Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO

Thais Hessab Moreira de Castro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Alessandra Magrini
Amaro Olímpio Pereira Junior

Rio de Janeiro
Março de 2019

OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO

Thais Hessab Moreira de Castro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Profª. Alessandra Magrini, D.Sc.

Prof. Amaro Olímpio Pereira Junior, D.Sc.

Profª. Lilian Bechara Elabras Veiga, D.Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2019

Castro, Thais Hessab Moreira de

Os Bioplásticos: Impactos Ambientais e Perspectivas de Mercado/ Thais Hessab Moreira de Castro. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XI, 72 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alessandra Magrini

Amaro Olímpio Pereira Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 62-72.

1. Bioplásticos. 2. Impactos Ambientais. 3. Análise SWOT. I. Pereira Jr, Amaro Olímpio *et al*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Agradecimentos

À minha mãe, pela dedicação, apoio, amor incondicional, carinho e tantas outras coisas boas que me proporcionou. Você é uma mãe incrível. Obrigada por tudo e por ser essa guerreira que luta pelos seus objetivos. Obrigada por sua sensibilidade e seu amor. É muito recíproco, meu amor por você é infinito! E essa conquista é para você!

Ao meu pai, por ter sido um grande exemplo. Um homem muito dedicado e carinhoso que fez tudo pelas suas filhas. Uma pessoa sempre disposta a ajudar os outros. Você se orgulhava tanto que me fazia acreditar mais na minha capacidade. Obrigada por ficar tão feliz com minhas conquistas, inclusive quando soube que passei no mestrado. Sei que lá de cima você vai me ver concluir essa etapa, mais uma que dedico a você. Estaremos sempre juntos!

À minha irmã, por ser minha melhor amiga e maior conselheira. Você tem um pedacinho em tudo que eu conquistei, obrigada por isso! Tenho muito orgulho de você e me inspiro nas suas conquistas também. Seremos sempre grandes parceiras!

Ao Pedro, por ser carinhoso, parceiro e dedicado ao nosso amor. Obrigada por ser tão compreensivo e disposto a me ajudar. Muito amor e companheirismo para nós!

Às minhas amigas do colégio, Dani, Gabi e Stella, por terem feito parte de uma grande mudança na minha vida e por terem me ajudado tanto com isso. Obrigada pelo cuidado de sempre. À minha amiga de infância, Bárbara e às minhas amigas da UFF, por me apoiarem e compreenderem minha ausência.

À professora Alessandra Magrini e ao professor Amaro Olímpio, pela orientação, paciência e por toda valiosa contribuição na elaboração dessa dissertação.

À professora Lilian Bechara e ao professor Marcos Freitas, por aceitarem fazer parte da minha banca.

Aos funcionários e docentes do PPE por estarem sempre dispostos a ajudar.

À turma de 2016 do PPE, pela união, apoio e parceria durante o mestrado. Vocês foram essenciais nesses anos!

Aos meus primos Júnior, Pri e Paty, ao meu cunhado Renato e à minha tia Norma por serem pessoas incríveis comigo. Obrigada pelo amor e toda felicidade que vocês representam para mim!

À Braskem, pelas informações fornecidas.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO

Thais Hessab Moreira de Castro

Março/2019

Orientadores: Alessandra Magrini
Amaro Olímpio Pereira Junior
Programa: Planejamento Energético

Nos últimos anos o mercado de plásticos convencionais apresentou significativo crescimento e a perspectiva é de manter a trajetória. Seguindo a mesma tendência tem-se o mercado de bioplásticos, o qual possui pontos que devem ser analisados para constatação dos prós e contras relacionados à sua produção. Neste trabalho foram utilizados como suporte resultados de estudos que desenvolveram Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) a fim de investigar os impactos ambientais relacionados à produção de bioplásticos e compará-los com os plásticos convencionais. De modo geral, os estudos revelaram melhores resultados em termos de emissões de gases do efeito estufa para os bioplásticos, no entanto, categorias como acidificação e eutrofização mostraram resultados opostos. Além disso, foi realizada uma Análise SWOT, na qual foi possível identificar, para os bioplásticos, que a competição com um mercado já estruturado e os custos de produção mais elevados, são exemplos de possíveis barreiras à consolidação desse mercado. Por outro lado, tem-se independência da produção em relação ao petróleo, o qual tem apresentado aumento de preço nos últimos anos. Adicionalmente, constatou-se espaço para crescimento do setor, assim como a existência de legislações que estimulam a produção de bioplásticos. Com base no apresentado, as empresas possuem alguns insumos para auxiliar na decisão de investimento no setor.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

BIOPLASTICS: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND MARKET PROSPECTS

Thais Hessab Moreira de Castro

March/2019

Advisors: Alessandra Magrini
Amaro Olímpio Pereira Junior
Department: Energy Planning

In recent years the conventional plastics market has shown significant growth and the prospect is to maintain the trajectory. The bioplastics market is following the same trend and it has points that must be analyzed to identify the pros and cons related to its production. In this work, results of studies that developed Life Cycle Assessments (LCA) were used to investigate the environmental impacts related to the production of bioplastics and to compare them with conventional plastics. Overall, studies have shown better results in terms of greenhouse gas emissions for bioplastics, however, categories such as acidification and eutrophication have shown opposite results. In addition, a SWOT analysis was performed, in which it was possible to identify that the competition with an already structured market and the higher bioplastics production costs are examples of possible barriers to the consolidation of this market. On the other hand, there is an independence in relation to oil, which has been increasing in price in recent years. It was found that there is room for growth in the sector and it was possible to identify the existence of legislation that stimulates the production of bioplastics. Based on the above, companies have some inputs to assist in the investment decision in the sector.

Sumário

1. Introdução 1
2. Química Verde e os bioplásticos 4
2.1. Conceitos e definições 4
2.1.1. Química Verde 4
2.1.2. Bioplásticos e principais tipologias existentes 7
2.2. O mercado dos plásticos e bioplásticos 8
2.2.1. Panorama mundial 8
2.2.2. Panorama nacional 15
2.3. Desafios da produção de bioplásticos 16
2.4. Políticas relacionadas 20
3. Principais biopolímeros, empresas relacionadas e impactos ambientais 26
3.1. Análise individual 30
3.1.1. Poli(tereftalato de etileno) 30
3.1.2. Poliuretano 33
3.1.3. Polietileno 35
3.2. Análise comparativa 42
4. Análise SWOT 46
4.1. Conceito de Análise SWOT 46
4.2. Análise SWOT para empresas com relação à produção de bioplásticos . 48
4.2.1. Fatores internos 48
4.2.2. Fatores externos 52
5. Conclusão e recomendações 59
Referências Bibliográficas 62

Lista de Figuras

Figura 1: Grupos de bioplásticos. 8
Figura 2: Produção de plásticos. 9
Figura 3: Destinação da produção global de plásticos por setor em 2015..... 10
Figura 4: Distribuição da produção de plásticos em 2015..... 10
Figura 5: Produção global de plásticos por tipo em 2015. 11
Figura 6: Capacidade global de produção de bioplásticos..... 11
Figura 7: Capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2016. 12
Figura 8: Destinação da capacidade global de produção de bioplásticos por setor em 2017. 13
Figura 9: Capacidade global de produção de bioplásticos por tipo em 2016. 14
Figura 10: Consumo de plásticos por tipo. 16
Figura 11: Preço do barril de Petróleo (Dólar e Real). 18
Figura 12: Proporção de terra necessária para substituir 20% de cada fonte de energia/material por alternativas de base biológica. 20
Figura 13: Estrutura da Avaliação de Ciclo de Vida. 28

Lista de Tabelas

Tabela 1: Destinação de transformados plásticos por setor em 2014. 15
Tabela 2: Medidas relacionadas aos plásticos. 25
Tabela 3: Cenários de garrafas PET de origem fóssil e renovável. 32
Tabela 4: Composição dos Poliésteres. 35
Tabela 5: Resultados das avaliações de ciclo de vida. 43
Tabela 6: Matriz SWOT. 48
Tabela 7: Fatores Internos – Forças. 49
Tabela 8: Fatores Internos – Fraquezas. 51
Tabela 9: Fatores Externos – Oportunidades. 52
Tabela 10: Fatores Externos – Ameaças. 56

Lista de Siglas

ABLIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação de Ciclo de Vida

AMLURB - Autoridade Municipal de Limpeza Urbana

ASTM - American Society for Testing and Materials

BP - British Petroleum

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CNN - Cable News Network

CO_2 - dióxido de carbono

COP21 - 21ª Conferência das Partes

EIA - Energy Information Administration

EG - etileno glicol

FDA - Food & Drug Administration

GEE - Gases de efeito estufa

GWP - Global Warming Potential

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFBB - Institute for Bioplastics and Biocomposites

iNDC - Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISO - International Organization for Standardization

kg - quilograma

kWh - quilowatt-hora

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MJ - megajoule

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NBR - Norma Brasileira

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

PA - poliamida

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

PEBDL - polietileno de baixa densidade linear

PET - poli(tereftalato de etileno)

PHA - polihidroxialcanoato

PLA - poli(ácido láctico)

PP - polipropileno

PS - poliestireno

PTC - Plant PET Technology Collaborative

PTT - poli(tereftalato de trimetileno)

PU - poliuretano

PVC - poli(cloreto de vinila)

TPA - ácido tereftálico

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

1. Introdução

Os plásticos estão cada vez mais inseridos no cotidiano dos indivíduos. Observou-se aumento de vinte vezes na produção de plásticos desde o ano de 1964, gerando um total de 322 milhões de toneladas de plásticos em 2015. Além disso, estimativas indicam que essa quantidade poderá quase quadruplicar até 2050 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

Esse material compõe parte relevante de inúmeros setores, como a agricultura, eletroeletrônico, automotivo, construção civil, embalagem e outros (produtos de consumo e de uso doméstico, mobília, esporte, saúde e segurança), sendo a maior aplicação no setor de embalagem, que representou 35,9% do volume total de plástico consumido no mundo em 2015. Somado às diversas aplicações, os plásticos possuem o benefício de possuírem baixo custo, além de serem leves e com elevado desempenho (PLASTICS EUROPE, 2016; WORLD ECONOMIC FORUM, 2016; GEYER *et al*., 2017).

