásticos no Brasil ainda é pouco disseminada. As embalagens descartáveis de uso único ainda são muito utilizadas, favorecidas pela cultura do consumismo, aumentando à geração de resíduos e descartes inadequados (ZANIN & MANCINI, 2015). Numa pesquisa realizada pela WWF (2019), o país apresenta-se em quarto lugar na produção de plásticos num ranking composto por 200 países, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. No entanto, o dado mais preocupante desta pesquisa é que o país apresenta apenas 1,28% de taxa de reciclagem sobre o que é produzindo, enquanto a média mundial é de 9%.

Atualmente, a maioria dos polímeros é produzida de maneira sintética e tem como matéria-prima a nafta petroquímica. Mas, em decorrência do aumento do preço do barril de petróleo e a possibilidade de esgotamento deste recurso por se tratar de uma fonte não renovável, as empresas começaram a investir no desenvolvimento de materiais sustentáveis. Além disso, a conscientização da

população a respeito dos danos desses resíduos aos ecossistemas têm levado os consumidores a optarem por produtos biodegradáveis e de origem renovável.

Neste caminho, inserem-se os polímeros biodegradáveis, os quais são obtidos a partir de fontes de matéria-prima renováveis, como a cana-de-açúcar, milho, beterraba etc. Possuem como principal característica o processo de biodegradação no meio ambiente que pode levar de dezenas de dias a meses.

No entanto, os processos de produção de materiais biodegradáveis ainda apresentam grandes desafios, pois não são produtivos e são caros. Mas para aprimorar o desenvolvimento sustentável deve-se buscar por processos mais adequados, com produtos de fontes renováveis, além da conscientização e mudança de hábitos dos consumidores, os quais devem evitar desperdícios e optar por produtos com características de biodegradação.

Assim, a análise das vantagens e desvantagens dos biopolímeros e do mercado brasileiro de plásticos biodegradáveis em substituição aos petroquímicos se justifica como parte fundamental para a efetivação de um cenário favorável ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável.

## 2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é o de investigar as vantagens e desvantagens da utilização de biopolímeros de fontes renováveis e biodegradáveis em substituição aos materiais de origem petroquímica e a análise das perspectivas dos biopolímeros no cenário brasileiro.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Análise do cenário do Brasil no que se refere à geração de resíduos sólidos;
- Estudo dos possíveis impactos futuros ao meio ambiente do descarte indevido de materiais plásticos;
- Análise dos benefícios da utilização de materiais biodegradáveis e obtidos de fontes renováveis para se promover um desenvolvimento sustentável;
- Definição dos principais biopolímeros, aplicações, suas vantagens e desvantagens;
- Análise dos principais desafios para a promoção dos bioplásticos no Brasil;
- Investigação das frentes de pesquisa e inovação de desenvolvimento de biopolímeros no Brasil.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização da primeira parte deste trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica, quantitativa e qualitativa, das tendências do mercado de biopolímeros e bioplásticos a partir de fontes renováveis no Brasil, além do estudo das vantagens da utilização desses materiais biodegradáveis para se promover o desenvolvimento sustentável.

A metodologia consistiu em três etapas: aquisição de dados e informações, tratamento das informações obtidas e análises e conclusões finais. Como suporte para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas as plataformas *ScienceDirect*, *Scielo* e *Google Acadêmico*, além do site de empresas do ramo de polímeros e periódicos.

Na segunda parte do trabalho, realizou-se uma prospecção tecnológica que segundo Kupfer e Tigre (2004) pode ser definida como “um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo”.

A prospecção foi realizada a partir de artigos, teses, dissertações e outras publicações úteis da plataforma do *Google Acadêmico*. As publicações foram filtradas, selecionadas e classificadas conforme critérios estabelecidos e foi confeccionada uma lista com as informações relevantes a partir do software Microsoft Excel para facilitar a análise.

## 4 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O crescimento populacional junto ao advento da inovação tecnológica, o qual impulsiona mudanças nos padrões de consumo da população, além da acessibilidade, do baixo custo de muitos produtos e falta de consciência dos impactos ambientais, permitiram que se criassem hábitos de geração e de descarte de resíduos sólidos de forma desenfreada, criando-se uma cultura do descartável.

O termo “resíduo sólido” é utilizado para caracterizar todo lixo sólido ou semissólido gerado a partir das atividades humanas, compreendendo diversas fontes de origem, as quais podem ser doméstica, industrial, hospitalar, comercial, agrícola etc. Os resíduos sólidos abrangem desde restos de alimentos, entulhos de obras e até pilhas e baterias, podendo conter elementos que, se descartados de formas impróprias e em locais incorretos, poderão ocasionar danos aos ecossistemas presentes.

O descarte incorreto é muito recorrente nos dias atuais, ocasionando poluição do solo, água, ar e outros. Segundo uma pesquisa realizada pela Ocean Conservancy (2017), oito milhões de toneladas de plásticos são descartados no mar por ano, o que é equivalente ao descarte de um caminhão cheio de plásticos a cada 60 segundos. Além disso, estima-se que até 2050 haverá a mesma quantidade de plástico do que peixes e que 99% das aves marinhas terão consumido estes resíduos.

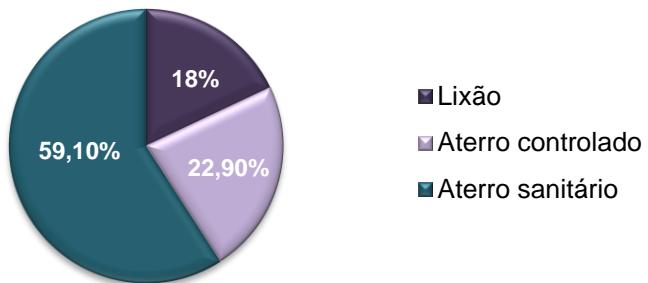
Hoje, um terço dos plásticos utilizados em embalagens acaba no meio ambiente, em especial nos oceanos, os quais não prejudicam apenas os ecossistemas marinhos, mas também a saúde humana, uma vez que cerca de 83% da água de torneira possui partículas de plásticos e elementos químicos tóxicos circulam na corrente sanguínea da população (ONU, 2018).

Segundo CORREA (2018), a produção mundial de plásticos é de quase 40 bilhões de toneladas por ano. Do total produzido, estima-se que cerca de 40% é destinado a embalagens descartáveis (*single use ou one way*). As vantagens

conferidas por embalagens plásticas na preservação e transporte de alimentos são indiscutíveis. No entanto, não se podem desconsiderar as consequências ocasionadas a partir do descarte inadequado dessas embalagens no meio ambiente.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), a produção de resíduos sólidos no ano de 2017 foi de 378 quilogramas por habitante, com um total de 78,4 milhões de toneladas de resíduos gerados no ano, sendo que cerca de 10% desses materiais não foram coletados e tiveram destino impróprio. Do montante coletado, 40,9% teve destino inapropriado, sendo despejado em locais que não possuíam infraestrutura adequada para assegurar a preservação do meio ambiente contra danos, como lixões e aterros controlados. O gráfico abaixo apresenta a disposição final do resíduo coletado:

Gráfico 1 – Disposição final do resíduo sólido coletado por destinação.



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2017).

## 5 PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS NO BRASIL

No Brasil, a partir da década de 70, o mercado é dominado por produtos plásticos, o que foi possibilitado pela consolidação dos processos de produção de polímeros da indústria petroquímica. Os principais fatores responsáveis por essa dominação dos plásticos de origem fóssil são o baixo custo de produção, alta versatilidade e alto desempenho. Segundo CORREA (2018):

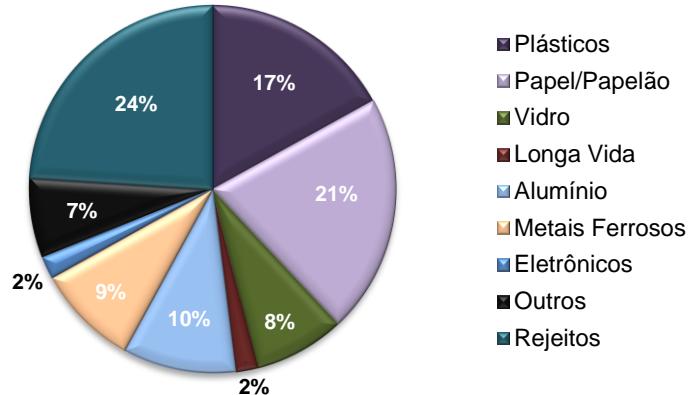
A utilização de materiais plásticos ao longo de décadas representa em sua mais pura essência o modelo linear de produção industrial baseado na exploração indiscriminada de recursos naturais para produção de bens de consumo não-duráveis dentro de uma lógica pautada por extrair/fabricar/utilizar/descartar, que resulta no aumento contínuo de volumes de resíduos acumulados em aterros sanitários e lixões.

Com o aumento do consumo e da produção de materiais plásticos, tem-se como consequência o aumento desses resíduos. No Brasil, principalmente em grandes metrópoles, não é incomum presenciar cenas de descartes inadequados de materiais, os quais contribuem para problemas ambientais, como inundações e propagação de doenças (LANDIM *et al.*, 2016). Além disso, os plásticos sintéticos possuem alta resistência à degradação quando descartados no meio ambiente, o que justifica seu acúmulo cada vez mais crescente, pois levam mais de 100 anos em sua decomposição.

Segundo CORREA (2018), o número de aterros sanitários no Brasil praticamente dobrou de 2000 a 2008, passando de 931 para 1723, o que demonstra que no país os resíduos são tratados como lixo sem nenhum valor, gerando ônus para a sociedade e para o poder público que tem que arcar com os custos da coleta e destinação final. A maioria das coletas seletivas dos municípios brasileiros é realizada por empresas privadas e estima-se que apenas na cidade de São Paulo o gasto com coleta chega a mais de R\$ 725 milhões de reais por ano.

O gráfico 2 apresenta dados da Composição Gravimétrica da coleta seletiva realizada no Brasil em 2018, em que 24% dos resíduos coletados são rejeitos, seguidos por 21% de papel/papelão e 17% de plásticos.

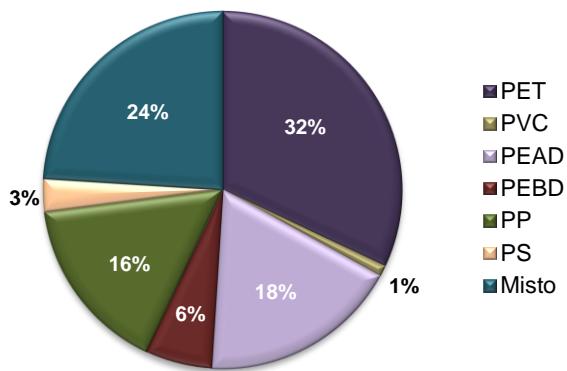
Gráfico 2- Composição Gravimétrica da coleta seletiva realizada no Brasil em 2018.



Fonte: Adaptado de CEMPRE (2018).

O gráfico 3 apresenta dados do perfil dos plásticos por tipologia presentes na coleta seletiva, no qual observa-se que 32% refere-se a coleta de poli(tereftalato de etileno) (PET), seguido por Misto, polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PEBD), poliestireno (PS) e poli(cloreto de vinila) (PVC).

Gráfico 3 – Perfil dos Plásticos por tipologia.



Fonte: Adaptado de CEMPRE (2018).

Segundo um estudo realizado pela World Wide Fund for Nature (WWF, 2019), sobre a geração de resíduos plásticos em cerca de 200 países, o Brasil

aparece em quarto lugar no ranking dos países que mais geram este tipo de resíduo, ficando atrás dos Estados Unidos, China e Índia. O dado mais preocupante é que o Brasil apresenta apenas 1,28% de taxa de reciclagem sobre o que é produzido, enquanto a média mundial é de 9%, ficando atrás de países como a Síria. A tabela 1 apresenta os dez maiores países de geração de plástico e suas respectivas taxas de reciclagem:

Tabela 1 - Produção e reciclagem de plásticos no mundo (em tonelada)

País	Total de lixo plástico gerado	Total incinerado	Total reciclado	Produção x Reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.220	-	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	-	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	-	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.515	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

Fonte: Adaptado de WWF (2019).

Algumas medidas para a redução da geração de resíduos plásticos já estão sendo tomadas por alguns governos, como pode-se citar a Lei Nº 8.006 de 25 de junho de 2018, a qual trata de sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais:

(...) titulares de estabelecimentos comerciais localizados no Estado do Rio de Janeiro, ficam proibidos de distribuírem (gratuitamente ou cobrando) sacos ou sacolas plásticas descartáveis, compostos por polietilenos, polipropilenos e/ou similares, devendo substituí-los em 18 (dezoito) meses, contados a partir da data de publicação da presente Lei, por sacolas reutilizáveis/retornáveis, conforme especificado no § 1º deste artigo.

Além da proibição das sacolas plásticas no Rio de Janeiro, pode-se citar a lei que proíbe a utilização de canudos plásticos com materiais não biodegradáveis

no estado de São Paulo, além do projeto de Lei do Senado nº 92 de 2018, ainda em fase de tramitação, o qual estabelece um cronograma de dez anos para a utilização total de materiais biodegradáveis em aplicações do tipo descartáveis, como copos, talheres, pratos, bandejas etc. (SENADO FEDERAL, 2018).