Existem diversos tipos de resinas para formação de plásticos que podem ser utilizadas em aplicações diferenciadas, dentre elas, pode-se citar o polipropileno (PP), poli(cloreto de vinila) (PVC) e o polietileno (PE) (ABIPLAST, 2015).

Há grandes questões ambientais relacionadas à produção e ao consumo de plásticos em geral: a dependência em relação ao finito estoque de recursos fósseis, a emissão de gases de efeito estufa (GEE), os impactos ambientais e na saúde e a disposição desse resíduo sólido (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

Alguns dados provocam preocupações quanto aos impactos futuros que os plásticos podem causar. Como exemplo pode-se citar a proporção de plásticos e peixes no oceano, que em 2016 era de 1:5 e estima-se que pode chegar a uma proporção maior que 1:1 em 2050. Outro dado é a quantidade de petróleo utilizada na produção de plásticos, que representa em torno de 6% do consumo total desse insumo, mas caso não ocorram mudanças no uso da matéria-prima utilizada para sua produção, pode alcançar 20% em 2050 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

Visto que os plásticos apresentam bom desempenho para determinadas funções quando comparados com outros materiais, é importante encontrar maneiras de torná-los mais sustentáveis ao longo de sua cadeia produtiva e fim de vida.

Nesse caminho se insere a química verde, que iniciou seu desenvolvimento no princípio dos anos 1990 e tem demonstrado tendência de crescimento. Ela é uma área que visa desenvolver os meios científico e industrial, mas com foco em atividades e processos mais sustentáveis (CGEE, 2010).

Ela é definida como o "desenvolvimento de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso e geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente" e, dessa forma, requer planejamento (ANASTAS; WARNER, 1998, apud ANASTAS; EGHBALI, 2010). De acordo com Lenardão *et al*. (2003) existem três grandes categorias nas quais os produtos ou processos da química verde são divididos. Assim, elas podem ser: "o uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria-prima; o aumento da eficiência de energia, ou a utilização de menos energia para produzir a mesma ou maior quantidade de produto e; evitar o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas.".

Os chamados 12 Princípios da Química Verde constituem diretrizes que fornecem a estrutura para o desenvolvimento de produtos e processos químicos mais seguros e sustentáveis. São eles: prevenção; economia de átomos; síntese de químicos menos perigosos, design de químicos mais seguros; solventes e auxiliares mais seguros; design para eficiência energética; uso de matéria-prima renovável; redução de derivados; catálise; design para a degradação; análise em tempo real para a prevenção da poluição e; química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes (ANASTAS; WARNER, 1998, apud ANASTAS; EGHBALI, 2010).

O desenvolvimento de bioplásticos, termo que pode fazer referência tanto a um produto de origem renovável, quanto a um plástico biodegradável, bem como a um plástico com as duas características, pode ser considerado como uma das aplicações da química verde (RUJNIĆ-SOKELE; PILIPOVIĆ, 2017).

Com relação à primeira classificação apontam-se exemplos como o poli(tereftalato de etileno) (PET) e o polietileno (PE), dois polímeros que podem ser produzidos, por exemplo, a partir da cana-de-açúcar. Outros polímeros, como o polihidroxialcanoato (PHA) e o poli(ácido láctico) (PLA), além de possuírem origem renovável, são biodegradáveis. Como exemplo de plásticos biodegradáveis, mas de origem fóssil, podem ser citados o poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) e a policaprolactona (PCL) (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2016a).

Assim como o mercado de plásticos, o de bioplásticos apresenta tendência de crescimento, mesmo com a baixa representatividade no mercado de plásticos, que é de cerca de 1%. De 2009 para 2016 observou-se uma taxa de crescimento ao ano de aproximadamente 50%, alcançando quase 4,2 milhões de toneladas nesse último ano. O plástico de origem renovável e não biodegradável apresenta destaque, representeando cerca de 77% do total em 2016 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2013; EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017).

Esse mercado se depara com diversos desafios, que estão associados a inserção de um produto novo, principalmente quando se considera em escala comercial, em um mercado já estabelecido, que é o de plásticos convencionais.

Questões ambientais, de custos de produção, políticas favoráveis e não favoráveis, competição do uso de matérias-primas renováveis para fins não alimentares, entre outras, revelam que é necessário investigar de que maneira os bioplásticos podem ser inseridos no mercado e se eles se enquadram como um produto favorável para investimento das empresas.

No que se refere às questões ambientais, a Avaliação de Ciclo de Vida é uma metodologia que permite avaliar os impactos ambientais relacionados à produção de bioplásticos e compará-los com os dos plásticos convencionais. Assim é possível definir quais os principais benefícios e pontos negativos em termos ambientais dos bioplásticos.

Uma ferramenta reconhecida para gestão e planejamento estratégico, segundo Kotler e Keller (2012), é a análise SWOT, uma vez que ela tem o objetivo de auxiliar na tomada de decisão. Para isso, com o uso dessa ferramenta são analisados os pontos fortes e os pontos fracos no ambiente interno, e as oportunidades e ameaças no cenário externo das companhias. Aplicada ao mercado de bioplásticos, essa ferramenta permitirá a investigação dos pontos favoráveis e desfavoráveis da produção dessas resinas.

Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o estado da arte dos bioplásticos com a finalidade de endereçar estratégias relacionadas a esse mercado. Para isso, são identificados os desafios, as oportunidades e as vantagens e desvantagens com base nos impactos ambientais de seu ciclo de vida, nas políticas, nos mercados atuais e nas tendências observadas no Brasil e globalmente.

Como metodologia, é realizado um levantamento bibliográfico da literatura disponível acerca do mercado de bioplásticos e suas perspectivas, assim como dos aspectos e impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos plásticos convencionais e dos bioplásticos. A fim de verificar os impactos ambientais dos bioplásticos em comparação com os dos plásticos convencionais, são utilizados como suporte resultados de artigos que empregam a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida. Com base nos resultados do levantamento bibliográfico e das Avaliações de Ciclo de Vida estudadas, é aplicada a ferramenta de análise SWOT para identificação das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do mercado de bioplásticos.

Dessa forma, no segundo capítulo, que segue esta introdução, são abordadas algumas definições relacionadas aos bioplásticos, assim os aspectos do mercado de plásticos convencionais e bioplásticos. Além disso, são apresentados os principais tipos de bioplásticos e os desafios relacionados à produção dos mesmos.

O terceiro capítulo tem como conteúdo os resultados de alguns estudos que desenvolveram Avaliações de Ciclo de Vida para os polímeros poli(tereftalato de etileno) (PET), poliuretano (PU) e polietileno (PE). É dado maior enfoque ao PE, uma vez que no Brasil o mesmo recebeu destaque devido à instalação da planta industrial da Braskem com capacidade para a produção de 200 mil toneladas anuais (BRASKEM, 2017a). Os resultados das avaliações são apresentados e comparados para observação dos impactos ambientais relacionados à produção de bioplásticos.

Por fim, no quarto capítulo é feita uma análise SWOT do mercado de bioplásticos, com base nas definições dos capítulos anteriores. Assim, são avaliados os pontos positivos e negativos relacionados à produção dos bioplásticos, de forma a trazer insumos para auxiliar na tomada de decisão de empresas que possuem interesse por esse mercado.

2. Química Verde e os bioplásticos

2.1. Conceitos e definições

2.1.1. Química Verde

A química verde tem como definição o design de produtos e processos químicos de forma a diminuir ou eliminar a utilização e geração de substâncias perigosas (ANASTAS; WARNER, 1998, apud ANASTAS; EGHBALI, 2010). Ela teve o início

de seu movimento no princípio dos anos 1990 e é uma área em crescente desenvolvimento que busca o aprimoramento científico e industrial com uma atuação mais responsável com relação ao meio ambiente (CGEE, 2010).

A química verde possibilita a redução do impacto negativo que o homem pode causar no meio ambiente e na sua própria saúde. Para isso, busca tornar os processos mais seguros e encontrar soluções para as mudanças climáticas, para o setor de energia, de produção de alimentos, entre outros. Além disso, pode ser aplicada em todo ciclo de vida de um produto, desde a concepção da matéria-prima, até o seu fim de vida (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002).

Esse segmento está relacionado com planejamento, com intenção e não ocorre acidentalmente (ANASTAS; EGHBALI; 2010). Pode-se encontrar sua atuação em áreas como na catálise, nos polímeros, nos solventes e no desenvolvimento de produtos que fazem uso de matérias-primas renováveis. O desenvolvimento de tecnologias sustentáveis está cada vez mais presente e, nesse contexto, nota-se o crescimento da química verde, com a criação de centros de pesquisa nessa área em distintas regiões do mundo (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002).

Anastas e Warner (1998 apud ANASTAS; EGHBALI; 2010) definiram os 12 Princípios da Química Verde, que podem funcionar como um guia para a implementação da química verde e, consequentemente, para o design de produtos e processos químicos novos e mais sustentáveis. São eles:

- Prevenção: Deve-se prevalecer a prevenção da produção de resíduo em detrimento do tratamento do resíduo gerado.
- Economia de átomo: Maximizar a incorporação de todos os materiais utilizados no processo ao produto final, por meio do desenvolvimento de metodologias sintéticas.
- Síntese de químicos menos perigosos: Priorizar o desenvolvimento de metodologias sintéticas, sempre que possível, de forma a utilizar e gerar substâncias que possuam toxicidade pequena ou inexistente à saúde humana e ao meio ambiente.
- Design de químicos mais seguros: O desenvolvimento de produtos químicos deve ser realizado preservando a função a qual foram designados, mas reduzindo a toxicidade.