No entanto, segundo NUNES (2018), a reutilização no Brasil ainda é pouco estimulada. As embalagens descartáveis de uso único ainda são muito utilizadas, favorecidas pela cultura do consumismo, aumentando a geração de resíduos e descartes inadequados (ZANIN & MANCINI, 2015). Mesmo que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) promova avanços na elaboração de uma legislação específica, verifica-se a necessidade de maior atuação e senso de urgência, não apenas do setor público, mas também do privado e toda a sociedade, para a criação de ferramentas eficazes na gestão dos resíduos sólidos, desde a propagação da consciência ambiental da sociedade como um todo até programas públicos de gestão de resíduos, coleta seletiva, reutilização, reciclagem, redução na geração de resíduos e maiores investimentos na área de pesquisas de novos materiais biodegradáveis.

## 6 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desenvolvimento sustentável pode ser definido como “aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas necessidades e aspirações” (BOFF, 2015). Com o avanço da produção de bens de consumo e do aumento do descarte de resíduos no meio ambiente, medidas devem ser adotadas para maior atuação na gestão dos resíduos direcionadas ao desenvolvimento sustentável, com atuação de todas as esferas da sociedade, desde o poder público, população e a cadeia produtiva.

Para Manzini & Vezzoli (2011), o desenvolvimento sustentável não deve se restringir aos hábitos dos consumidores finais, mas a toda a cadeia de produção, desde os recursos, meios, hábitos e atitudes, os quais devem ser diferentes dos que são utilizados nos dias atuais, buscando-se processos produtivos com menores impactos ambientais, desenvolvimento de produtos a partir de fontes renováveis, redução do acúmulo de materiais que não estão aptos ao descarte ao meio, entre outros.

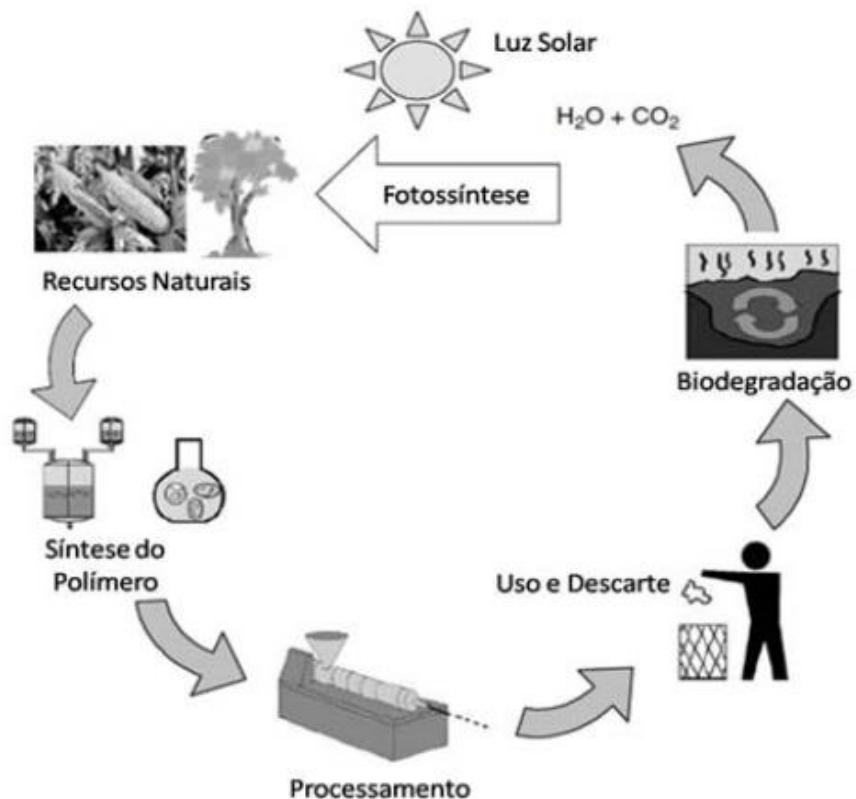
A eficiência, suficiência e eficácia são os três pilares para o aprimoramento do desenvolvimento sustentável. No que diz respeito à eficiência, deve-se buscar por processos mais adequados, com produtos de fontes renováveis. Já a suficiência diz respeito a mudanças no modo de consumo, evitando desperdícios e inserindo produtos de origem biológica e biodegradáveis. A eficácia é a combinação das duas últimas. Em resumo, para alcançar o cenário desejado, os produtos e serviços devem ser ecoeficientes, a partir da utilização do mínimo possível de materiais e recursos técnicos de fabricação natural (Manzini & Vezzoli, 2011).

O desenvolvimento de produtos sustentáveis é parte fundamental na efetivação de um cenário favorável ao meio ambiente. Para o estudo de determinados produtos no meio, deve-se realizar a análise do ciclo de vida (ACV), a qual consiste na observação e quantificação de todos os impasses e

complicações de cada etapa associada ao produto, desde a extração da matéria prima, produção e comportamento após o descarte ao meio.

Biopolímeros de origem renovável e biodegradáveis apresentam vantagens em relação ao seu ciclo de vida, pois além de favorecerem a redução de resíduos sólidos no meio, apresentam saldo energético positivo de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e reduzem a dependência em relação a fontes de origem fóssil (BRITO *et al.*, 2011). A figura 1 apresenta o ciclo de vida desses biopolímeros:

Figura 1 - Ciclo de vida de biopolímero biodegradáveis e de origem renovável.



Fonte: Adaptado de Mohanty *et al.* (2005).

Os bioplásticos apresentam alta relevância no que diz respeito à fonte de matéria-prima, no qual a utilização de recursos provenientes de fontes naturais é extremamente importante para a obtenção de produtos sustentáveis, os quais possuem fonte de origem simples e limpa e, o mais importante, degradam-se de forma mais rápida no meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2014).

Muitos consumidores estão se tornando mais conscientes e alterando seus padrões de consumo, começando a se preocupar mais e a evitar a utilização de produtos descartáveis, de um único uso, e com produtos de origem não renovável. Pensando nisso, muitas empresas que utilizam plásticos em seus produtos, estão buscando por alternativas de processos e produtos os quais agridam menos o meio ambiente (ONU, 2018).

Mudanças nos hábitos dos consumidores e de processos e produtos de empresas ainda não são suficientes para se atingir o desenvolvimento sustentável. Assim, torna-se necessária a atuação de órgãos públicos, a partir da criação de leis ambientais que obriguem empresas a utilizarem matérias-primas de fontes renováveis e a produção de produtos sustentáveis, levando a conscientização da população quanto aos danos ambientais que cada etapa do ciclo de vida do produto pode ocasionar ao meio ambiente (NUNES, 2018).

## 7 POLÍMEROS

Considera-se a história do desenvolvimento dos materiais poliméricos muito recente se comparada a dos materiais tradicionais, como metais e cerâmicas. No entanto, o surgimento do polímero trouxe desenvolvimento e proporcionou facilidade ao cotidiano das pessoas. Descoberto de forma acidental, seu progresso está associado à evolução científica, tecnológica e cultural da humanidade. Sua versatilidade, baixo custo e o grande número de aplicações em substituição a outros materiais, como os metálicos e os cerâmicos, impulsionaram o seu desenvolvimento. Embora não se note, os polímeros são de grande importância para a humanidade, pois são empregados em um alto número de utilidades do dia a dia das pessoas, desde embalagens de alimentos, na construção civil e até na área da saúde, como próteses dentárias.

O termo polímero tem origem grega, em que *poli* significa “muitas” e *meros* “partes”. Assim, os polímeros são macromoléculas formadas por pequenas unidades de repetição (orgânicas ou inorgânicas), iguais ou não, os quais são chamados de meros. São conectados por ligações do tipo covalente, possuindo alto peso molecular. Além disso, os polímeros podem ter diferentes fontes, podendo ser naturais (como o amido, encontrado nas plantas) ou produzidos sinteticamente (como o Teflon, utilizado no revestimento de formas e panelas).

Segundo CANEVAROLO JÚNIOR (2006), de acordo com o comportamento mecânico do material, o qual depende dos compostos e ligações presentes no polímero, além do comprimento da cadeia polimérica, podem-se classificar os polímeros em fibras (caracterizado pela flexibilidade e finura), elastômeros (borrachas) ou plásticos (podem ser moldados por ação da temperatura e da pressão).

Outra forma de identificar os polímeros é quanto ao seu comportamento em relação a mudanças de temperatura: os termoplásticos são polímeros que podem ser reciclados, pois ao serem aquecidos amolecem e se fundem, podendo ser moldados e reprocessados, como é o caso do Po(litereftalato de etileno) – PET, utilizado como garrafa; os termorrígidos são materiais que não alteram sua rigidez

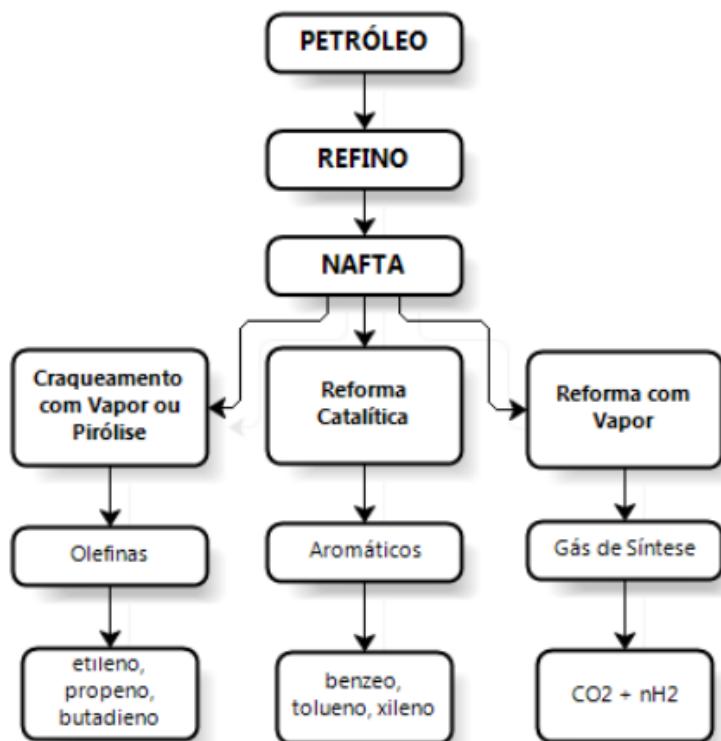
com alterações da temperatura, não podendo ser reciclados, como é o caso das resinas epóxi.

Até o início do século XX a compreensão técnica a respeito da ciência dos polímeros ainda era muito precoce. A partir da década de 20, o alemão Hermann Staudinger, professor de química orgânica, contribuiu para grandes avanços científicos a partir do desenvolvimento dos conceitos de macromoléculas e de processos de cristalização dos polímeros, a qual foi o precursor para o desenvolvimento de diversos tipos de polímeros e aplicações (HAGE JUNIOR, 1998). No mesmo período, o desenvolvimento da indústria petroquímica e seus derivados aumentou o número de opções de matérias-primas e impulsionou o desenvolvimento da produção de novos polímeros e processos (PITT *et al.*, 2011). Além disso, também ocorreu o desenvolvimento de maquinários adequados para a produção de polímeros, como equipamentos de extrusão e injeção (BOWER, 2002).

Segundo PITT *et al.* (2011), em decorrência da maior quantidade e qualidade de produtos obtidos a partir das indústrias petroquímicas, iniciou-se a produção de diversos polímeros conhecidos e utilizados até os dias de hoje, como o Poliestireno, que teve produção comercial inicial na Alemanha, no ano de 1930. Na mesma década, ocorreu-se o desenvolvimento da produção do polietileno, a partir do etileno, também na Alemanha e o início da produção de PVC, em 1939, nos Estados Unidos.

Atualmente, a maioria dos polímeros processados é sintética e produzida a partir da nafta petroquímica como matéria prima, em que os processos de produção já estão consolidados, oferecendo poucas margens para invocação e aperfeiçoamento. A figura 2 apresenta um esquema simplificado de operações realizadas na indústria petroquímica para a produção dos materiais necessários para a síntese de polímeros:

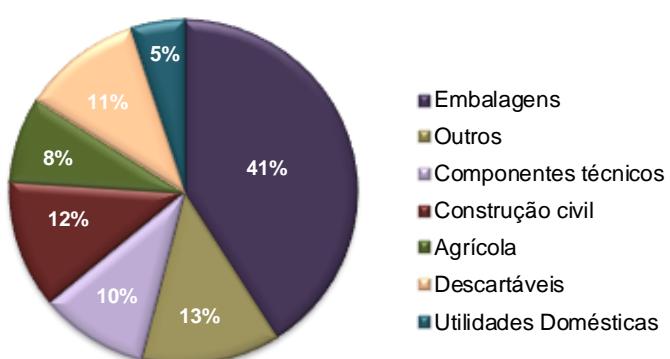
Figura 2 - Esquema de produção dos insumos necessários à produção de polímeros.



Fonte: ANTUNES (2007).

No Brasil, a maior parte da utilização dos polímeros do tipo plástico destina-se ao setor de embalagens com 41%, como pode-se observar no gráfico 4, o qual apresenta dados do mercado de plástico dividido por setores:

Gráfico 4 – Mercado de plásticos no Brasil por setor.



Fonte: NUNES (2018).

Os plásticos mais utilizados em aplicações são o poli(tereftalato de etileno) (PET), polietileno (PE), poliestireno (PS), polipropileno (PP) e poli(cloreto de vinila) (PVC), todos de origem fóssil e que apresentam tempo de degradação na natureza de mais de 100 anos em decorrência da sua alta massa molecular média, a qual dificulta a ação de micro-organismos (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

O desenvolvimento de materiais poliméricos obtidos a partir de fontes naturais não teve grande expressão e ocorreu de forma lenta ao longo do desenvolvimento dos materiais (PITT *et al.*, 2011). A primeira menção à borracha deve-se aos períodos de expedições de Cristóvão Colombo à América, do período de 1493 a 1496, em que observaram nativos se divertirem com bolas confeccionadas a partir da goma de uma árvore chamada “cau-uchu” ou “madeira cheirosa”, extraída da seringueira *Hevea brasiliensis* (ALVES, 2004).

Segundo NUNES (2018), a partir de 1970 o mercado de biopolímeros a partir de fontes renováveis começou a ganhar espaço, mas encontrou impasses no que se refere aos processos de produção, com baixa eficiência e alto preço. A partir da década de 90, surgiram os biopolímeros biodegradáveis de fontes não renováveis, os quais eram mais baratos. Assim, as empresas pararam de investir em pesquisas de biopolímeros de fontes renováveis.

Nos dias atuais, em decorrência das variações nos preços do petróleo e dos danos ambientais causados pelo uso de recursos fósseis, as empresas voltaram a investir no desenvolvimento de pesquisas que reduzam os custos, otimizem os processos e aperfeiçoem as características dos biopolímeros e polímeros de fontes renováveis (BASTOS, 2007).

## 8 BIOPOLÍMEROs: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável

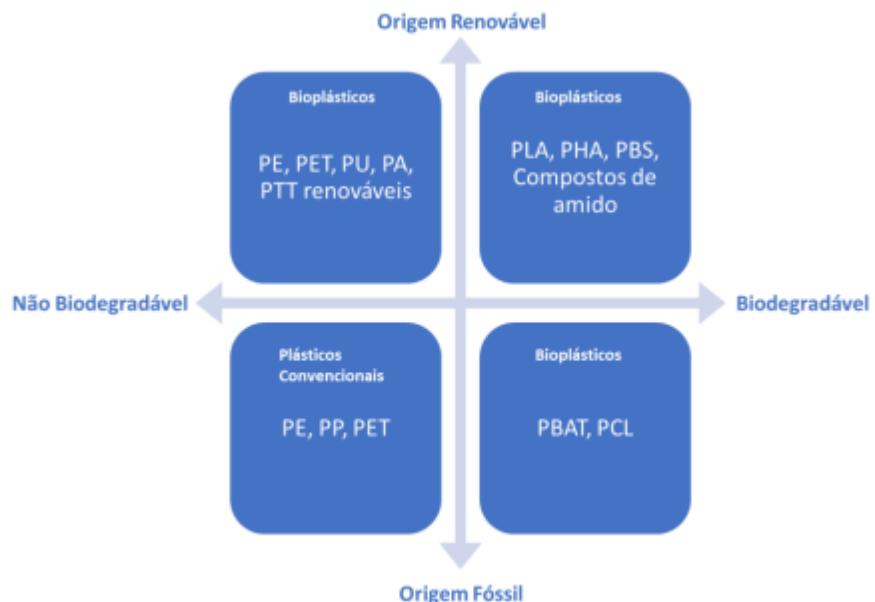
Biopolímeros, também denominados como bioplásticos, são polímeros ou copolímeros, os quais podem ser naturais e confeccionados a partir de materiais como resinas extraídas de plantas, fibras vegetais, peles de animais e outros, muitas vezes na sua forma natural e outras vezes modificados por processos especiais. Os biopolímeros também podem ser sintéticos, os quais são obtidos a partir de fontes naturais, tendo suas propriedades físico-químicas modificadas a partir de processamentos para se obter as características desejadas (ANDRADE *et al.*, 2001).

Há uma falta de padronização ao que se refere o termo “biopolímeros”. Na literatura, existem três grupos diferentes com esta denominação, os quais podem caracterizar polímeros que possuem matérias-primas de fontes renováveis, polímeros que são biocompatíveis e os polímeros biodegradáveis (PITT *et al.*, 2011). Segundo a European Bioplastics (2016), os polímeros obtidos a partir de fontes não renováveis, como petróleo, embora não sejam sustentáveis, podem apresentar características de biodegradação e serem considerados biopolímeros. Deve-se ressaltar que o objetivo do presente trabalho é à respeito de biopolímeros que possuem suas origens em fontes renováveis e são biodegradáveis.

Exemplos de materiais biocompatíveis podem ser encontrados no corpo humano, como próteses dentárias e lentes de contato. Esses materiais possuem como característica a compatibilidade com os organismos. Os biopolímeros biodegradáveis sofrem o processo de biodegradação, produzindo alguns componentes, como o dióxido de carbono, água e biomassa. Os polímeros renováveis são produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, as quais são caracterizadas assim por apresentarem ciclo de vida mais curto quando comparadas com a petroquímica.

A figura 3 apresenta a classificação de alguns polímeros quanto à sua origem e biodegradabilidade:

Figura 3 - Características de alguns polímeros conforme a matéria-prima e biodegradação.



Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2016).

No quadrante superior à esquerda, observa-se polímeros que podem ter origem renovável, mas que não são biodegradáveis, como por exemplo o poli(tereftalato de etileno) – PET, o qual também aparece no quadrante inferior à esquerda, pois também pode ter origem fóssil. Já nos quadrantes da direita têm-se os polímeros biodegradáveis, em que se pode destacar o PLA, PHA, PBS e Amido, os quais possuem origem renovável.

O quadro 1 apresenta a classificação dos principais plásticos utilizados quanto à origem das matérias-primas e as características de biodegradabilidade:

Quadro 1 - Classificação dos principais plásticos quanto à origem e biodegradabilidade.

PLÁSTICOS CONVENCIONAIS	ORIGEM	BIODEGRADABILIDADE
PE	Não renovável	Não biodegradável
PP	Não renovável	Não biodegradável
PET	Não renovável	Não biodegradável
PVC	Não renovável	Não biodegradável
BIOPLÁSTICOS	ORIGEM	BIODEGRADABILIDADE
PBTA	Não renovável	Biodegradável
PCL	Não renovável	Biodegradável
PLA	Renovável	Biodegradável
PHA	Renovável	Biodegradável
PBA	Renovável	Biodegradável
Plásticos de Amido	Renovável	Biodegradável
PE (base etanol)	Renovável	Não biodegradável
PET (base etanol)	Renovável	Não biodegradável
PA	Renovável	Não biodegradável
PTT	Renovável	Não biodegradável

Fonte: NUNES (2018)

Diante do aumento do número de resíduos sólidos descartados no meio ambiente, em que grande parte é composta por plásticos de fontes não renováveis, os quais demoram centenas de anos para se decomporem na natureza, poluindo o ar, solos, rios etc., uma das alternativas para contornar o problema a longo prazo é através do desenvolvimento e da utilização de materiais sustentáveis, os quais devem substituir os de origem petroquímica, no qual se destacam os bioplásticos, com ênfase para o setor de embalagens.

Os bioplásticos podem ser utilizados em substituição a diversos polímeros de origem petroquímica, conforme pode ser observado no quadro 2:

Quadro 2 - Possibilidade de substituição de alguns polímeros petroquímicos por biopolímeros.

<b>Polímero</b>	<b>PVC</b>	<b>PEAD</b>	<b>PEBD</b>	<b>PP</b>	<b>PS</b>	<b>PET</b>
<b>Amido</b>	-	+	+	+	+	-
<b>PLA</b>	-	+	-	+	+	+
<b>PHB</b>	-	+	-	++	+	-
<b>PHBHx</b>	+	++	++	++	+	+

++ substituição completa; + substituição parcial; - não substitui.

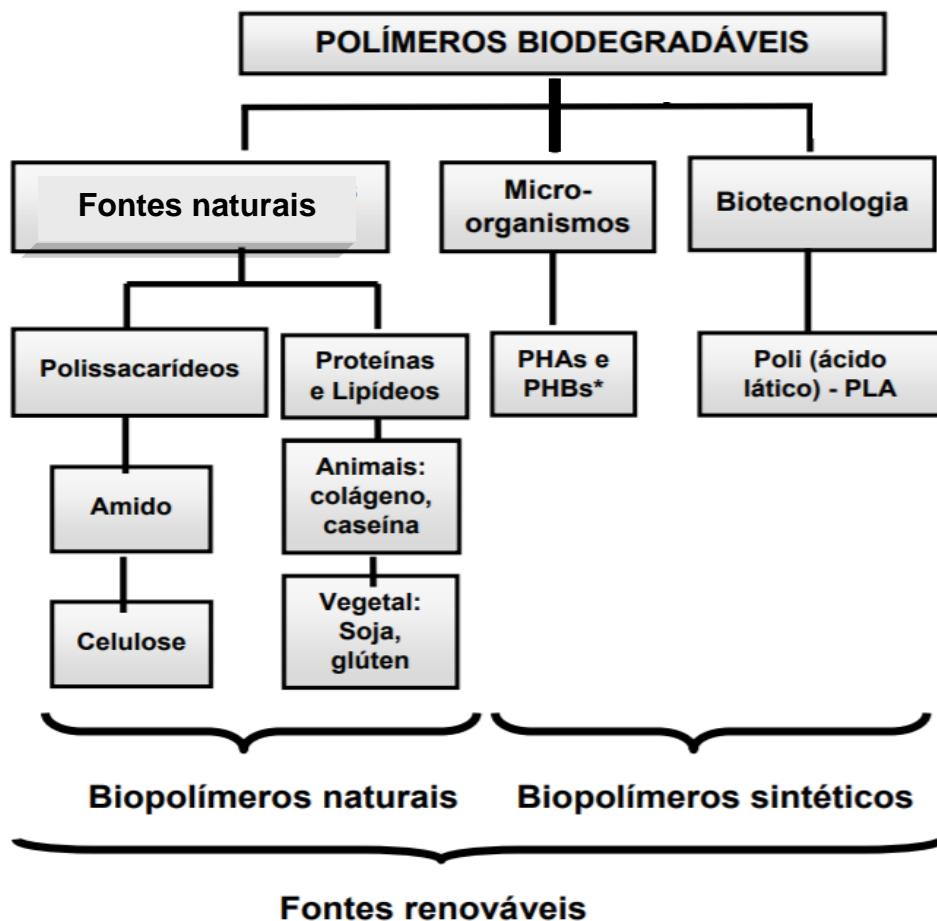
Fonte: PRADELLA (2006).

Embora esses biopolímeros apresentem grandes vantagens no que diz respeito às suas características de biodegradação, o que favorece a redução de resíduos sólidos no meio ambiente, ainda são um desafio devido ao alto custo e baixo desempenho de sua produção, além de suas propriedades físicas e mecânicas, as quais ainda precisam ser estudadas e melhoradas, como resistências térmica e mecânica.

## **9 BIOPLÁSTICOS PROMISSORES**

Polímeros biodegradáveis e obtidos a partir de fontes renováveis podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais são obtidos da biomassa de produtos de fontes agrícolas ou são de origem animal, como, por exemplo, o amido e o colágeno. Já os sintéticos podem ser obtidos a partir da biotecnologia, como o poli(ácido lático), ou até mesmo sintetizado por bactérias, como os spoli(hidroxialcanoatos). A figura 4 apresenta uma classificação geral de alguns polímeros biodegradáveis quanto a fonte de origem:

Figura 4 - Classificação geral de polímeros biodegradáveis a partir da fonte de obtenção.



\*PHAs: Poli(hidroxialcanoatos) e poli(hidroxibutiratos).

Fonte: Adaptado de CRUZ (2018).

Os polímeros biodegradáveis de origem sintética apresentam vantagens em relação aos obtidos de fontes naturais, pois são mais versáteis, com um amplo campo de atuação. Além disso, são capazes de adaptarem-se às necessidades conforme a aplicação. Por outro lado, os polímeros naturais ainda apresentam limitações no número de utilizações em substituição aos polímeros de origem fóssil, pois seus processos de produção são caros e suas propriedades mecânicas não são satisfatórias (CRUZ, 2018).

Segundo COLTRO (2005), diversos tipos de embalagens biodegradáveis, como copos, garrafas e bandejas, podem ser produzidos nos mesmos equipamentos e utilizando técnicas semelhantes às da produção dos plásticos petroquímicos. No entanto, as características mecânicas, térmicas, de barreira aos gases e ao vapor d'água são decisivas para a utilização dos materiais em aplicações distintas.

Diversas pesquisas estão sendo realizadas a partir de materiais de fontes renováveis e biodegradáveis, para o desenvolvimento de novos materiais que possam substituir os plásticos convencionais (CRUZ, 2018). Para a obtenção de bioplásticos com as características desejáveis para determinada aplicação, o conhecimento a respeito de suas propriedades e limitações é essencial (CRUZ, 2018). Assim, pode-se utilizar uma mistura de biopolímeros naturais para se obter vantagens e as propriedades necessárias para a sua utilização (SMITH, 2005). Além disso, a estrutura dos biopolímeros permite a adição de aditivos funcionais, como antioxidantes e nutrientes, podendo melhorar a qualidade do produto e aumentar a sua vida útil (MITELUT *et al.*, 2015).