- Solventes e auxiliares mais seguros: O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, entre outros) deve se tornar desnecessário sempre que possível e, quando for indispensável o uso, devem ser inócuas.
- Design para eficiência energética: A energia utilizada para os processos químicos deve ser reconhecida por seus impactos econômicos e ambientais e deve ser minimizada. Quando possível, os processos devem ser realizados à temperatura e pressão ambientes.
- Uso de matéria-prima renovável: Quando tecnicamente e economicamente viável, deve-se prevalecer o uso da matéria-prima renovável em detrimento da não renovável.
- Redução de derivados: Se possível, a derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária de processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou evitada, uma vez que necessitam reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
- Catálise: Reagentes catalíticos são melhores que reagentes estequiométricos.
- Design para degradação: Os produtos químicos devem ser desenvolvidos de forma a, ao final de sua fase de uso, se quebrarem em produtos de degradação inócuos que não persistem no meio ambiente.
- Análise em tempo real para prevenção da poluição: Devem ser desenvolvidas metodologias analíticas que permitam o monitoramento e controle em tempo real e prévio a formação de substâncias perigosas.
- Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes: A substância e a sua forma utilizada nos processos químicos devem ser escolhidas de maneira que diminuam o potencial de acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

O desenvolvimento de produtos de origem renovável, como é o caso de alguns bioplásticos, se enquadra nesse mercado, uma vez que a matéria-prima fóssil é deslocada, dando lugar à renovável (RUJNIĆ-SOKELE; PILIPOVIĆ, 2017).

Quando pensado a nível nacional, nota-se potencialidade do país para o uso de biomassas no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis. Segundo o CGEE (2010), alguns dos fatores para a posição privilegiada do Brasil são: culturas agrícolas de grande

extensão, com destaque para a indústria canavieira; maior biodiversidade do planeta; intensa radiação solar; água em abundância; diversidade de clima; pioneirismo na produção do biocombustível etanol; e grande recurso renovável, com excepcionais potencialidades: as microalgas para a produção de biodiesel, produtos químicos, fármacos e alimentos.

De acordo com o mesmo Centro, a fim de aprimorar e obter um mercado relevante em termos de produtos de origem renovável, devem ser levados em consideração: a promoção do desenvolvimento rural; o avanço da ciência e da tecnologia; e a criação de uma economia de bioprodutos com elevado valor agregado (CGEE, 2010).

Da mesma forma, o desenvolvimento de bioplásticos biodegradáveis contribui para reduzir a quantidade de resíduos, caracterizando também um exemplo de aplicação da química verde.

2.1.2. Bioplásticos e principais tipologias existentes

Segundo definição da European Bioplastics (2016a), os bioplásticos podem fazer referência a plásticos de origem renovável (ou parcialmente renovável), biodegradáveis ou com ambas as características. A origem renovável pode ser proveniente, por exemplo, da cana de açúcar, do milho ou da celulose.

Assim, a partir da definição da European Bioplastics (2016a), identificam-se 3 grupos de bioplásticos: os que possuem origem renovável e não são biodegradáveis, os que têm origem renovável e são biodegradáveis e os que possuem origem fóssil e são biodegradáveis, conforme exemplificado na figura 1:

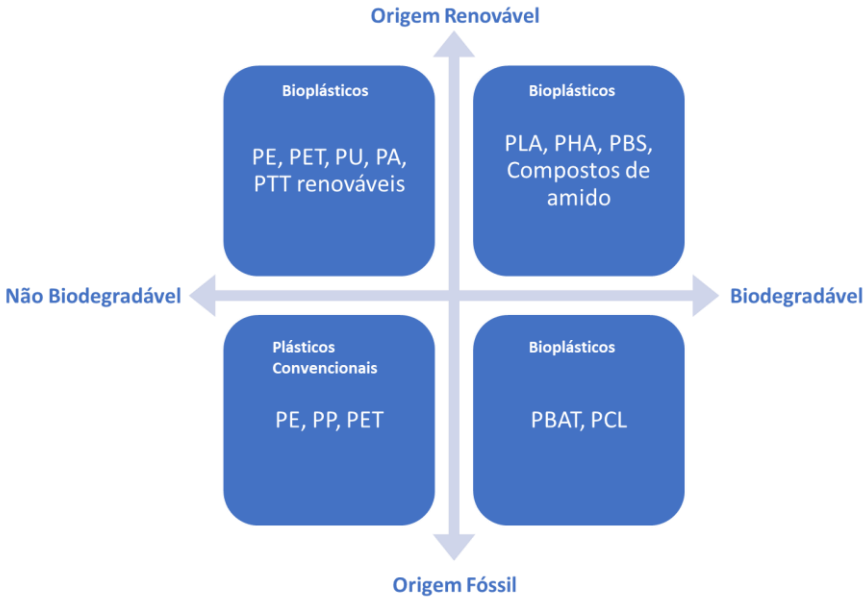

Figura 1: Grupos de bioplásticos.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2016a).

O grupo de bioplásticos com origem renovável, porém não biodegradáveis inclui polímeros como o polietileno (PE), o poli(tereftalato de etileno) (PET), poliamida (PA), poli(tereftalato de trimetileno) (PTT), o poliuretano (PU), entre outros. Já os bioplásticos de origem renovável e biodegradáveis englobam polímeros como poli(ácido láctico) (PLA), polihidroxialcanoato (PHA), poli(succinato de butileno) (PBS), compostos de amido, etc. Por fim, no terceiro grupo, composto por polímeros de origem fóssil e biodegradáveis, encontram-se polímeros como o poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e policaprolactona (PCL) (European Bioplastics, 2016a).

2.2. O mercado dos plásticos e bioplásticos

2.2.1. Panorama mundial

Os plásticos estão cada dia mais presentes nas diversas atividades dos indivíduos. Sua produção em larga escala ocorreu aproximadamente a partir de 1950. Desde 1964, a produção de plásticos aumentou vinte vezes, alcançando 322 milhões de toneladas em 2015 e a tendência é que ela quase quadruplique até 2050. Esse crescimento na produção se destaca quando comparado com a maioria dos materiais feitos pelo homem. Além disso, suas aplicações se mostram cada vez mais diversas e utilizadas em inúmeros setores (GEYER *et al*., 2017; WORLD ECONOMIC FORUM, 2016; PLASTICS EUROPE, 2016).

Estudos de Geyer *et al*. (2017) mostram que 8,3 bilhões de toneladas de plásticos virgens foram produzidas até este ano e, grande parte, gerada nos últimos 13 anos. Desses, estima-se que cerca de 2,5 bilhões de toneladas estejam em uso.

Em relação ao total de resíduos plásticos, ao final de 2015 o número de resíduos gerados a partir de plásticos primários atingiu 5,8 bilhões de toneladas. Se forem considerados os plásticos reciclados, de origem secundária, esse número chega a 6,3 bilhões de toneladas, levando em conta o resíduo gerado entre 1950 e 2015. Dos 6,3 bilhões de toneladas, acredita-se que cerca de 800 milhões de toneladas foram incineradas, 600 milhões de toneladas, recicladas e, o restante, 4,9 bilhões de toneladas, descartadas e acumuladas nos aterros ou no meio ambiente (GEYER *et al*., 2017).

A figura 2 mostra a evolução desse setor desde 2005, desconsiderando os polímeros PET, PA e PP e fibras de polialquil, e revela um crescimento anual entre 2005 e 2015 de 3,4% (PLASTICS EUROPE, 2016).

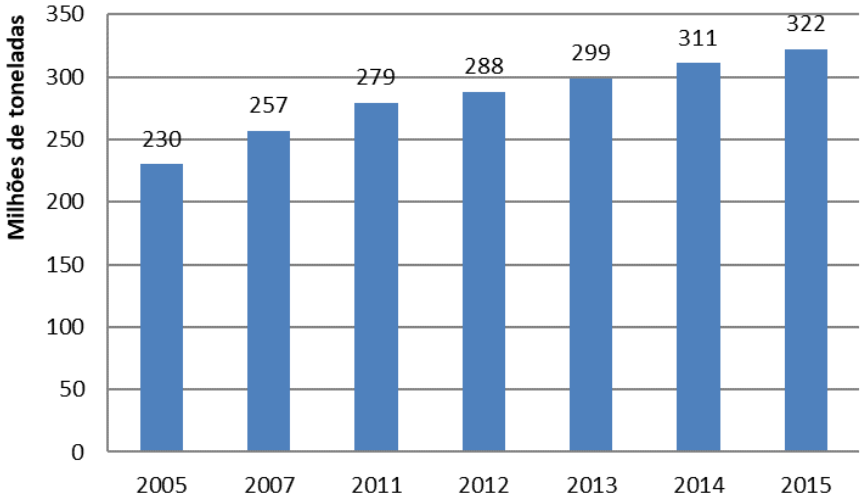

Figura 2: Produção de plásticos.

Fonte: Adaptado de Plastics Europe (2016).

O setor de embalagens é o que mais consome plásticos, resultado do uso maior de embalagens de uso único (GEYER *et al*., 2017). Cerca de 36% da produção de plásticos de 2015 foi destinada a esse tipo de aplicação. Nesse mesmo ano o setor de construção civil também recebeu destaque, representando cerca de 16% da destinação da produção de plásticos, como pode ser verificado na figura 3.

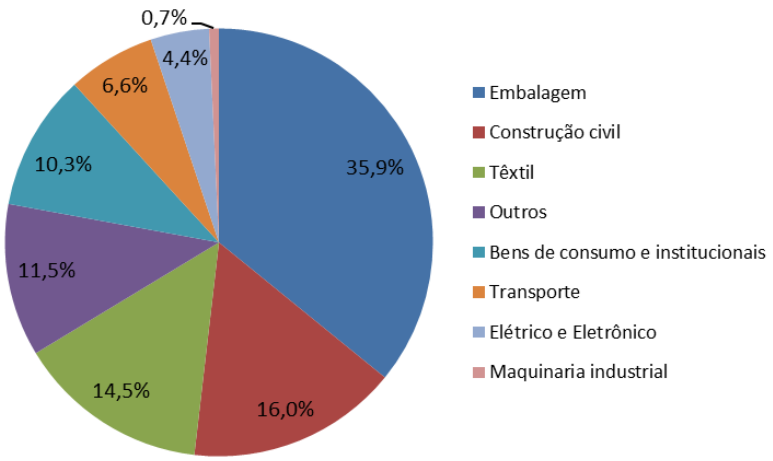

Figura 3: Destinação da produção global de plásticos por setor em 2015.

Fonte: Adaptado de Geyer *et al*. (2017).

Dentre as regiões produtoras, em 2015, a China se destacou, detendo mais de um quarto da produção global. Além disso, Nafta e Europa também apresentam considerada superioridade em relação à produção das demais regiões.

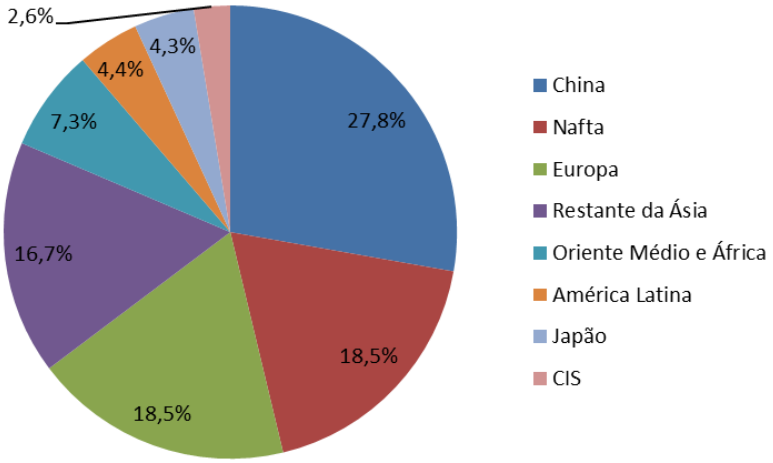

Figura 4: Distribuição da produção de plásticos em 2015.

Fonte: Adaptado de Plastics Europe (2016).

Com relação ao tipo de plástico mais utilizado mundialmente, destaca-se o polietileno, com uma produção global de 116 milhões de toneladas em 2015, considerando suas diferentes formas. O segundo maior volume de produção nesse ano foi do polipropileno, com 68 milhões de toneladas produzidas. A figura 5 revela os polímeros mais produzidos no ano de 2015.

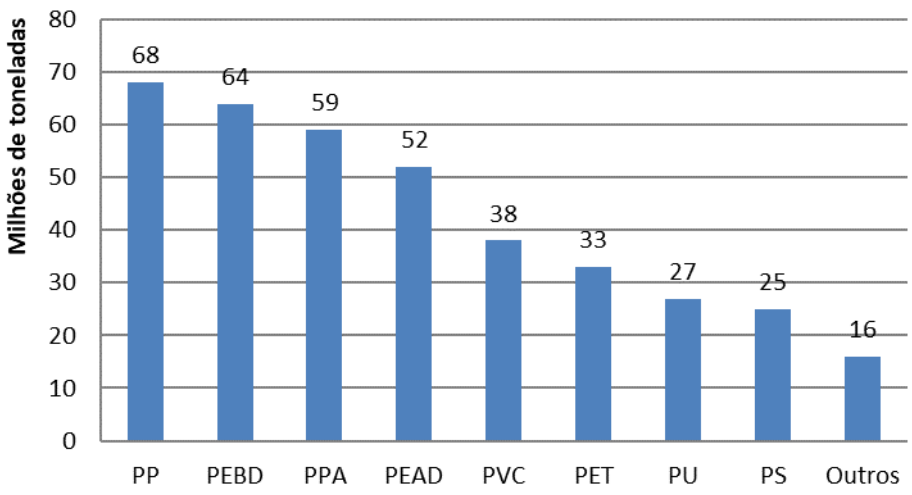

Figura 5: Produção global de plásticos por tipo em 2015.

Fonte: Adaptado de Geyer *et al*. (2017).

Ao observar o mercado de plásticos convencionais, os bioplásticos possuem uma baixa representatividade, correspondendo a cerca de 1% do total de plásticos produzidos anualmente (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2016a).

No entanto, em se tratando do mercado de produtos de base biológica, os bioplásticos representam o segmento de maior crescimento (OECD, 2013). Em 2009, registrou-se a capacidade global de produção de bioplásticos em 249 mil toneladas. Já em 2016, esse número subiu para 4,16 milhões de toneladas, uma taxa de crescimento anual de cerca de 50%. A figura 6 mostra a evolução da capacidade global de produção entre esses dois anos (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2013, 2017).

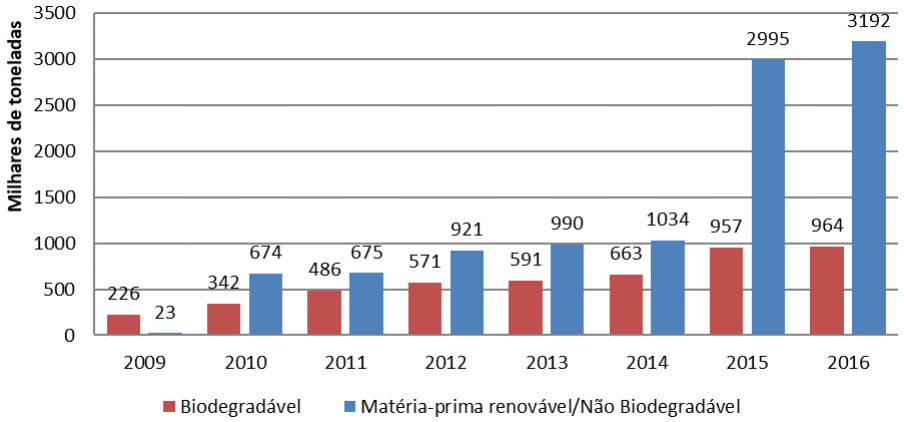

Figura 6: Capacidade global de produção de bioplásticos.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2013, 2014, 2015, 2017).

Nota-se que o precursor desse crescimento é o plástico de matéria-prima renovável e não biodegradável, apesar de também ser possível observar aumento do número de plásticos biodegradáveis. De acordo com a European Bioplastics (2017), no ano de 2016, 76,8% da capacidade de produção de bioplásticos foi voltada para polímeros com matéria-prima renovável e duráveis.

Com relação à divisão regional, em 2016, atribuiu-se quase metade da capacidade de produção global de 4,16 milhões de toneladas à Ásia, ficando a Europa em segundo lugar, seguida da América do Norte, América do Sul e Austrália/Oceania, como pode ser observado na figura 7 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017).

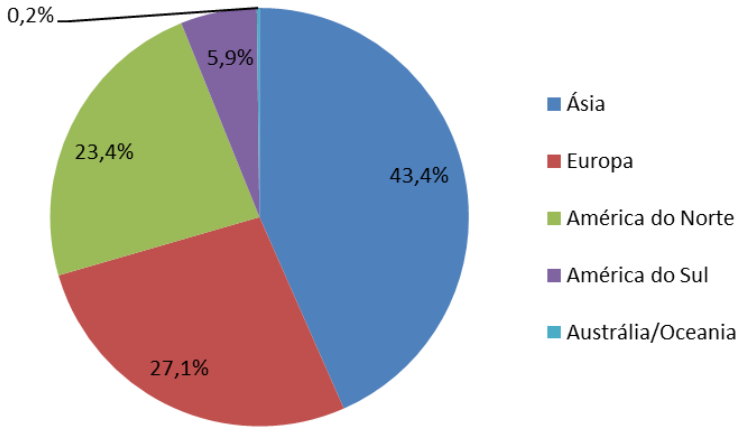

Figura 7: Capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2016.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2017).

Projeções para 2021 confirmam a predominância da Ásia sobre as outras regiões. Se em 2016 o continente foi responsável por cerca de 1,8 milhões de toneladas, em 2021, espera-se que a capacidade chegue a 2,9 milhões de toneladas, correspondente a 46,9% da capacidade global de produção desse ano. América do Sul, América do Norte e Europa, apesar de aumentarem sua capacidade de produção em 2021, revelaram diminuição percentual de cerca de 1% em relação a 2016: América do Sul com 4,4%, América do Norte com 22,5% e Europa com 26%. A participação da Austrália/Oceania se manteve constate, 0,2% (NOVA INSTITUTE, 2016). Esses valores mostram que as participações no mercado de bioplástico tendem a se manter relativamente similares.

De acordo com a Nova Institute (2016), a Ásia tem a maior capacidade de produção, no entanto, a Europa apresenta a maior demanda para polímeros com matéria-prima renovável. Isso se justifica pela falta de incentivos políticos nesta área. O Instituto

acredita que atualmente é mais seguro e atrativo o investimento nesse setor na Ásia e na América do Norte.

As aplicações dos bioplásticos são diversas, e já existem substitutos "verdes" para a maioria dos plásticos convencionais, inclusive com alguns bioplásticos apresentando as mesmas propriedades técnicas de plásticos convencionais. Da mesma forma que para os plásticos convencionais, o setor de embalagem é o que recebe destaque dentre as aplicações, representando 39% do destino dos bioplásticos, como pode ser observado na figura 8 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017).

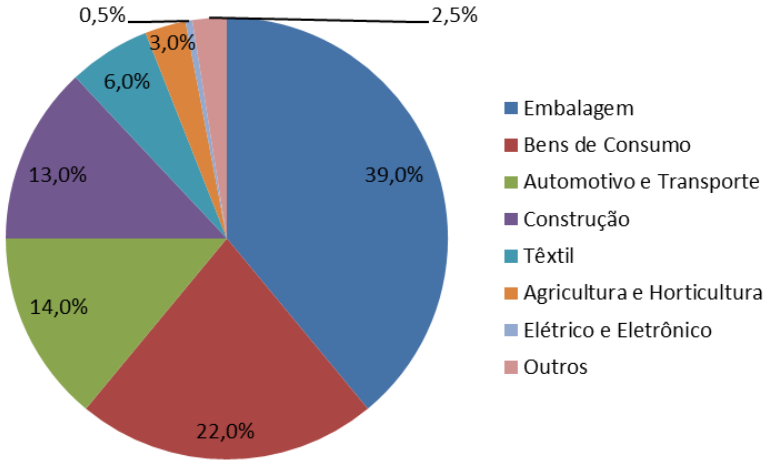

Figura 8: Destinação da capacidade global de produção de bioplásticos por setor em 2017.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2017).