O quadro 3 apresenta um resumo dos principais bioplásticos, suas características, aplicações e produtos que substitui:

Quadro 3 - Principais bioplásticos e suas características.

CATEGORIA	PRODUTO	TIPO DE POLÍMERO	ESTRUTURA/MÉTODO DE PRODUÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS QUE SUBSTITUI	OBSERVAÇÕES
	Polímeros do amido	Polissacarídeos	Polímero natural modificado com base no amido	Embalagens (filmes, recobrimento)	Petroquímica	Biocompatível
	Polilactatos (PLA)	Poliéster alifático	Ácido lático (AL) produzido por fermentação seguido de polimerização	Embalagens (70%) Fios sutura (80%)	PS cristal, PET	Bioplástico com maior capacidade de produção. Propriedades semelhantes aos termoplásticos sintéticos.
Bioplásticos	Polidioxialcanoatos (PHA)					
	Poli(3-hidroxibutirato) (PHB)	Poliéster (biodegradável, biocompatível)	Produzido por fermentação direta de fonte de carbono por micro-organismos ou em vegetais geneticamente modificados	Propriedades semelhantes às dos termoplásticos sintéticos; biocompatível, é usado na área médica (fios sutura, moldes para engenharia de tecidos, matriz para liberação controlada de fármacos)	PP, PS, PEBD e na área médica o PLA	Família de poliésteres produzidos por bactérias, com base em fontes renováveis.
	Copolímero PHB+3-hidroxivalerato (PHBV/HV)					
	Copolímero PHB+3-hidroxihexanoato (PHB/HHX)					
	Poliésteres alifáticos-aromáticos (PAA)					
	Politintileno tereftalato (PTT)	Poliéster	PDO produzido por fermentação seguido de copolimerização com AT (ou DMT)	Fibras para confecções e carpetes, frascos e garrafas	Nylon/PET	Produzido com base em m diol copolimerizado com 1 ou + ac. Carboxílicos. Perspectivas com biotecnologia.
	Polibutileno tereftalato (PBT)		BDO produzido por fermentação seguido de copolimerização com AT		Nylon/PET	
	Polibutileno succinato (PBS)		BDO copolimerizado com AS, ambos produzidos por fermentação	Embalagens	PLA	
	Nylon					
	Nylon 6		Por condensação de caprolactama e esta produzida por fermentação			
	Nylon 66	Poliimidas	Por condensação de hexametilenodiamina (HMD) e ácido adipico, este último produzido por fermentação	Estabilizante, espessante, emulsificante (indústrias farmacêutica, química, cosmético, alimentos)	Nylon sintético	Poliamidas que possuem grupos funcionais amida.
	Nylon 69		Monômero obtido por transformação química do ácido oléico			

Fonte: Adaptado de BASTOS (2007).

A seguir serão descritos e caracterizados três diferentes polímeros biodegradáveis, obtidos a partir de diferentes fontes, que já são utilizados em substituição aos plásticos de origem petroquímica: amido termoplástico (fonte vegetal), poli(hidroxialcanoatos) - PHA (micro-organismos) e poli(ácido lático) – PLA (biotecnologia).

### **9.1 Amido termoplástico (TPS)**

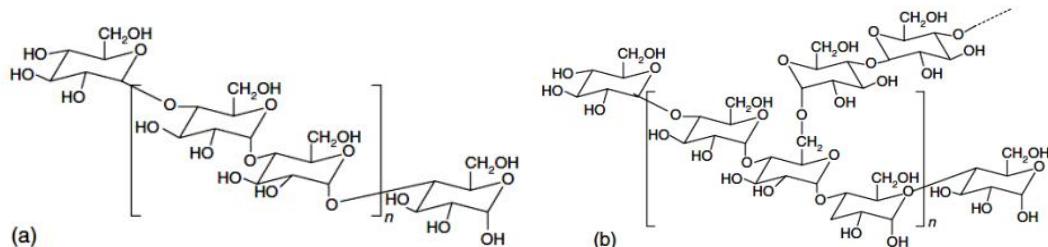
O amido é um polissacarídeo composto por unidades de glicose. Suas moléculas são semicristalinas e apresenta alta massa molecular. É o carboidrato mais comum encontrado na alimentação humana e pode ser obtido a partir de fontes vegetais como a batata, mandioca, milho, trigo, aveia, arroz etc. Depois da celulose, é o biopolímero mais abundante na terra e por isso é muito utilizado para diversas aplicações (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Em decorrência da sua alta disponibilidade e do seu baixo preço, o amido tem sido considerado como um polímero importante no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. No entanto, os filmes de amido normalmente não apresentam propriedades mecânicas ideais para a sua utilização em substituição aos polímeros de origem petroquímica. Assim, muitos estudos estão sendo desenvolvidos para promover modificações estruturais ao biopolímero, os quais incluem o desenvolvimento de polímeros híbridos (compostos por moléculas orgânicas e inorgânicas) e o preenchimento com fibras naturais (SILVA, 2012).

A aptidão do amido em formar filmes poliméricos está relacionada às propriedades químicas e físicas de sua estrutura, a qual é formada por moléculas de amilose e amilopectina. A amilopectina possui estrutura ramificada o que resulta na cristalinidade da molécula de amido, enquanto a amilose apresenta estrutura linear. Quando em solução, as moléculas de amilose, devido à sua linearidade, tendem a se posicionar paralelamente umas às outras, formando ligações de hidrogênio entre as hidroxilas adjacentes (SUZANA, 2010), resultando

em pastas opacas e filmes resistentes. A figura 5 apresenta as estruturas da amilose e da amilopectina:

Figura 5 - Estruturas da amilose (a) e da amilopectina (b).



Fonte: BELGACEM *et al.*, ( 2008).

As composições de amilose e amilopectina variam de uma fonte para outra, conforme pode ser observado na tabela 2. Segundo WOOGUM *et al.* (2014), fontes contendo altos teores de amilose são preferíveis, pois estas conferem características como resistência, redução da solubilidade em água, além de conferirem propriedades mecânicas mais estáveis em umidades relativamente altas, melhoraram as propriedades de barreira contra o oxigênio etc. Em contrapartida, as propriedades mecânicas dos biopolímeros são reduzidas em decorrência das ramificações da estrutura das amilopectinas (AZEVEDO, 2018).

Tabela 2 - Composição de amilose em diferentes fontes vegetais.

Fonte vegetal	Amilose (%)
Milho	25
Batata	23
Arroz	15-25
Trigo	20
Mandioca	16-20

Fonte: Adaptado de GARCIA (1999).

Para a produção do amido termoplástico (TPS) é necessário a adição de plastificantes, os quais são responsáveis por reduzir a temperatura de transição

vítrea ( $T_g$ ) do amido. As propriedades mecânicas de polímeros amorfos dependem diretamente da  $T_g$ , pois materiais expostos a temperaturas abaixo da  $T_g$ , apresentam rigidez e baixa mobilidade. No entanto, materiais acima da  $T_g$  apresentam maior mobilidade e flexibilidade (MALI, 2010).

Segundo MENDES *et al.*, (2016), a aplicabilidade e processamento de filmes a base de amido é restrita, pois os filmes produzidos são frágeis e hidrofílicos. Além disso, durante o armazenamento do filme de amido, a amilopectina apresenta tendência a formar uma cadeia linear, repelindo a água, o que resulta em sua cristalização, reduzindo as propriedades do filme de amido (AVÉROUS *et al.*, 2012). Por outro lado, devido às características das estruturas dos biopolímeros, uma solução para melhorar as propriedades dos filmes de amido é a partir da adição de aditivos funcionais, como antioxidantes, aromatizantes, pigmentos e nutrientes (MALI, 2010). O quadro 4 apresenta o potencial de substituição de polímeros convencionais por biopolímeros a base de amido, de acordo com duas grandes empresas, Novamont e Biotec:

Quadro 4 - Potencial de substituição de polímeros por biopolímeros a base de amido.

	<b>Novamont</b>	<b>Biotec</b>
<b>PVC</b>	+	+
<b>PEHD</b>	+	+
<b>PELD</b>	+	+
<b>PP</b>	+	+
<b>PS</b>	+	+
<b>PMMA</b>	-	-
<b>PA</b>	+	-
<b>PET</b>	+	-
<b>PBT</b>	-	+
<b>PC</b>	-	-
<b>POM</b>	-	-
<b>PUR</b>	+	-
<b>ABS</b>	-	+

++ substituição total  
+ substituição parcial  
- não substitui

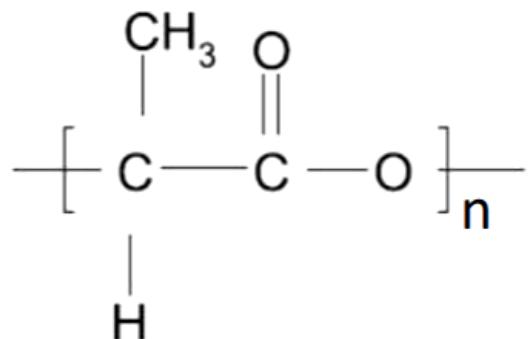
Fonte: Adaptado de SHEN *et al.* (2009).

## 9.2 Poli (ácido lático) – PLA

O poli(ácido lático) – PLA é um dos biopolímeros biodegradáveis mais utilizados em substituição aos materiais convencionais, pois apresenta boas características mecânicas e térmicas em comparação aos outros polímeros biodegradáveis (BELLOLI, 2010). O PLA pode se empregado em diferentes tipos de embalagens, como alimentícia, cosméticos, sacolas plásticas, garrafas, bandejas, copos, pratos etc. Além disso, ele também pode ser utilizado na industrial têxtil e em filmes para o agronegócio. Sua característica de biocompatibilidade permite que também seja utilizado na área da saúde, como em implantes cirúrgicos, fibras de sutura e como capsulas de medicamentos.

O PLA, apresentando na figura 6, possui fórmula química  $[(C_3H_4O_2)_n]$ , é formado a partir da polimerização por condensação do ácido lático. É um poliéster alifático, termoplástico, amorfó ou semicristalino. Este biopolímero possui dois estereoisômeros: L-ácido lático e D-ácido lático. As composições destes estereoisômeros interferem diretamente nas características e propriedades dos bioplásticos, e serão resultados do tipo de síntese utilizada para a produção (BRITO *et al.*, 2011).

Figura 6 - Estrutura química do PLA.



Fonte: TROVATTI *et al.* (2016).

A síntese do ácido lático utilizado na produção do PLA pode ser feita por via química ou biotecnológica. A síntese química não é de ordem renovável, pois é utilizado um derivado petroquímico para sua produção. Já a síntese biotecnológica é realizada por micro-organismos, dentre os quais pode-se citar os do gênero *Lactobacillus* (NARAYANAN, 2004).

O ácido lático sintetizado biologicamente, além de ser renovável, apresenta alto rendimento e baixo impacto ambiental, e ainda utiliza matéria-prima de baixo custo. As matérias-primas ideais para as sínteses devem possuir nutrientes para que os micro-organismos realizem a fermentação, como, por exemplo, o amido e o açúcar, os quais podem ser obtidos a partir de fontes vegetais como o milho, batata, beterraba, cana-de-açúcar etc. (MADHAVAN *et al.* 2010).

O PLA apresenta propriedades que o permitem ser utilizado em diversos tipos de aplicações, com características comparáveis aos plásticos convencionais. Possui boa resistência térmica e mecânica, elasticidade, rigidez, transparência, é biodegradável e biocompatível, além de poder ser moldado (ZHANG *et al.*, 2005). Segundo PEREIRA (2017), o PLA apresenta propriedades mecânicas semelhantes ao poli(tereftalato de etileno) – PET e ao poliestireno (PS), podendo substitui-los em determinadas aplicações. Além disso, as propriedades do polímero podem ser melhoradas a partir da adição de grupos funcionais e da produção de blendas poliméricas com outros compostos. O quadro 5 apresenta o potencial de utilização do PLA em substituição a outros polímeros de acordo com duas empresas, NatureWorks e PURAC:

Quadro 5 - Potencial de substituição do PLA a outros polímeros.

	NatureWorks	PURAC
PVC	-	+/-
PEHD	+	+
PELD	+	+
PP	+	+
GPPS	-	+/-
PMMA	+/-	+/-
PA	+	+
PET	+	+/-
PBT	-	-
PC	-	+/-
POM	-	-
PUR	+/-	+/-
HIPS	-	+
ABS	-	+

++ substituição total  
 + substituição parcial  
 - não substitui

Fonte: Adaptado de SHEN *et al.* (2009).

Sob condições adequadas de armazenamento e utilização, o PLA mantém suas propriedades físicas durante anos. No entanto, sob condições de alta umidade e elevadas temperaturas, o poli(ácido lático) poderá sofrer hidrólise e posterior bioegradação pelo ataque de bactérias, degradando-se em questão de semanas ou meses.