Dos 39%, os quais correspondem a aproximadamente 1,6 milhões de toneladas, a maioria destina-se às embalagens rígidas, como garrafas e, a outra parte, são as embalagens flexíveis, como os filmes. O PET, por exemplo, tem bastante importância nesse setor, visto que é usado principalmente para a produção de garrafas (NOVA INSTITUTE, 2016).

Uma questão relevante para a indústria de embalagens é a biodegradabilidade, uma vez que elas são necessárias em um curto período de tempo, para então serem descartadas (NOVA INSTITUTE, 2016).

A figura 8 ainda mostra a relevância do setor de bens de consumo, que é seguido pelos setores automotivo e de transporte e de construção. Representando uma parcela menor estão os setores têxteis, agricultura e horticultura, elétricos e eletrônicos.

Em se tratando de tipo de polímero, ganha notoriedade o poliuretano (PU) que, em 2016, apresentou capacidade global de produção de 1,7 milhões de toneladas, mais

de 40% do total. Dentre os cinco polímeros com as maiores capacidades globais de produção, além do poliuretano, podem ser citados o poli (etileno tereftalato) (PET), com 950 mil toneladas, compostos de amido, com 430, poli (ácido láctico) (PLA), com 210 e, polietileno (PE), com 200. Esses cinco polímeros representam mais de 80% do total, como pode ser visto na figura 9 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017).

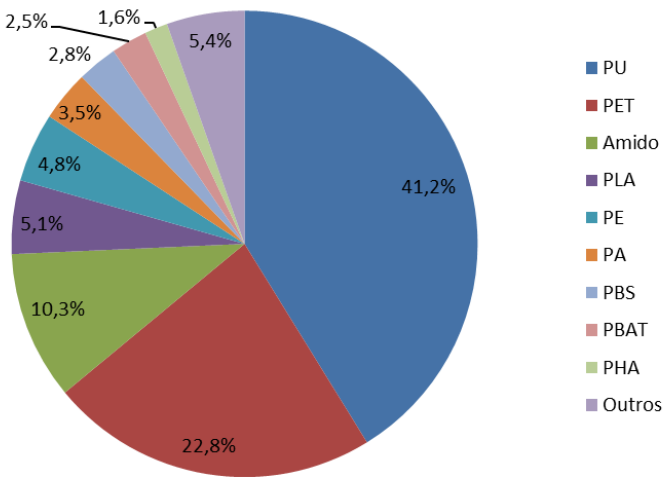

Figura 9: Capacidade global de produção de bioplásticos por tipo em 2016.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2017).

Dessa forma, conforme mencionado, polímeros que possuem origem renovável, como o PU, o PET e o PE, caracterizam maior participação na capacidade global de produção de bioplásticos.

Acompanhando a linha de crescimento, segundo a Nova Institute (2016), em 2021 a capacidade global de produção de bioplásticos pode alcançar 6,11 milhões de toneladas, sendo 4,85 milhões de toneladas referentes aos renováveis e não biodegradáveis e, o restante, 1,26 milhões de toneladas, relativo aos biodegradáveis.

Apesar do aumento, dados da Nova Institute (2016) mostram que a partir de 2015, o crescimento da capacidade de produção de polímeros de origem renovável se deu a taxas menores que nos anos anteriores. A instituição justifica essa queda devido aos baixos preços do petróleo, ao restrito apoio político, a uma taxa de capacidade de utilização mais baixa que a esperada e à questão da utilização de culturas alimentares como matéria-prima para a indústria. Ou seja, esse setor ainda tem barreiras a enfrentar, advindas de uma mudança na matéria-prima (ILES; MARTIN, 2013).

2.2.2. Panorama nacional

Considerando resinas termoplásticas e poliuretanos, o Brasil foi responsável pela produção de 6,2 milhões de toneladas de plásticos no ano de 2015, o que representa 2,3% da produção mundial. No ano anterior o país apresentou aproximadamente a mesma porcentagem, 2,4%, correspondendo a 6,3 milhões de toneladas (ABIPLAST, 2016; ABIPLAST, 2015; PLASTICS EUROPE, 2015; PLASTICS EUROPE, 2016).

De acordo com ABIPLAST (2016) com base em RAIS (2015) e CAGED (2016), no ano de 2015 estavam instaladas no Brasil cerca de 11 mil empresas do setor de transformados plásticos. Desde 2011 esse setor apresentou tendência de queda, sendo essa de 1% entre 2014 e 2015. Com relação ao número de empregos, em 2016 foram gerados aproximadamente 313 mil empregos no país, porém, assim como o número de empresas, os empregos apresentaram queda em 2015 e 2016.

O consumo aparente de transformados plásticos, segundo ABIPLAST (2016) com dados do IBGE (2014), reduziu 19% de forma acumulada entre 2014 e 2016, mostrando o menor consumo de plásticos por parte do mercado brasileiro.

Seguindo a tendência mundial, a partir de dados do IBGE (2014), a ABIPLAST (2016) afirma que no Brasil, o setor de embalagem também é o destino majoritário dos plásticos. Na tabela 1 pode ser observado o consumo de plásticos por setor em 2014.

Tabela 1: Destinação de transformados plásticos por setor em 2014.

Aplicação	Participação
Construção Civil	23,4%
Alimento	17,1%
Automóvel e Autopeça	11,0%
Artigos de Comércio em Atacado e Varejo	10,0%
Máquinas e Equipamentos	6,1%
Produtos de Metal	5,9%
Bebida	5,5%
Móveis	4,4%
Papel, Celulose e Impressão	3,2%
Perfumaria, Higiene e Limpeza	3,1%
Eletrônico	2,5%
Agricultura	2,5%
Químico	2,3%
Têxtil e Vestuário	0,9%
Farmacêutico	0,8%
Outros Equipamentos de Transporte	0,6%
Outros	0,7%

Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2016) com base em IBGE (2014).

Apesar do setor de construção civil apresentar a maior participação na tabela 1, o setor de embalagens engloba diversos setores dentre os apresentados, como o de alimentos e bebidas, ocupando a primeira posição quando somados os subsetores.

Quanto ao tipo de plástico, segundo a ABIPLAST (2016) com base em IBGE (2014, 2016), no país nota-se predominância do consumo do polietileno, encontrado nas formas de polietileno de baixa densidade, sendo essa a mais utilizada, polietileno de baixa densidade linear, e polietileno de alta densidade. Somadas, as diferentes formas de polietileno representam mais de 40% dos polímeros consumidos no Brasil. Na sequência encontra-se o polipropileno, o poli(cloreto de vinila) e o poli(tereftalato de etileno).

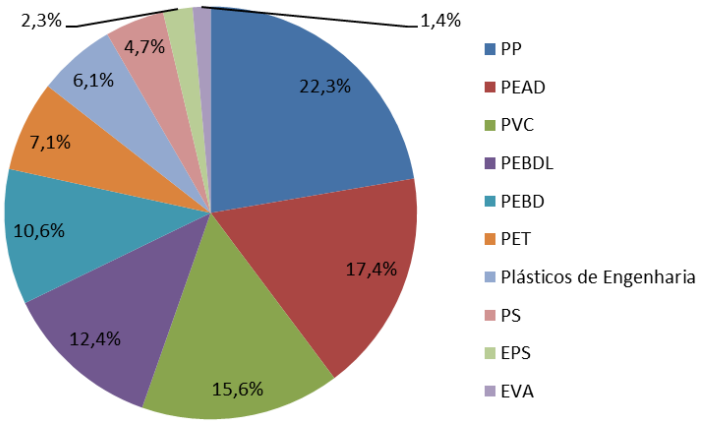

Figura 10: Consumo de plásticos por tipo.

Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2016) com base em IBGE (2014, 2016).

Com relação aos bioplásticos, pode ser dado destaque à planta de produção de eteno de origem renovável com capacidade anual de 200 mil toneladas (BRASKEM, 2017a). No entanto, ainda não há dados estruturados de quantidade de bioplásticos produzidos ao ano ou do setor de maior utilização.

Tanto no Brasil quanto no mundo, os bioplásticos devem enfrentar desafios para se estabelecerem no mercado e conquistarem maior participação nos diversos segmentos de aplicação dos plásticos.

2.3. Desafios da produção de bioplásticos

O mercado de bioplásticos surgiu como uma oportunidade de negócio para indústrias químicas que buscam atender a uma demanda mais sustentável, além de

criarem uma alternativa aos recursos fósseis e suas variações nos preços (ILES; MARTIN, 2013).

Entretanto, as empresas se deparam com perspectivas de mercado incertas. Sendo assim, é necessário investigar de que forma o uso da matéria-prima renovável, ou então a produção de um produto biodegradável irá agregar valor à empresa, aos consumidores e aos fornecedores (ILES; MARTIN, 2013).

Os obstáculos da obtenção de matéria-prima suficiente da agricultura e da possível falta de confiança por parte do consumidor da procedência dos bioplásticos fazem com que as indústrias químicas tenham que gerenciar essas questões em toda a cadeia produtiva. Esses obstáculos podem ser perpassados, por exemplo, construindo relacionamentos com fornecedores e consumidores e garantindo resultados ambientalmente e socialmente benéficos ao longo do ciclo de vida do bioplástico (ILES; MARTIN, 2013).

Diante de um mercado consolidado, com tecnologias e produtos bem estabelecidos, criar novos polímeros, pode significar correr riscos. O investimento pode ser grande frente à possível preferência dos compradores aos plásticos já conhecidos e adaptados aos processos e características existentes. Nesse sentido, além da construção de relacionamento com fornecedores e consumidores e resultados ambientais e sociais benéficos, é bastante relevante a redução de custos de produção e o aumento do rendimento da reação (LUDWIG, 1999 *apud* ILES e MARTIN, 2013; ILES e MARTIN, 2013).

Segundo dados do IFBB (2016), em 2014, o custo de produção de bioplásticos como o PE, PLA, PBAT e PHA variou entre 2,50 e 5,00 Euros por quilograma de polímero e o do PET foi abaixo de 2,50 Euros por quilograma de polímero.