### 9.3 Polihidroxialcanoatos – PHA

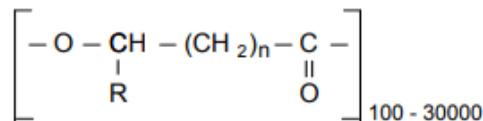
Polihidroxialcanoatos (PHAs) é o nome utilizado para designar um grupo de poliésteres sintetizados por micro-organismos. O processo de síntese consiste em duas etapas: primeiramente, os micro-organismos recebem nutrientes para a sua reprodução e crescimento. Quando já atingiram as concentrações desejadas, inicia-se a segunda etapa, em que há excesso de substrato com fontes de carbono e cessa-se a disponibilidade de nutrientes essenciais como, por exemplo, o nitrogênio e o fósforo (VIEGAS, 2005). Como consequência, os micro-organismos utilizam os açúcares para a sua alimentação e grânulos de

poliésteres como reserva de energia são formados nos interiores desses organismos (SANTOS *et al.*, 2019).

Os micro-organismos produzem grânulos de poliésteres em seus interiores como reserva de energia (SANTOS *et al.*, 2019). A fonte de carbono e as espécies das bactérias utilizadas determinarão as características do polímero formado (VIEGAS, 2005). As estruturas desses polímeros apresentam como vantagem a possibilidade da adição de grupos funcionais, o que possibilita a alteração e adaptação das propriedades do polímero de acordo com as necessidades requeridas (FULLER, 1999 apud VIEGAS, 2005).

A figura 7 apresenta a estrutura monomérica básica dos poliésteres da família dos PHAs. As características do radical livre, da cadeia lateral e o valor de  $n$  determinarão as propriedades do monômero (LEE, 1996 apud VIEGAS, 2005). Dentre os poliésteres que constituem a família dos PHAs, o principal é o polihidroxibutirato (PHB). Outros poliésteres que constituem a família são: poli(hidroxibutirato-cohidroxivalerato) – PHBV, poli(hidroxibutirato-cohidroxihexanoato) – PHBHx, poli(hidroxibutirato-cohidroxioctanoato) – PHBO e o poli(hidroxibutirato-cohidroxioctadecanoato) – PHBOd (BRITO, 2011).

Figura 7 - Estrutura geral dos polihidroxialcanoatos (PHBs).



$n = 1$	$\text{R} = \text{hidrogênio}$	Poli (3-hidroxipropionato)
	$\text{R} = \text{metil}$	Poli (3-hidroxibutirato)
	$\text{R} = \text{etil}$	Poli (3-hidroxivalerato)
	$\text{R} = \text{propil}$	Poli (3-hidroxihexanoato)
	$\text{R} = \text{pentil}$	Poli (3-hidroxioctanoato)
	$\text{R} = \text{nonil}$	Poli (3-hidroxidodecanoato)
$n = 2$	$\text{R} = \text{hidrogênio}$	Poli (4-hidroxibutirato)
	$\text{R} = \text{metil}$	Poli (4-hidroxivalerato)
$n = 3$	$\text{R} = \text{hidrogênio}$	Poli (5-hidroxivalerato)
	$\text{R} = \text{metil}$	Poli (5-hidroxihexanoato)
$n = 4$	$\text{R} = \text{hexil}$	Poli (6-hidroxidodecanoato)

Fonte: (LEE, 1996 apud VIEGAS, 2005).

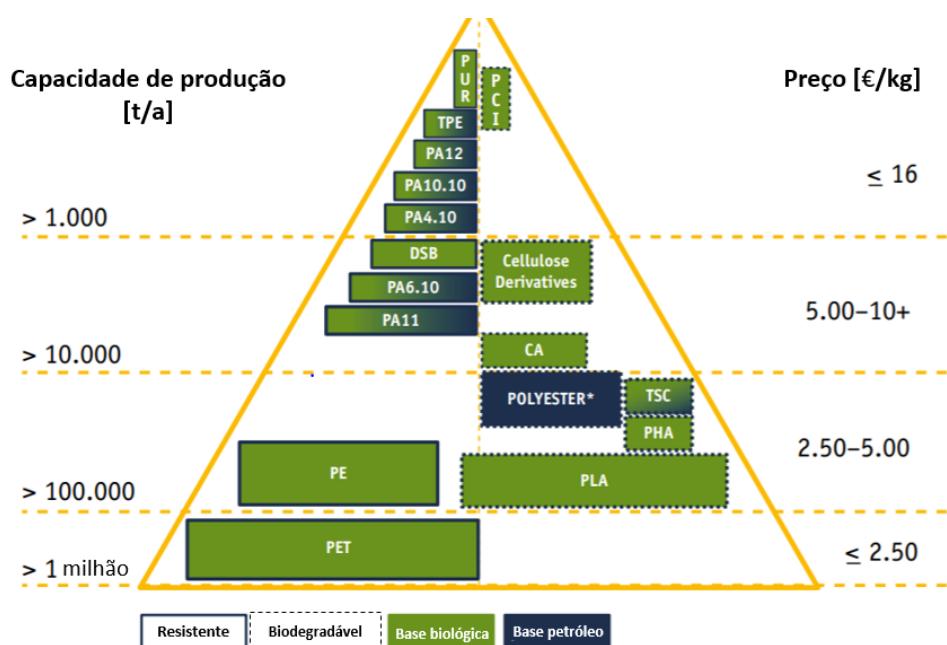
As propriedades mecânicas e térmicas dos polihidroxialcanoatos também dependem das composições dos monômeros. O PHB apresenta propriedades termoplásticas que permitem a sua moldagem e a sua aplicação como filmes em diversos segmentos (CHANDRA, 1998 apud FONSECA, 2014), na manufatura de garrafas, fibras, embalagens etc. Segundo VIEGAS (2005), os polihidroxialcanoatos podem ser aplicados na medicina, como em fios para sutura, utilização em cápsulas de medicamentos.

## 10 DESAFIOS DOS BIOPLÁSTICOS

Segundo CASTRO (2019), diante de um mercado consolidado, com processos e produtos bem estabelecidos, o desenvolvimento de novos materiais pode ser arriscado, pois o investimento pode ser alto frente a possível preferência dos consumidores aos produtos e processos já bem consolidados. Ainda que os biopolímeros apresentem diversos benefícios para a promoção do desenvolvimento sustentável, existem diversos entraves que dificultam a popularização de suas aplicações em substituição aos polímeros de origem petroquímica.

Os processos de produção de bioplásticos a partir de fontes renováveis e com características de biodegradação apresentam altos custos quando comparados aos plásticos tradicionais. A figura 8 apresenta dados do mercado de biopolímeros em 2014, em que é possível observar que o custo de produção de bioplásticos como o PHA, PLA e TSC (compósitos de amido) variou entre 2,50 e 5,00 Euros por quilograma do material. Em contrapartida, o preço do PET foi abaixo de 2,50 Euros por quilograma de material.

Figura 8 - Mercado de biopolímeros (2014).



Fonte: Adaptado de IFBB (2016).

Para a popularização de novos biomateriais no mercado é necessário a construção de um bom relacionamento entre empresas, consumidores e fornecedores. Além disso, os processos de produção devem ser mais viáveis economicamente e comprovadamente mais sustentáveis. Segundo CASTRO (2019), o mercado de plásticos convencionais possui bastante maturidade, enquanto o mercado de biopolímeros ainda é muito incipiente e ainda encontrará avanços que permitirão o desenvolvimento de processos mais baratos.

Outro ponto importante para a promoção dos biopolímeros está relacionado a sua biodegradabilidade e seu reaproveitamento a partir das cadeias de reciclagem de plásticos convencionais. Segundo QUEIROZ (2015), biopolímeros como o PHA e o PLA são biodegradáveis apenas em condições favoráveis. Assim, dizer que um polímero é biodegradável não quer dizer que ele pode ser descartado no meio ambiente sem causar nenhum dano aos ecossistemas presentes.

A coleta e a destinação apropriada para os bioplásticos é fundamental para a sua reciclagem ou reaproveitamento energético. No entanto, os biopolímeros por possuirem características inferiores aos plásticos convencionais precisam ser separados para não interferirem negativamente nas propriedades dos plásticos tradicionais reciclados (PE, PP, PET etc), uma vez que a taxa de reciclagem desses materiais é de apenas 30%. Assim, são necessários os desenvolvimentos de uma cadeia de reciclagem apropriada para esses bioplásticos e de processos para a identificação desses materiais, para realizar a sua separação de outros materiais (QUEIROZ, 2015).

Os bioplásticos destinados a aterros sanitários, sob condições ideais de biodegradação, desintegram-se mediante a ação de bactérias, fungos e suas enzimas, as quais utilizam o polímero como alimento, na presença de gás oxigênio, não deixando resíduos tóxicos ou perigosos ao meio ambiente (ASSIS, 2009). Além disso, o material ao se biodegradar libera água e gás carbônico,

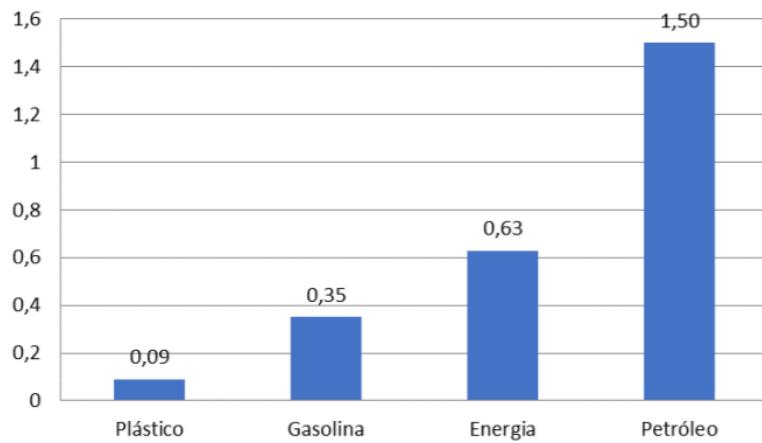
concluindo o ciclo de vida sem grandes impactos ao meio ambiente. No entanto, perde-se a oportunidade de recuperação do material e de toda a energia que foi utilizada em sua produção (QUEIROZ, 2015).

Por outro lado, se os bioplásticos forem destinados a aterros sem as condições ideais de biodegradação, como umidade, pH, temperatura etc, e na ausência de oxigênio, o material sofrerá degradação anaeróbica (na ausência de oxigênio), tendo como principal produto o metano, o que pode ser interessante caso o aterro tenha sido projetado para a captura desse gás, que posteriormente poderá ser utilizado como fonte de energia (ASSIS, 2009) ou poderá ser prejudicial ao meio ambiente, uma vez que este gás é mais agressivo em termos de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global (QUEIROZ, 2015).

Outros desafio a ser superado para a promoção dos bioplásticos refere-se as discussões a respeito da utilização de matérias-primas de origem agrícola para a produção de biomateriais. Uma vez que para a produção de biopolímeros necessita-se de fontes vegetais da base alimentar, como o milho, mandioca, cana-de-açúcar etc, assume-se a reflexão de que esses produtos podem ocupar terras destinadas ao plantio de alimentos, competindo com produtos destinados a alimentação (NUNES, 2018).

No entanto, segundo a European Bioplastics (2018), a área ocupada pelo plantio de matérias-primas destinadas a produção de biomateriais representa 0,016% do total de terra destinada a agricultura. Segundo estimativas, em 2022 esta proporção será de 0,020%, o que reafirma a não competição com a produção de alimentos. O gráfico 5 apresenta dados da proporção de terra necessárias para a substituição de 20% de cada fonte de energia ou material, em que se pode observar que, por exemplo, para substituir 20% da gasolina fóssil por renovável, é necessário quatro vezes a mesma quantidade de terra para a substituição de 20% de plásticos

Gráfico 5 - Proporção de terra necessária para a substituição de 20% da energia ou material total.



Fonte: Adaptado de Endres e Siebert-Raths (2011 apud OECD, 2013).

## 11 ANÁLISE DO CENÁRIO DE BIOPOLÍMERO NO BRASIL

Para investigar as frentes de pesquisa e inovação de biopolímeros e analisar em que cenário o Brasil se encontra na produção destes biomateriais, realizou-se um monitoramento tecnológico com base em artigos, teses, dissertações e outras publicações úteis da plataforma do *Google Acadêmico*, a qual consiste numa base de dados que reúne diversas publicações da comunidade acadêmica.

Para realizar a pesquisa, as palavras-chaves inicialmente empregadas foram “biopolymers” e “Brazil”, desde o ano de 2010, o que resultou em 15.700 publicações encontrados. Assim, optou-se por adicionar outras palavras chaves, para filtrar o conteúdo, as quais foram “bioplastics” e “biodegradation”, o que resultou em 2.550 publicações. Em seguida, alguns dos resultados encontrados foram analisados e observou-se que a maioria deles se tratava de assuntos relacionados a outros países. Como o objetivo do trabalho era o de analisar o cenário do Brasil, optou-se por utilizar todos os termos em português, para filtrar as informações relevantes para a pesquisa. As palavras-chaves empregadas inicialmente foram: “biopolímero”, “Brasil” e “biodegradável”, o que resultou, desde o ano de 2010, em 9.580 publicações

Para realizar uma análise amostral das publicações encontradas, optou-se por adicionar outras palavras chaves, considerando os últimos quatro anos. As novas palavras-chaves foram: “biopolímero”, “bioplástico”, “Brasil”, “renovável” e “biodegradável”, a partir das quais foram encontrados 184 resultados. O número de publicações não reflete o cenário real dos estudos no Brasil. O objetivo de realizar todos esses filtros é ter uma amostragem para a realização de análises e verificação dos principais tipos de aplicações e matérias-primas que estão sendo estudadas, por exemplo.

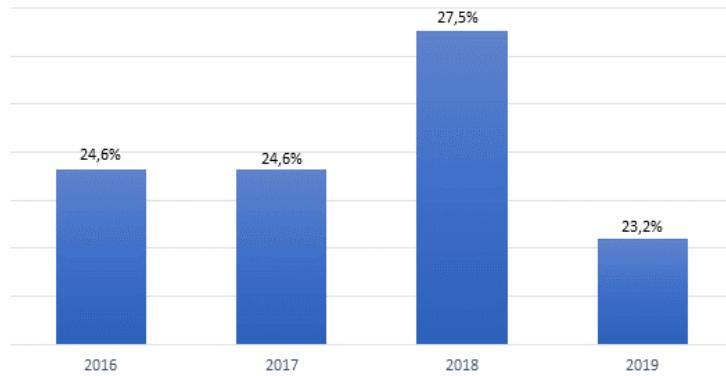
A partir dos resultados encontrados, realizou-se uma análise macro, a partir da revisão dos títulos dos textos, para identificar publicações duplicadas e eliminar as que não eram de interesse. Além disso, eliminou-se também as que não foram realizadas em instituições nacionais. Assim, metade do conteúdo foi eliminado, restando apenas 87 publicações. Na sequência, analisou-se os resumos de todas as publicações e, quando necessário, a análise de seus objetivos e conclusões, para definir as que eram pertinentes para a pesquisa, chegando no número final de 69 publicações relevantes, as quais podem ser consultadas a partir do Apêndice A.

As pesquisas foram analisadas mais detalhadamente de acordo com os seguintes critérios:

- Ano de pesquisa;
- Instituição de pesquisa;
- Estado brasileiro;
- Biopolímero estudado;
- Aplicações;
- Matéria-prima utilizada;
- Tipo de pesquisa.

O gráfico 6 apresenta a distribuição dos trabalhos de acordo com o ano de publicação, de 2016 a 2019, em que é possível observar que a distribuição do número de artigos publicados por ano a cada ano é muito próxima.

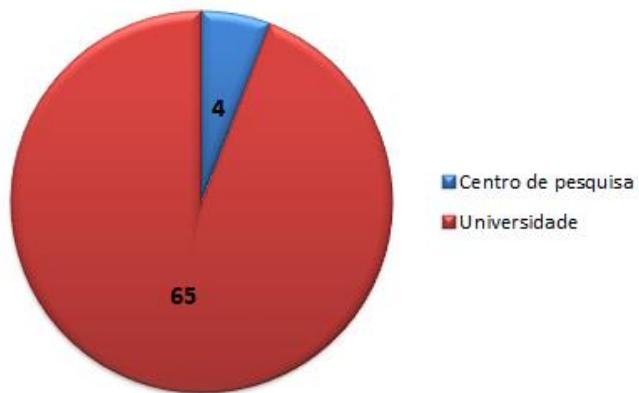
Gráfico 6 - Número de publicações sobre biopolímeros por ano.



Fonte: Elaboração própria.

As instituições de pesquisas foram classificadas de acordo com o centro de pesquisa, empresa ou universidade. O resultado pode ser observado no gráfico 7, em que é possível observar que 94,2% das publicações foram feitas por universidades.

Gráfico 7 - Distribuição das publicações por instituição.



Fonte: Elaboração própria.

A tabela 3 apresenta as principais instituições de pesquisa, com no mínimo duas publicações no período de 2016 a 2019. O número total de centros de pesquisa foi de 42:

Tabela 3 - Principais centros de pesquisa analisados.

<b>Centro de Pesquisa</b>	<b>Nº de Publicações:</b>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	6
Universidade Estadual de Campinas	6
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	5
Universidade Federal de São Carlos	4
Universidade Estadual Paulista	3
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	3
Universidade Federal Rural do Semi-Árido	2
Universidade Federal de Pelotas	2
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	2
Universidade Federal de Viçosa	2
Universidade de Brasília	2
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	2

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 4 apresenta o número de publicações por estado do Brasil, em que é possível observar que 61% das publicações estão concentradas nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul.

Tabela 4 - Número de publicações por estado brasileiro.

<b>Estado</b>	<b>Nº de Publicações:</b>	<b>% Total</b>
São Paulo	19	28%
Paraná	13	19%
Rio Grande do Sul	10	14%
Rio Grande do Norte	5	7%
Rio de Janeiro	5	7%
Minas Gerais	4	6%
Bahia	3	4%
Santa Catarina	2	3%
Distrito Federal	2	3%
Pernambuco	2	3%
Sergipe	1	1%
Mato Grosso do Sul	1	1%
Goiás	1	1%
Manaus	1	1%

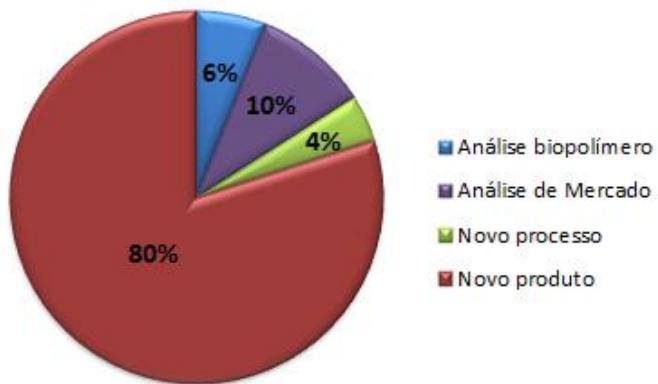
Fonte: Elaboração própria.

Os trabalhos também foram analisados de acordo com o objetivo da pesquisa, sendo classificados como:

- a) Criação de um novo produto: destina-se as pesquisas realizadas com o objetivo de produzir um novo biopolímero, o que inclui biomateriais já conhecidos, mas obtidos a partir de outras fontes, por exemplo;
- b) Criação de um novo processo: destina-se as pesquisas realizadas para otimização ou criação de processos para a produção de biopolímeros já existentes;
- c) Análise de um biopolímero: destina-se as pesquisas realizadas para analisar as propriedades de um biopolímero conhecido;
- d) Análise do mercado: destina-se as publicações que não fazem menção a nenhum novo biopolímeros ou processo, mas que analisam os cenários de produção e aplicação e as suas perspectivas.

O gráfico 8 apresenta os resultados, em que é possível observar que a maior parte das pesquisas trata do desenvolvimento de novos biopolímeros:

Gráfico 8 - Distribuição por objetivo da pesquisa realizada.

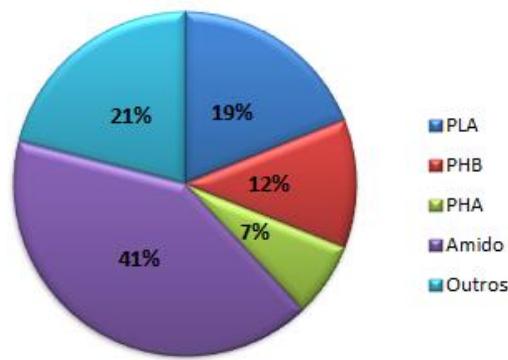


Fonte: Elaboração própria.

A maioria das pesquisas para o desenvolvimento de novos produtos trata do estudo de blendas e compósitos, a partir da adição de outros materiais a biopolímeros conhecidos ou da produção de um mesmo biopolímero a partir de diferentes fontes, para melhorar suas propriedades, aumentando a sua aplicabilidade. O gráfico 9 apresenta os principais polímeros mencionados nas

publicações, em que é possível observar que 41% das pesquisas mencionam biomateriais a base de amido.

Gráfico 9 - Principais biopolímeros mencionados.



Fonte: Elaboração propria.

Em relação as matérias-primas utilizadas nas pequisas, a maioria mencionou fontes de amido, como era de se esperar, a partir do último gráfico. Além disso, a partir da análise, verifica-se que há uma grande variação nos tipos das matérias utilizadas, como pode ser observado na tabela 5:

Tabela 5 - Matérias-primas mencionadas na publicação.

Fonte	Nº Menções	Fonte	Nº Menções
Mandioca	6	Pêssego	1
Quitosana	3	Cará	1
Cana-de-açúcar	3	Glicerina	1
Milho	2	Carnaúba	1
Café	2	Lobeira	1
Cúrcuma	2	Bananeira	1
Madeira	2	Tabado	1
Celulose	2	Maracujá	1
Babuácu	1	Babaçu	1
Árvore Embira	1	Pectina	1
Batata frita	1	Diversos óleos	1
Cajueiro	1	Borracha natural	1
Grafite expandido	1	Gama xantana	1
Camarão	1	Gelatina	1
Mandioquinha salsa	1	Acerola	1
Aveia	1	Cenoura	1

Fonte: Autoria própria.

As pesquisas também foram categorizadas a respeito de suas aplicações. A tabela 6 apresenta os resultados da análise, em que é possível observar que a maior parte é destinada a aplicações do tipo embalagens (comestíveis ou não).

Tabela 6 - Principais aplicações dos biopolímeros pesquisados.

Aplicação	%
Embalagens	29%
Filmes	19%
Embalagens comestíveis	17%
Área Medicinal	15%
Construção	4%

Aplicação	%
Fertilizantes	4%
Isolamento térmico	4%
Manufatura aditiva	4%
Filmes para mudas	2%
Fotodegradação	2%

Fonte: Autoria própria.

## 12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante os dados expostos, é possível verificar que a geração de resíduos sólidos no Brasil, alinhada ao baixo índice de coleta seletiva, a falta de destinação adequada dos resíduos, o baixo índice de reciclagem e da cultura do país pautada na rápida utilização e descarte, favorecem o acúmulo cada vez mais crescente de resíduos no meio ambiente, os quais prejudicam os ecossistemas presentes. Além disso, grande parcela dos resíduos é composta por materiais plásticos, principalmente embalagens, os quais possuem como matéria-prima a nafta petroquímica, podendo levar centenas de anos para se decomporem na natureza.

Para a promoção do desenvolvimento sustentável, os biopolímeros surgem como promessa por serem obtidos a partir de fontes renováveis, o que diminui a dependência em relação ao petróleo, reduz a emissão de gases causadores do aquecimento global e, além disso, esses biomateriais apresentam como vantagem a característica de sofrerem biodegradação a partir da ação de micro-organismos. No entanto, diversas barreiras precisam ser superadas para que os bioplásticos possam concorrer com o mercado de plásticos convencionais.

O primeiro ponto a ser considerado refere-se aos custos de produção. Os bioplásticos, além de serem caros, apresentam propriedades inferiores aos plásticos convencionais. As empresas ainda se deparam com custos muito altos quando comparados aos plásticos tradicionais. Assim, maiores investimentos no desenvolvimento de novos biomateriais e processos são necessários para a promoção dos bioplásticos. No entanto, é importante enfatizar que o mercado dos plásticos convencionais possui bastante maturidade, ao contrário dos biopolímeros, o qual ainda tem muito a ser desenvolvido e que, certamente, encontrará oportunidades de redução de custos.

Outro ponto importante a ser enfatizado e que muitas vezes causa confusão é quanto a biodegradação desses biomateriais. O fato do material ser biodegradável não significa que o mesmo poderá ser descartado em qualquer ambiente (solos, rios, mares etc) e que será degradado pela ação de micro-organismos sem ocasionar problemas ao meio. Os bioplásticos precisam ser coletados, separados e destinados a locais próprios, com características ideais de umidade, pH, temperatura etc e na presença de oxigênio para que sofram decomposição sem deixar resíduos tóxicos ou perigosos ao meio ambiente.

A partir da análise de prospecção tecnológica, verifica-se que o Brasil está no caminho para o desenvolvimento de novos biopolímeros. Conforme pode ser observado, inúmeras universidades no país apresentam pesquisas voltadas para a produção de novos biomateriais obtidos a partir de diversas fontes. Além disso, é possível observar que a maior parte das pesquisas destina-se a produção de embalagens para alimentos e filmes, a partir do qual pode-se concluir que para aplicações em embalagens de uso único as pesquisas estão mais avançadas se comparadas as aplicações que requerem melhores propriedades do biomaterial.

No que se refere a produção atual de biopolímeros por empresas no Brasil, não existem dados formais a respeito deste mercado. No entanto, muitas empresas de diversos segmentos estão afirmando o compromisso em reduzir o plástico de seus produtos. Como por exemplo, podemos citar a Cervejaria Ambev que anunciou em janeiro de 2020 seu comprometimento em eliminar o efeito poluente dos plásticos presentes nas embalagens de seus produtos até 2025 (BRITO, 2020). Outra empresa que já havia anunciado, em 2019, o compromisso de reduzir a quantidade de plásticos em 50% é a Unilever (LEITE, 2019). O compromisso de empresas de diversos segmentos é importante para a efetivação do mercado de biopolímeros, pois, além da redução da poluição por embalagens plásticas, haverão maiores investimentos em pesquisas e desenvolvimento.