A OECD (2013) também afirma que a produção de bioplásticos encontra na sustentabilidade financeira da empresa uma possível barreira. Quando comparado com o plástico convencional, o custo de produção dos bioplásticos revela-se maior em sua maioria. No entanto, é relevante destacar que o mercado de plásticos convencionais já possui bastante maturidade, enquanto os bioplásticos ainda encontrarão avanços tecnológicos que irão possibilitar a redução dos custos de produção.

Segundo a European Bioplastics (2016b), um dos grandes custos associados está relacionado com pesquisa e desenvolvimento. Entretanto, observa-se tendência de queda nos preços nas últimas décadas em decorrência do aumento da capacidade

produtiva e da eficiência dos processos. Conforme ocorrem o aumento da evolução tecnológica e o aumento do número de bioplásticos no mercado, há tendência de diminuição dos preços.

Atualmente é possível observar alguns casos de custos de produção de bioplásticos que conseguem competir com os plásticos convencionais, uma vez que algumas propriedades dos bioplásticos possibilitam a redução no uso de materiais utilizados nos produtos, afirma a European Bioplastics (2016b).

Como ponto positivo, a utilização de matérias-primas renováveis para a produção de bioplásticos reduz a dependência dos recursos fósseis e, consequentemente, das variações no preço desse insumo.

O consumo de petróleo, pelo terceiro ano consecutivo, cresceu a uma taxa de 1,8% (BP, 2018). Esse consumo é dividido em diversos setores, com destaque para o setor de transportes, que representou, em 2018, mais de 50% do uso dessa matéria-prima (STATISTA, 2018).

De acordo com Owen et al. (2010), a oferta de petróleo passível de uso como é nos dias atuais irá diminuir e o mercado do petróleo poderá ser limitado à oferta ao invés de ser comandado pela demanda.

Além disso, a variação no preço desse insumo pode ser influenciada por eventos geopolíticos e econômicos, mudanças na expectativa de crescimento econômico, mudanças na produção de petróleo na Arábia Saudita, interrupções não planejadas do suprimento de petróleo, entre outros motivos (EIA, 2018).

Dados do Banco Mundial (2018), obtidos a partir do Index Mundi (2018), mostram a variação do preço do barril de petróleo, como pode ser observado na figura 11:

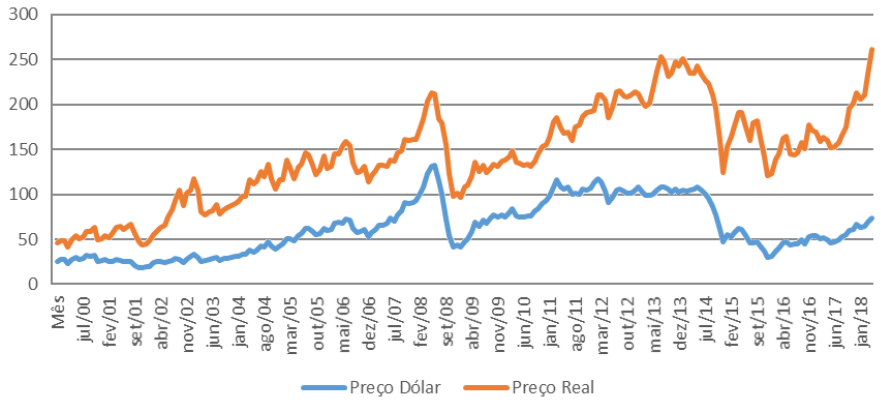

Figura 11: Preço do barril de Petróleo (Dólar e Real).

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2018 apud INDEX MUNDI, 2018).

Com o aumento constante do consumo e da competitividade pelo uso desse insumo, assim como com o crescimento do valor do preço do barril de petróleo, a busca por alternativas se torna essencial. Dessa forma, trata-se de uma oportunidade ao crescimento do bioplástico de origem renovável, como fonte alternativa ao petróleo.

Outro desafio a ser destacado é com relação ao debate acerca da competição entre alimentos, alimentos para animais e mercados industriais para matérias-primas agrícolas. Segundo Carus e Piotrowski (2009), a questão da alimentação não está relacionada a falta de espaço para produção e sim a problemas de distribuição, logística e recursos financeiros.

Os autores revelam outros argumentos a favor do uso de matérias-primas agrícolas como insumo para a produção de energia ou produtos industriais. Um deles é que essas novas áreas de produção irão gerar renda adicional a agricultores. Somado a isso está o fato de que nos países em desenvolvimento, três em cada quatro pessoas pobres moram em regiões rurais.

Carus e Piotrowski (2009) ainda complementam que antes do uso de novas áreas de agricultura, o aumento da produtividade de áreas já utilizadas é um fator muito importante, uma vez que a produtividade pode aumentar em até 10 vezes quando se passa a utilizar processos modernos em detrimento da agricultura tradicional.

De acordo com a European Bioplastics (2018), o plantio de matérias-primas para produção de bioplásticos ocupou em 2018 cerca de 0,016% do total, o que corresponde a 0,81 milhões de hectares. A organização ainda afirma que mesmo com a previsão de crescimento do setor, o uso da terra destinada à produção dos bioplásticos irá representar cerca de 0,020% do total da área da agricultura em 2022, ratificando a não competição entre a produção de alimento e a de bioplásticos.

Quando se compara o uso da terra necessário para a produção de bioplásticos com outros tipos de aplicação, como energia, percebe-se a vantagem dos polímeros, como por ser observado na figura 12.

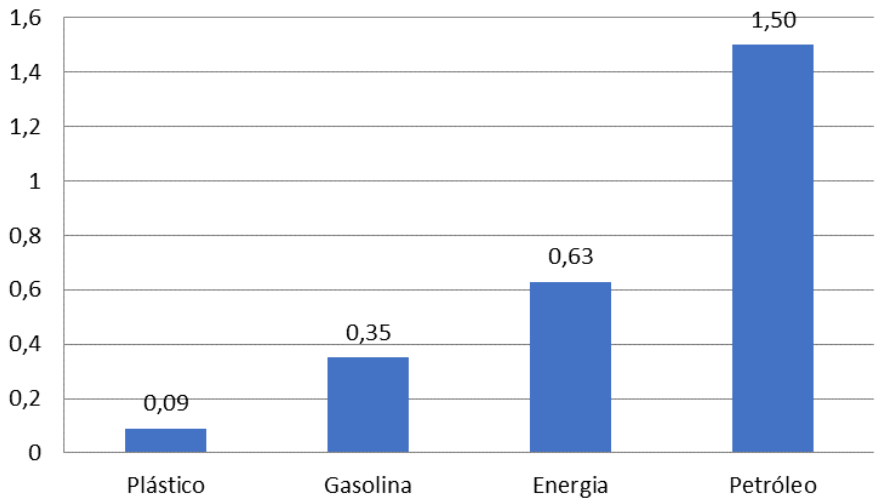

Figura 12: Proporção de terra necessária para substituir 20% de cada fonte de energia/material por alternativas de base biológica.

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

Segundo Endres e Siebert-Raths (2011 *apud* OECD, 2013), para substituir 20% da gasolina de origem fóssil pela gasolina de origem renovável, necessita-se quase o quádruplo de terra do que a mesma substituição para o caso dos plásticos, revelando mais um benefício do uso de matérias-primas agrícolas para a produção de bioplásticos.

Além dos desafios ligados ao setor, é relevante o estudo de políticas relacionadas, uma vez que podem ser determinantes para verificar a viabilidade do investimento em bioplásticos.

2.4. Políticas relacionadas

Não é recente o aumento da preocupação com o meio ambiente e com as mudanças climáticas. Para ratificar essa afirmação, pode-se citar, por exemplo, o Protocolo de Quioto, criado em 1997 e posto em vigor em 2005. O Protocolo refere-se a um tratado complementar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e tem o objetivo de contribuir para a redução das emissões de gases do efeito estufa dos países desenvolvidos e dos países que passavam por transição para o capitalismo na época (MMA, 2018a).

O protocolo entrou em vigor em fevereiro de 2005 e, segundo o mesmo, durante o primeiro período de compromisso, os países industrializados deveriam reduzir suas emissões combinadas de gases do efeito estufa, entre 2008 e 2012, em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990. Já no segundo período, o compromisso era a redução das

emissões de gases do efeito estufa, entre 2013 e 2020, em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990 (MMA, 2018a; INPE, 2018).

Em se tratando do nível nacional, o Brasil ratificou o tratado em agosto de 2002, mas por ser um país em desenvolvimento, só pode participar do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), no qual um país desenvolvido ou de economia em transição para o capitalismo pode comprar créditos de carbono que são consequência de atividades desenvolvidas em países em desenvolvimento que ratificaram o Protocolo (MMA, 2018a).

Mais recentemente, em 2015, ocorreu a 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC em Paris, que buscou estimular as ações globais relacionadas à ameaça das mudanças climáticas, assim como gerar entendimento sobre as medidas para lidar com os impactos causados por elas (MMA, 2018b).

Assim, na COP21 foi firmado o compromisso de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de gerar empenho para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (MMA, 2018b).

O Brasil ratificou o Acordo em setembro de 2016, e esse entrou em vigor em novembro do mesmo ano. O compromisso do país se deu a partir das Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC), nomenclatura anterior à ratificação do Acordo e NDC, posterior a ratificação, tornando-se obrigações oficiais (MMA, 2018b; G1, 2016).

Assim, o país deve reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e, como contribuição indicativa subsequente, deve diminuir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (MMA, 2018b).

Apesar da produção de plásticos a partir de fontes renováveis não estar incluída nas NDCs brasileiras, uma das principais apostas quando se aborda sobre benefícios dos bioplásticos é a redução dos gases do efeito estufa. É dessa forma que a produção de bioplásticos está em linha com o movimento de esforço para redução dos GEE e, portanto, com políticas públicas globais.

Outra questão importante para o meio ambiente relacionada aos plásticos é a geração de resíduos, principalmente quando o foco são os plásticos descartáveis. Para perpassar esse problema, diversas legislações estão sendo criadas, tanto no Brasil quanto a nível internacional. Elas versam sobre reutilização, reciclagem, uso de materiais biodegradáveis entre outras soluções aos plásticos convencionais, como o uso de materiais de origem renovável.

Por exemplo, pode-se citar a Lei nº 15.374 de 2011, que proíbe a disponibilização de sacolas plásticas descartáveis nos estabelecimentos comerciais do município de São Paulo. Um dos objetivos é que os estabelecimentos estimulem o uso de sacolas reutilizáveis (SÃO PAULO, 2011). Em 2015 foi publicado o Decreto nº 55.827, que regulamentou essa Lei e estabeleceu que as sacolas reutilizáveis devem atender às especificações a serem definidas pela Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB) (SÃO PAULO, 2015).

Segundo as especificações estabelecidas no Decreto n° 55 de 2015 da AMLURB, as sacolas reutilizáveis de que tratam o Decreto nº 55.827 devem ser fabricadas com composição mínima de 51% de matéria-prima proveniente de tecnologias sustentáveis: bioplásticos, de fontes renováveis ou naturais de recomposição e reciclável. Assim, revela-se como uma vantagem aos plásticos de origem renovável e recicláveis (SÃO PAULO, 2015).

No mesmo caminho, pode-se citar a Lei nº 8006 de 25 de junho de 2018, do Rio de Janeiro, cujo artigo segundo revela a proibição da distribuição de sacolas plásticas descartáveis:

> As sociedades comerciais e os empresários, de que trata o Art. 966 do Código Civil, 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 (RIO DE JANEIRO, 2018a).

E seu primeiro parágrafo aborda sobre a obrigatoriedade de materiais provenientes de fontes renováveis:

> As sacolas e/ou sacos plásticos reutilizáveis/retornáveis, de que fala o caput desse artigo, deverão ter resistência de no mínimo 4 (quatro), 7 (sete) ou 10 (dez) quilos e serem confeccionadas com mais de 51% (cinquenta e um por cento) de material proveniente de fontes renováveis, e deverão ser confeccionadas nas cores verde - para resíduos recicláveis - e cinza - para

> outros rejeitos, de forma a auxiliar o consumidor na separação dos resíduos e facilitar a identificação para as respectivas coletas de lixo (RIO DE JANEIRO, 2018a).

Determinadas legislações buscam o uso de materiais biodegradáveis, às vezes não plásticos, além de novamente ser retomada a utilização de produtos duráveis e não descartáveis. Um exemplo desse tópico é a Lei nº 6.384 de 4 de julho de 2018, que obriga os estabelecimentos autorizados pela prefeitura do Rio de Janeiro a usarem e fornecerem canudos de papel biodegradável e/ou reciclável individual, substituindo os canudos de plástico (RIO DE JANEIRO, 2018b).

Diversas cidades aderiram a proibição dos canudos de plástico. Algumas delas são: Santos (Lei Complementar nº 1010, de 31 de julho de 2018), Ilhabela (Lei n° 1316, de 27 de setembro de 2018), São Sebastião (Lei n° 2590 de 1 de novembro de 2018), Caraguatatuba (Lei n° 056 de outubro de 2018), Santa Maria (lei n° 6262 de 11 de setembro de 2018), Guarujá (Lei n° 4560 de 03 de setembro de 2018), Arraial do Cabo (Lei 2100 de 07 de junho de 2018), Natal (Lei nº 10.439, de 16 de outubro de 2018), entre outras (CIDADES INTELIGENTES, 2018).

A Ilha de Fernando de Noronha foi além da proibição apenas dos canudos de plástico e vetou a entrada, comercialização e uso de recipientes e embalagens descartáveis de material plástico ou similares por meio do Decreto Distrital nº 002/2018. Isso inclui garrafas plásticas de bebidas com capacidade inferior a 500 ml, copos, pratos e talheres plásticos descartáveis, sacolas plásticas, embalagens e recipientes de isopor, destinados ao acondicionamento de alimentos e bebidas e demais produtos descartáveis compostos por polietilenos, polipropilenos e/ou semelhantes. O Decreto ainda aborda sobre a obrigatoriedade que os estabelecimentos possuem de estimular o uso de sacolas retornáveis/reutilizáveis.

Nesse caminho, também pode ser citada a Lei n° 8.090 de 30 de agosto de 2018, que “proíbe a fabricação, distribuição, comercialização, importação, divulgação, uso e descarte nos rios, córregos e mar de qualquer produto cosmético, de higiene pessoal e de limpeza que contenha microesferas de plástico, sejam elas ocas ou maciças.” (RIO DE JANEIRO, 2018c).

Por outro lado, Projetos de Lei em trâmite no congresso buscam o uso de plásticos biodegradáveis quando se trata de utensílios descartáveis, como o Projeto de Lei do Senado n° 92 de 2018, que trata da “obrigatoriedade da utilização de materiais

biodegradáveis na composição de utensílios descartáveis destinados ao acondicionamento e ao manejo de alimentos prontos para o consumo." (RIO DE JANEIRO, 2018d).

Não só no Brasil, mas também no exterior, enxerga-se essa tendência. A questão dos microplásticos também foi abordada no Canadá. Nesse país, desde primeiro de julho de 2018 foi proibida a fabricação e importação de todos os produtos de higiene pessoal que contêm microesferas de plástico, com exceção dos artigos de higiene que são produtos de saúde naturais ou medicamentos não sujeitos a receita médica. Esse resultado é proveniente da publicação da *Canada Gazette of the Microbeads in Toiletries Regulations*, em junho de 2017 (GOVERNMENT OF CANADA, 2017).

Os Estados Unidos, por meio do "*The Microbead-Free Waters Act of 2015"*, também proibiram "a fabricação, embalagem e distribuição de cosméticos com enxágue contendo microesferas de plástico" (FDA, 2017).

Ainda nos Estados Unidos, a questão dos canudos de plástico também entrou em debate. No estado da Califórnia, de forma pioneira no país, os canudos não serão mais disponibilizados de forma automática nos restaurantes de serviço completo. Para receber o canudo, o cliente deve solicitá-lo, a menos que o canudo fornecido seja de papel ou metal. Além disso, a Lei não se aplica a *fast food* e loja de conveniência (CNN, 2018).

Na Europa também ocorreram algumas ações relacionadas aos plásticos. Em janeiro de 2018, a *European Comission* publicou a *European Strategy for Plastics in a Circular Economy*. Baseando-se no fato de que 50% dos itens encontrados nas praias da Europa são plásticos de uso único, 34% são outros plásticos e o restante representa não plásticos, a *European Comission*, dentre outros objetivos, busca restringir os resíduos plásticos de uso único, com ações, por exemplo, voltadas ao uso de itens reusáveis e à redução da utilização de sacolas plásticas e garrafas de água, sendo essa última já prevista em lei. Além disso, a estratégia visa reduzir o uso de microplásticos adicionados intencionalmente, que estão presentes em produtos como cosméticos e detergentes (EUROPEAN COMISSION, 2018a).

Uma das ações mencionadas na *European Strategy for Plastics in a Circular Economy* é a melhoria da economia e da qualidade de reciclagem de plásticos. Para isso,

a *European Comission* afirma que os principais players devem tomar um conjunto de ações:

> (i) Melhorar o design e apoiar a inovação para fazer produtos plásticos e plásticos mais fáceis de reciclar; (ii) expandir e melhorar a coleta seletiva de resíduos plásticos, para garantir insumos de qualidade à indústria de reciclagem; (iii) expandir e modernizar a triagem da UE e capacidade de reciclagem; (iv) criar mercados viáveis para reciclagem e plásticos renováveis (EUROPEAN COMISSION, 2018a).

No mesmo ano, em 28 de maio, a *European Comission* (2018b), propôs diretivas que ainda serão avaliadas pelo Parlamento Europeu e Conselho para serem adotadas. As estratégias abordadas focam em 10 produtos plásticos descartáveis e em equipamento de pesca, que representam cerca de 70% do resíduo marinho na Europa.

A redução do consumo de alguns desses itens, como as embalagens de alimentos e os copos para bebidas, e a restrição de mercado para astes de cotones, talheres, pratos, agitadores, canudos e astes de balões são alguns dos temas incluídos na proposta, como é possível verificar na tabela 2 (EUROPEAN COMISSION, 2018b).

Tabela 2: Medidas relacionadas aos plásticos.

	Redução de consumo	**Restrição de mercado**	**Requerimento de design de produto**	**Requisitos de identificação**	**Responsabilidade ampliada do produtor**	**Coleta seletiva**	**Medidas de sensibilização**
Recipientes para alimentos	X				X		X
Copos para bebidas	X				X		X
Cotonetes		X					
Talheres, pratos, agitadores, canudos		X					
Astes para balões		X					
Balões				X	X		X
Embalagens					X		X
Recipientes para bebidas e tampas			X		X		X
Garrafas para bebidas			X		X	X	X
Produtos para tabaco: filtros					X		X
Itens sanitários: lenço umidecido				X	X		X
Absorvente				X			X
Sacolas plásticas					X		X
Material de pesca					X		X

Fonte: Adaptado de *European Comission* (2018b).

Essas legislações expõem uma tendência da diminuição do uso de plásticos de uso único, como as sacolas plásticas e os utensílios descartáveis, e da valorização da reciclagem, da reutilização e do uso de materiais biodegradáveis, algumas vezes

focando em materiais biodegradáveis não plásticos, como o papel. Nesse sentido, trata-se de uma oportunidade ao mercado de plásticos recicláveis, biodegradáveis e que não possuem uso único e de ameaça ao mercado de plásticos de uso único.

Diante do exposto, notam-se muitas questões envolvidas na produção de bioplásticos. É possível observar aspectos que revelam que o mercado possui potencial, mas também são encontradas algumas barreiras. Primeiramente, observa-se tendência de grande crescimento, principalmente quando se faz referência ao crescimento de 2014 para 2015 dos bioplásticos de origem renovável e não biodegradáveis. Previsões estimam que o setor irá continuar a progredir, porém pode ocorrer a taxas menores que dos anos anteriores.