## 13 CONCLUSÃO

Como pode-se observar mediante os dados apresentados, o Brasil apresenta baixa taxa de coleta seletiva e taxa de reciclagem inferior à média mundial. Assim, conclui-se com este trabalho que para o país apenas a consolidação de pesquisas e do mercado de biopolímeros em substituição aos plásticos convencionais não é suficiente para o desenvolvimento sustentável, uma vez que os biomateriais ainda precisarão serem reciclados e destinados a locais apropriados para que ocorra a sua biodegradação ou reaproveitamento energético. Portanto, maiores investimentos devem ser feitos em coletas seletivas e reciclagem, além de leis públicas e políticas educacionais que incentivem o reaproveitamento e reciclagem de embalagens.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.
- ALLGANER, K. **Emissões de CO<sub>2</sub> como parâmetro da Avaliação do Ciclo de Vida do amido de milho plastificado com glicerol destinado à compostagem**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- ALVES, M. R.C. **Estudo da borracha natural para utilização em períodos de entressafra num mesmo compósito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- ANDRADE, Cristina T.; COUTINHO, Fernanda M. B.; DIAS, Marcos L.; LUCAS, Elizabete F.; OLIVEIRA, Clara Marize F.; TABAK, David. **Dicionário de Polímeros**. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2001.
- ANTUNES, Adelaide Maria de Souza. **Setores da Indústria Química Orgânica**. Rio de Janeiro, Editor E-papers, 2007.
- ASSIS, E. C. **Embalagens alimentícias produzidas em polihidroxido butirato (PHB), como alternativa ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Produção) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.
- AVÉROUS, L. **Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications**. In: Belgacem M. N.; Gandini A. Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources. Oxford: Elsevier, 2008.
- AZEVEDO, L. C.; SÁ, A. S. C.; ROVANI, S.; FUNGARO, D. A. **Propiedades do amido e suas aplicações em biopolímero**. Rev. Cad. Prospec., Salvador, v.11, 2018.
- BASTIOLI, C. **Handbook of Biodegradable Polymers**. Shawbury: Rapra Technology Limited, 2005.
- BASTOS, V. D. **Biopolímeros e polímeros de matérias-primas renováveis alternativos aos petroquímicos**. Rio de Janeiro. BNDES Setorial, V. 14, N. 28, p. 201-234. 2017. Disponível em: < <https://web.bnDES.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2020.
- BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. The State of the Art. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Oxford: Elsevier, 2008.
- BELLOLI, R. **Polietileno verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: Biopolímero de classe mundial**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

BRITO, S. **Ambev pretende zerar a poluição por plásticos de embalagens até 2025.** Revista Veja - Editora Abril. 2020. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/ambev-pretende-zerar-a-producao-de-embalagens-plasticas-ate-2025/>>. Acesso em: 02 de fev. 2020.

BOFF, L. **Sustentabilidade O que é – O que não é.** 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes. set., 2016.

BOWER, D. I. **An Introduction to Polymer Physics;** Cambridge University Press: Cambridge, 2002.

BRITO, G. F; AGRAWAL, P; ARAÚJO, E. M; MÉLO, T. J. A. **Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

BRUICE, P. Y. **Química orgânica.** 4. Ed. V.2. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

BULÉON, A. COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. **Starch granules: structure and biosynthesis.** International Journal of Biological Macromolecules, v.23, p.85- 112, 1998. ISSN 0141-8130.

CALEGARI, E. P; OLIVEIRA, B. F. **Biopolímeros: materiais promissores para a substituição de polímeros petroquímicos.** Fourth Internation Conference on Integration of Design, Engineering and Management for innovation. Florianópolis, 2015.

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: Artliber, 2006.

CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. **Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico.** Montevideo, 2004. Disponível em: <[https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/papeles\\_14.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/papeles_14.pdf)>. Acesso em: 20 de jan. 2020.

CASTRO, T. H. B. **Os bioplásticos: impactos ambientais e perspectivas de mercado.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Ciclosoft 2018.** São Paulo.  
Disponível em: <<http://empre.org.br/ciclosoft/id/9>>. Acesso em: 05 out. 2019.

COLTRO, L.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JUNIOR, I. A. J. **Biopolímeros usados em embalagem: propriedades e aplicações.** Anais do VIII Congresso Brasileiro de Polímeros. Águas de Lindoia, São Paulo. p. 413-419, 2005.

CRUZ, W. F. **Aplicação e avaliação de biopolímeros de amido e gelatina como revestimento em materiais de embalagens.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Facts and figures**, 2018. Disponível em:<[https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2020.

FAKHOURI, F. N. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FARIAS, S. S.; SIQUEIRA, S. M. C.; CRISTINO, J. H. S.; DA ROCHA, J. M. **Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável.** Revista Geonorte, vol. 7, no 26, p. 61- 77, 2016.

FONSECA, M. R. M. da. **Química: o meio ambiente, cidadania e tecnologia.** 1. Ed. V.3. São Paulo: FTD, 2010. p. 238, 272.

FONSECA, C. C. **Produção e utilização do biopolímero polihidroxibutirato (PHB) em embalagens alimentícias.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade de São Paulo. Lorena, 2014.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos.** Quím. Nova, São Paulo , v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

GARCIA, M. A. **Desarrollo de recubrimientos de matriz amilósica para vegetales.** Argentina. Tese doutorado. Departamento de Química, Facultad de Ciencia Exactas, Universidad Nacional de La Plata, 1999.

GORNI, A. A. **A Evolução dos Materiais Poliméricos ao Longo do Tempo,** 2003. Disponível em: <[http://www.gorni.eng.br/hist\\_pol.html](http://www.gorni.eng.br/hist_pol.html)>. Acesso em: 29 set. 2019.

HAGE JUNIOR, E. **Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e tecnologia de polímeros.** Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia. São Carlos, v.8, n.2, p. 6-9, 1998.

IFBB. **Processing of bioplastics – a guideline.** 1 ed, 2016. Disponível em: <[https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/EV\\_Processing-of-Bioplastics-2016.pdf](https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/EV_Processing-of-Bioplastics-2016.pdf)> . Acesso em: 26 jan. 2020.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil.** Polímeros, São Carlos , v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

LEITE, J. G. C. Unilever promete reduzir pela metade o uso de plástico em embalagens até 2025. Consumidor Moderno. 2019. Disponível em: <<https://www.consumidormoderno.com.br/2019/10/21/unilever-reduzir-plastico-2025/>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

MADHAVAN, N. K.; NAIR, N. R.; JOHN, R. P. **An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research.** Biotechnology Division, Nation Institute for Interdisciplinary Science and Technology. India, 2010.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. **Microstructural characterization of yam starch films.** Carbohydrate Polymers, Barking, v. 50, n. 2, p. 379-386, 2002.

MALI, S.; GROSSAMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização.** Ciências Agrárias, vol. 31, 2010, pp. 137-155. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; SENA NETO, A. R.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. **Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion.** Carbohydrate Polymers, v. 137, p. 452–458, 2016.

MITELUT, A.; TANASE, E. E.; POPA, V. I.; POPA, M. E. **Sustainable alternative for food packaging : chitosan biopolymer - a Review.** AgroLife Scientific Journal, v. 4, n. 2, p. 52–61, 2015.

MOHANTY, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T.; Selke, S. E.; Harte, B. R.; Hinrichsen, G. Natural Fibers, **Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction.** In: Mohanty, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.

NARAYANAN, N.; ROYCHOUDHURY, P. K.; SHIRASTAVA, ARADHANA. **L(+) lactic acid fermentation and its product polymerization.** Chile. Electronic Journal of Biotechnology. June, 10, 2014. Disponível em: <<http://www.bioline.org.br/pdf?ej04016>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

NUNES, A. C. T. **Estudo de proposta alternativa para redução do impacto do uso de plástico no contexto ambiental no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

OCEAN CONSERVANCY: **The story of plastic is the story of all of us.** Disponível em: <<https://oceancconservancy.org/trash-free-seas/plastics-in-the-ocean/>>. Acesso: 01 out. 2019.

OECD. **Policies for bioplastics in the context of a bioeconomy,** OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ind.2013.1612?journalCode=ind>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

OLIVEIRA, C. F. P. **Obtenção e caracterização de amido termoplástico e de suas misturas com polipropileno.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ONU. **O mundo está sendo ‘inundado’ por lixo plástico”.** 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/mundo-esta-sendo-inundado-por-lixo-plastico-dizsecretario-geral-da-onu/>>. Acesso em: 05 out. 2019.

PEREIRA, F. B. G. **Estudo das propriedades térmicas e mecânicas de blendas de PLA com elastômero núcleo-casca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2017.

PIATTI, T. M; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Universidade Federal do Alagoas. Maceió, 2005. Disponível em: <[http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos\\_caracteristicas\\_usos\\_producao\\_e\\_impactos\\_ambientais.pdf](http://www.usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf)>. Acesso em 05 out. 2019.

PIRES, R. R. **Avaliação do potencial de reciclagem e ciclo de vida de blendas contendo polietileno e amido termoplástico.** Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) - Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2015.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. **Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis.** Revista da UNIFEBE, v.1, n. 09, 2011.

PRADELLA, J. G. C. **Biopolímeros e Intermediários Químicos.** Relatório técnico n. 84396-205. Centro de Tecnologia de Processos e Produtos. Laboratório de Biotecnologia Industrial – LBI/CTPP. São Paulo, 2006.

QUEIROZ, A. U. B. **Contribuições para os estudos prospectivos em ambientes complexos: o caso dos bioplásticos.** Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

RIO DE JANEIRO. **Lei Nº 8.006 de 25 de Junho de 2018.** Substituição de sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais localizados no estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Assembleia Legislativa, 2018. Disponível em: <<https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/594011207/lei-8006-18-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso 02 de out. 2019.

SANTOS, B; COELHO, T. M; FILHO, N. A. **Produção de plástico biodegradável a base de amido modificado.** ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, Campo Mourão, 2014.

SANTOS, W. L. P. dos; MÓL, G. de S. **Química cidadã: química orgânica, eletroquímica, radioatividade, energia nuclear e a ética da vida** - 1. Ed. V.3. São Paulo: Nova Geração, 2010, p. 137,140, 142, 155.

SANTOS, G. P.; RIBEIRO, V. V. A. B.; FERREIRA JÚNIOR, R. S.; YONEZAWA, U. G. **Estudo sobre biopolímeros: obtenção e aplicação de polihidroxibutirato (PHB).** Três Lagoas, MS. Revista Conexão Eletrônica. Volume 16, 2019.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei do Senado, nº 92 de 2018.** Dispõe-se sobre a obrigatoriedade da utilização de materiais biodegradáveis na composição de utensílios descartáveis. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/132457>>. Acesso 02 de out. 2019.

SHEN, L.; HAUFE, J.; PATEL, M. K. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics.** PRO-BIP 2009. European bioplastics. Netherlands, 2009. Disponível em: <[http://news.bio-based.eu/media/news-images/20091108-02/Product\\_overview\\_and\\_market\\_projection\\_of\\_emerging\\_bio-based\\_plastics,\\_PRO-BIP\\_2009.pdf](http://news.bio-based.eu/media/news-images/20091108-02/Product_overview_and_market_projection_of_emerging_bio-based_plastics,_PRO-BIP_2009.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SILVA, I.R. **Desenvolvimento e caracterização de filmes nanoestruturados de metilcelulose reforçados com montmorilonita e nanotubos de carbono.** Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

SILVA, M. C.; OLIVEIRA, S. V.; ARAÚJO, E. M. **Propriedades mecânicas e térmicas de sistemas de PLA e PBAT/PLA.** Campina Grande. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v. 9, n. 2, 2014. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/430/316>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SMITH, R. **Biodegradable polymers for industrial applications.** Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2005.

TROVATTI, E.; SANTS, A. M.; AMARAL, A. C.; MENEGUIN, A. B.; MATOS, B. D. M.; PACHECO, G.; CARVALHO, R. A.; LAZARINI, S. C.; CARDOSO, V. M. O.; LUSTRI, W. R.; BARUD, H. S. **Biopolímeros: aplicações farmacêutica e biomédica.** Eclética Química Journal. Araraquara. Vol. 41, 2016. p. 1-31. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/429/42955130005.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

VIEGAS, C. P. R. **Estudo da produção de polihidroxialcanoatos (PHAs) por Chromobacterium volaceum.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2005.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos Plásticos e Reciclagem Aspectos gerais e tecnologia.** 2. Ed. São Carlos: Edufscar, 2015.

ZHANG, J. F.; SUN, X. **Poly (lactic acid)-based bioplastics.** In: Smith, R. Biodegradable Polymers for Industrial Application. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005.

WANG, X .; YANG, K.; WANG, Y. **Properties of starch blends with biodegradable polymers**, Journal of Macromolecular Science, Polymers Reviews v 43, n 3, august , 385-409, 2003.

WOGGUM, T.; SIRIVONGPAISAL, P.; WITTAYA, T. **Properties and characteristics of dualmodified rice starch based biodegradable films**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 67, p. 490-502, 2014.

WWF. Wold Wide Fund for Nature. **What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050**. Disponível em: <<http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>>. Acesso 02 out. 2019.

## APÊNDICE A

Título	Autor	Ano	Biopolímero	Aplicações	Objetivo
Polpa de fibra de bananeira para produção de polímeros de bioplástico	SILVA, J. G.	2018	Mistura com amido	Embalagens	Novo produto
Considerações sobre o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis para bioplásticos a partir de fontes renováveis como alternativa aos plásticos de origem fóssil	CORREA, C. A. C.	2018			Estudo de mercado
Produção de bioplástico a partir de resíduos de café e seu uso como matriz de liberação de antimicrobianos	PAULINO, G. S. et al.	2019	Mistura com amido	Embalagens	Novo produto
Os bioplásticos: impactos ambientais e perspectivas de mercado	CASTRO, T. H. M.	2019			Estudo de mercado
Estudo de proposta alternativa para redução do impacto do uso de plástico no contexto ambiental no Brasil	NUNES, A. C. T.	2018			Estudo de mercado
Bioplásticos e plásticos biodegradáveis surfando a sexta onda: um estudo sobre a ecoeficiência	MASCARENHA S, J. M. G.	2019			Estudo de mercado
Uso de glicerina residual e glicerol na preparação de biopolímero	REZENDEL, D. J. L. F. et al.	2019	Poli(citrato de glicerol)		Novo produto
Produção de biocompósitos biodegradáveis com resíduos agroindustriais.	LODI, B. D. et al.	2017	HPMC/cenoura	Embalagens	Novo produto
Aplicação e avaliação de biopolímeros de amido e gelatina como revestimento em materiais de embalagens	CRUZ, W. F.	2018	Mistura com amido	Embalagens	Novo produto
Aplicação e avaliação de revestimento à base de biopolímeros em embalagens de poli (etileno tereftalato)(PET) para alimentos	LEBER, A. S. M. L.	2018	Mistura com amido	Embalagens	Novo produto
Comportamento mecânico do poli(ácido láctico) com diferentes pigmentações para a impressão 3d de componentes para aplicação em próteses e órteses	PEREIRA H. G. et al.	2016	PLA	Medicinal	Análise
Desenvolvimento e caracterização de bioplástico obtido a partir do amido residual proveniente da industrialização de batata frita	ROMEIRA, K. M.	2019	Amido	Embalagens	Novo produto
Estudo prospectivo de ácido láctico produzido por leveduras em glicerol bruto	DOROTEU, L. R. et al.	2018			Estudo de mercado

Título	Autor	Ano	Biopolímero	Aplicações	Objetivo
Blendas de Poli (B-Hidroxibutirato) e Poli (Butileno-Adipatotereftalato) e seus compósitos com babaçu: efeito da composição e das condições de processamento	COSTA, A. R. M.	2019	PHB e PBAT	Embalagens	Novo produto
Desenvolvimento de um compósito argamassa/celulose da cana-de-açúcar	PELLEGRIN, M. Z.	2019	Celulose	Construção	Novo produto
Biodigestão anaeróbia de um polímero orgânico de fécula de mandioca	CREMONEZ, P. A. et al.	2016	Amido e fécula de mandioca	Tecidos e filmes	Novo processo
Preparação, caracterização e otimização de biocompósitos poliméricos comestíveis reforçados com fibras vegetais	Otoni, C. G.	2019	Outros	Embalagens comestíveis	Novo produto
"Avaliação da produção de biopolímeros pelas cepas bacterianas DsA.N042 e DsA.N049 isoladas de <i>Diabrotica speciosa</i> usando subprodutos industriais"	DENADAE, B. E.	2018	Outros		Novo processo
Desenvolvimento de uma blenda biodegradável à base de celulose bacteriana (cb) e polihidroxibutirato (phb) para aplicação como embalagem ativa para alimentos.	ALBUQUERQUE, R. M. B.	2019	Blenda: celulose/PHB	Embalagens	Novo produto
Análise de blenda à base de amido termoplástico/pelmd visando aplicação na manufatura aditiva	ANDREATTI, J. M.	2017	Blenda: amido	Manufatura aditiva	Novo produto
Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos	LUCHESE, C. L.	2018	Amido	Filmes	Novo produto
Uso de polissacarídeo de amido para síntese de biopolímero compatível para o encapsulamento e controle de dosagem de fármacos.	SANTOS, M. T. M.	2018	Amido	Medicinal	Novo produto
Desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de poli ácido láctico reforçado com fibra vegetal de alta resistência da árvore embira	SILVESTRIM, T. G.	2018	Blenda: PLA	Vários (embalagens)	Novo produto
Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis a partir da fécula do cará ( <i>Dioscorea trifida</i> L.f.) em diferentes períodos de fermentação	LOBATO, A. C. N.	2017	Amido	Filmes	Novo produto
Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando poli ( $\epsilon$ -caprolactona) e borra de café	OLIVEIRA, N. R. B.	2016	PCL	Filmes para mudas	Novo produto
Custo operacional de produção do poli-3-hidroxibutirato a partir de resíduos agroindustriais, em laboratório	CHAVES, M. C. et al.	2016	P(3HB)		Novo processo

Título	Autor	Ano	Biopolímero	Aplicações	Objetivo
Desenvolvimento de um biopolímero de fécula de mandioca para isolamento térmico	ALCÂNTARA, E. M. D.	2017	Amido	Isolamento térmico	Novo produto
Estudo da blenda PHB/NR e a influência dos aditivos de vulcanização	SANCHES, A. W. P.	2016	BLENDAS: PHB	Diversas	Novo produto
Avaliações e caracterizações de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo Curcuma longa e nanopartículas de quitosana	SANTOS, V. S.	2018	Blenda celulose	Embalagens comestíveis	Novo produto
Compósitos à base de polímeros e zeólitas para adsorção	MIRANDA, L. G.	2019	Blenda: PLA +	Filmes	Novo produto
Desenvolvimento de biocompósitos de poli(L-ácido láctico) (PLLA) com serragem de madeira	BITENCOURT, S. S. et al.	2017	PLLA + Serragem de madeira	Embalagens	Novo produto
Desenvolvimento de novos compósitos de bioplástico e zeólita/TiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> -Fe+3 para remoção de poluentes ambientais	CARDOSO, A. M.	2016	PLA + outros	Fotodegradação	Novo produto
Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimento em frutos	COSTA, T. L.	2018	Amido + outros	Embalagens comestíveis	Novo produto
Influência da adição de nanocristais e nanofibrilas de celulose extraídas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades de embalagens biodegradáveis ativas à base de pectina.	SILVA, D. L.	2016	Pectina + Celulose	Embalagens	Novo produto
Caracterização de revestimento biopolimérico visando aplicação em embalagens celulósicas	DOMINGOS, A. L. M.	2018	Quitosana + Amido	Embalagens	Novo produto
Blendas poliméricas biodegradáveis de phbv/pla com fertilizante npk e argila bentonita para a liberação controlada	LIMA, V. A.	2018	PHBV/PLA	Fertilizantes	Novo produto
Utilização do óleo residual de fritura na produção de polihidroxialcanoatos	ROCHA, L. L. N.	2017	PHA		Novo produto
Formação e caracterização de filmes com nanocelulose	LENGOWSKI, E. C.	2016	Amido + CMF	Embalagens	Novo produto
Análise experimental de polímeros recicláveis e biodegradáveis na manufatura aditiva	SOUSA, L. R. S.	2018	PLA	Manufatura aditiva	Análise
Produção de bioplásticos a partir de blendas de amido e quitosana	CACIQUE, P. P.	2017	Amido + quitosana		Novo produto

Título	Autor	Ano	Biopolímero	Aplicações	Objetivo
Avaliação das características mecânicas do pla, impressa em 3d, para aplicação em próteses em animais de pequeno e médio porte	CROUCILLO, A. P. R. et al.	2017	PLA	Medicinal	Análise
Resíduo industrial de aveia: extração e caracterização do amido visando aplicação em revestimento comestível adicionado de composto antifúngico natural	COSTA, D. R.	2018	Amido	Embalagens comestíveis	Novo produto
Desenvolvimento de materiais bioativos e biodegradáveis a partir de polissacarídeos	CRUZ, M. V.	2018	Amido + PEJU	Embalagens comestíveis	Novo produto
Filmes de amido de mandioca reforçados com nanopartículas de celulose visando aplicação em embalagens alimentícias "eco-friendly"	TRAVALINI, A. P.	2019	Amido +	Embalagens	Novo produto
Obtenção de levoglucosan a partir de pirólise	OLIVEIRA, B. A. M.	2017			Análise
Extração da pectina do maracujá amarelo ( <i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> ) para incorporação em biofilmes	LIMA, R. T. F. M.	2019	Pectina	Filmes	Novo produto
Avaliação da degradação abiótica e biótica de biocompósitos produzidos a partir de bioblendas de PCL/PLA com fibras vegetais: madeira de pinus, cana-de-açúcar e babaçu	LEMOS, A. L.	2017	PCL/PLA	Compósitos	Novo produto
Caracterização de filmes elaborados com poli (ácido) lático (PLA) incorporados com diferentes óleos	GODOI, A. S.	2018	PLA + ÓLEOS	Embalagens	Novo produto
Blenda de polihidroxibutirato (phb)/copolíster alifático aromático (aac) ecoflex® reforçada com nanofibras de celulose (nfc): análise da resistência mecânica e propriedades químicas.	RAIMUNDO, I. F.	2016	PHB + AAC		Novo produto
Maximização dos parâmetros operacionais e comparação de meio para melhoria da produção e acúmulo de P(3HB) por bactérias nativas	ALVES, M. I.	2019	P(3HB)	Medicinal	Novo produto
Produção e caracterização de blendas poliméricas com poli (3-hidroxibutirato)(PHB) e amido de milho para produção de plástico biodegradável	MAIA, N. V. L. P.	2016	PHB e Amido	Diversas	Novo produto
Polímeros biodegradáveis adicionados de nanopartículas como embalagem para alimentos	PESSANHA, K. L. F.	2016	Diversos		Estudo de mercado

Título	Autor	Ano	Biopolímero	Aplicações	Objetivo
Polímeros ambientalmente amigáveis e seus compósitos como sistemas de baixas temperaturas para armazenamento de energia termossolar	SILVA, V. O.	2017	PCL, PHB e PHBV	Isolamento térmico	Novo produto
Elaboração e caracterização de filmes de amido e polpa de acerola por casting, extrusão termoplástica e termoprensagem	FARIAS, M. G.	2016	Amido + acerola	Filmes	Novo produto
Avaliação de filmes à base de quitosana combinado com goma xantana e hidrolisado proteico de corvina ( <i>Micropogonias furnieri</i> )	LIMA, M. M.	2017	quitosana + goma xantana	Filmes	Novo produto
Arcabouços 3D (Scaffolds) à base de poli (hidroxibutirato), quitosana e fibroína da seda para engenharia tecidual	MACEDO, M. E. R.	2017	PHB, quitosana e fibroína	Medicinal	Novo produto
Desenvolvimento e aplicação de sistemas para liberação prolongada de fertilizantes obtidos com nanofibras de POLi(3-hidroxibutirato) (PHB) incorporadas com hidrogéis.	MOTTIN, A. C.	2016	PHB / hidrogel / ureia.	Fertilizantes	Novo produto
Estudo da modificação do poli(ácido láctico) com elastômero reativo amino funcional	OLIVEIRA, L. R. D.	2017	Blenda: PLA		Novo produto
Biofilmes a base de amido, gelatina e extrato de <i>Tetradenia riparia</i> na conservação de morango	FRIEDRICH, J. C. C.	2017	Amido e gelatina	Embalagens comestíveis	Novo produto
Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto <i>Opuntia ficus indica</i> em pastas e microconcretos de cimento Portland	SOUZA, G. F. A.	2019	Outros	Construção	Novo produto
Produção de ácido láctico com resíduos agroindustriais: uma revisão da literatura	PEREIRA, N. T.	2019	PLA		Estudo de mercado
Síntese e caracterização de membrana de acetato de celulose obtida a partir da polpa acetossolve da madeira de <i>schizolobium parahyba</i> (vell.) blake	ALESI, A. L. A.	2019	Outros		Novo produto
Produção de filmes de PBAT/PLA por eletrofiação para liberação de nitrofurazona	MEGLIORINI, L. S.	2018	PBAT/PLA	Medicinal	Novo produto
Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante e cúrcuma	PAULA, R. L.	2016	Amido	Filmes	Novo produto
Desenvolvimento de filmes de gelatina contendo zeólita clinoptilolita impregnada com íons prata e avaliação das propriedades antimicrobianas	HUBNER, P.	2017		Medicinal	Novo produto

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Biopolímero</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Objetivo</b>
Obtenção e caracterização de nanofibras de celulose a partir de subprodutos da mandioca ( <i>manihot esculenta crantz</i> ).	LEITE, A. L. M. P.	2016	Amido	Filmes	Novo produto
Utilização de amido de mandioquinha salsa com cobertura comestível em chips	SILVA, V. S.	2016	Amido	Embalagens comestíveis	Novo produto
Avaliação da utilização de resíduo agroindustrial oriundo da produção de biodiesel de semente de tabaco para a obtenção de polihidroxialcanoatos (PHA).	MORAES, L. B.	2017	PHA		Novo produto
Revestimentos de carragenanas adicionadas de cera de carnaúba para conservação pós-colheita de frutas	BRAGA, A. C. B.	2016		Embalagens comestíveis	Novo produto