Mesmo com o setor em crescimento, diversos desafios podem ser observados, como a preferência dos plásticos convencionais já conhecidos; o custo de produção dos bioplásticos, que pode afetar a viabilidade de introdução desse produto no mercado; o debate sobre a competição do uso dessas matérias-primas para fins não alimentares; além de políticas que visam diminuir cada vez mais o uso de plásticos descartáveis. Mas é importante frisar que eles são uma alternativa ao petróleo, que tem apresentado tendência de crescimento no preço e é um recurso não renovável.

Todos esses aspectos são importantes para serem observados os reais benefícios e pontos negativos relacionados aos bioplásticos. Além disso, devem ser considerados na definição das forças, fraquezas, ameaças e oportunidades da produção desses plásticos, juntamente com as questões ambientais, principalmente as mudanças climáticas.

3. Principais biopolímeros, empresas relacionadas e impactos ambientais

Os bioplásticos, conforme demonstrado, vêm apresentando tendência de crescimento nos últimos anos. Caminhando junto com o crescimento, é necessário compreender de que maneira as empresas têm investido nesse setor, mas também quais são os impactos ambientais relacionados à produção desses biopolímeros.

Uma metodologia utilizada para avaliar “os aspectos e impactos ambientais de sistemas de produto, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final, de

acordo com o objetivo e escopo estabelecidos.” é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009a).

Segundo a ABNT NBR ISO 14040 (2009a), a ACV é uma técnica que: permite identificar oportunidades para melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida; pode auxiliar na tomada de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não governamentais; contribui para a seleção de indicadores de desempenho ambiental e; pode trazer insumos para o marketing ambiental do produto.

Speck *et al*. (2015) afirmam que uma das vantagens da ACV é a possibilidade de observar as contribuições de cada etapa do ciclo de vida de um produto ou processo. Os resultados encontrados na ACV, segundo os autores, trazem um panorama geral dos impactos ambientais do produto ou processo e, além disso, funcionam como um direcionador dos esforços para redução dos impactos.

No entanto, conforme argumentam Speck *et al*. (2015), uma das maiores desvantagens relacionadas à ACV é a dificuldade para obter os dados de inventário e analisar a informação necessária. Atualmente, existem diversas bases de dados e programas que auxiliam na obtenção das informações do ciclo de vida.

Como guias para a elaboração de ACV, podem ser citadas a ISO 14040, que descreve os princípios e a estrutura de ACV e a ISO 14044, que especifica os requisitos e provê orientações para a ACV (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

A ACV é composta por 4 fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos e interpretação, como pode ser observado na figura 13 (ABNT, 2009a).

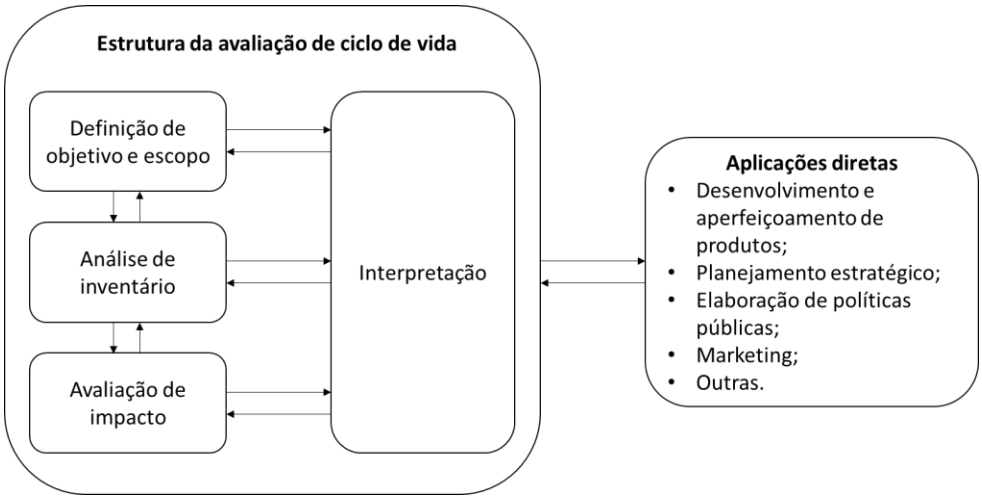

Figura 13: Estrutura da Avaliação de Ciclo de Vida.

Fonte: Adaptado de ABNT (2009a).

No objetivo da ACV encontra-se a aplicação pretendida, o motivo do estudo, o público-alvo e a definição da utilização ou não dos resultados em afirmações comparativas que serão divulgadas publicamente (ABNT, 2009a).

Já o escopo engloba o sistema de produto a ser estudado; as funções do sistema ou sistemas de produto; a unidade funcional; a fronteira do sistema; os procedimentos de alocação; as categorias de impacto, a metodologia para avaliação de impactos e a interpretação a ser utilizada; os requisitos de dados; os pressupostos; as limitações; os requisitos iniciais quanto à qualidade dos dados; o tipo de análise crítica e; o tipo e formato do relatório requerido para o estudo (ABNT, 2009a).

A definição da unidade funcional objetiva fornecer uma referência a qual os fluxos de entrada e saída são relacionados. Já na fronteira do sistema devem ser indicados os processos elementares a serem incluídos no sistema (ABNT, 2009a).

A análise de inventário de ciclo de vida engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculo a fim de quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. A próxima etapa, avaliação de impacto, faz uso dos resultados da fase anterior com a finalidade de estudar a significância dos impactos ambientais potenciais e dá insumos para a próxima fase, a interpretação do ciclo de vida (ABNT, 2009a).

Os elementos mandatórios da avaliação de impacto são: a seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; a correlação dos resultados da análise de inventário de ciclo de vida (classificação) e; o cálculo de resultado dos indicadores de categoria (caracterização). A normalização, o agrupamento e a ponderação são elementos opcionais (ABNT, 2009a).

Por fim, a etapa de interpretação do ciclo de vida verifica em conjunto os resultados das duas etapas anteriores. Essa etapa pode incluir a análise crítica e a revisão do escopo da ACV, da natureza e qualidade dos dados coletados (ABNT, 2009a).

Apesar da metodologia de ACV ser bem estabelecida, autores como Villanueva e Wenzel (2007) e Speck *et al*. (2015) afirmam que os resultados da ACV podem possuir forte dependência nos dados e hipóteses adotadas na análises.

Com um movimento, ainda que reduzido, de companhias tentando substituir os recursos fósseis pelos renováveis, a ACV foi uma metodologia bastante utilizada para investigar os impactos ambientais dos plásticos de origem renovável (AKANUMA *et al*., 2014).

Da mesma forma, a técnica da ACV possibilita verificar os impactos ambientais dos plásticos que são biodegradáveis e compará-los com aqueles que não possuem essa característica.

Como exemplos, podem ser citados os estudos de Chen *et al*. (2016), Liptow e Tillman (2012) Gonzalez *et al*. (2017), entre outros, que investigaram os impactos ambientais de bioplásticos e compararam os resultados com os impactos dos plásticos convencionais, a fim de identificar o plástico com melhor desempenho ambiental.

Com base no exposto, serão apresentadas empresas, nacionais e internacionais, produtoras de alguns dos principais bioplásticos e estudos de Avaliações de Ciclo de Vida para cada um deles, que posteriormente serão comparados. Em relação ao polietileno, será explicado em maiores detalhes o caso do bioplástico produzido pela Braskem, uma vez que a empresa é a principal produtora desse polímero e sua planta de produção é localizada no Brasil.

As quatro Avaliações de Ciclo de Vida expostas neste trabalho são referentes aos seguintes bioplásticos: poli(tereftalato de etileno), polietileno e poliuretano. Três

dos quatro artigos analisados são estudos realizados no exterior, no entanto, do total, dois fazem referência à cana-de-açúcar produzida no Brasil.

3.1. Análise individual

3.1.1. Poli(tereftalato de etileno)

O PET, em 2016, foi o segundo biopolímero mais produzido no mundo e apresentou capacidade global de produção de 950 mil toneladas (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017). Segundo Carus *et al*. (2015), no ano de 2014, 5 empresas foram responsáveis pela produção de PET com origem renovável.

O PET é um polímero renovável, porém não é biodegradável. Ele é resultante, principalmente, da reação de esterificação entre 70% em massa de ácido tereftálico (TPA) e 30% em massa de etileno glicol (EG) (AKANUMA *et al*., 2014).

A exemplo de empresas que comercializaram garrafas PET de origem renovável, pode-se citar a Coca-Cola que, a partir de 2009 introduziu as garrafas 100% recicláveis e com até 30% de sua matéria-prima de fonte renovável, nesse caso, a cana-de-açúcar e seus resíduos. A PlantBottle, como é conhecida, até 2015 havia sido distribuída em cerca de 40 países, em um número superior a 35 bilhões de garrafas, e representava 30% do volume de embalagens da companhia na América do Norte e 7% globalmente. A empresa busca utilizar todas as garrafas PET com pelo menos 30% de matéria-prima renovável até 2020 (COCA-COLA, 2015a; COCA-COLA, 2015b).

Empresas como Heinz, Ford Motor e Disney utilizaram a tecnologia licenciada da PlantBottle em embalagens, interiores de carros e copos, respectivamente. Em 2012, parceria entre a Coca-Cola, Ford Motor, H.J. Heinz, NIKE e Procter & Gamble deu origem ao Plant PET Technology Collaborative (PTC), com o objetivo de utilizar o polímero PET com origem 100% renovável em alguns de seus produtos (COCA-COLA, 2015b).

A garrafa feita de matéria-prima renovável possui as mesmas características e propriedades químicas da garrafa convencional, com origem no petróleo. Ela já foi utilizada em embalagens de água, sucos, refrigerantes e chás, entre outros produtos (COCA-COLA, 2015b). Segundo a Coca-Cola (2012) as aplicações do bioplástico são as mesmas do plástico PET convencional e a empresa busca ampliar as possibilidades.

Ou seja, além das aplicações mencionadas, o PET de origem renovável poderá resultar em embalagens de alimentos, filmes para radiografias, laminados para impressão, embalagens de cosméticos, produtos de limpeza, entre outros (ABIPLAST, 2014).

Em 2015 foi revelada a PlantBottle feita 100% com matéria-prima renovável, a partir de matérias-primas como cana-de-açúcar, milho e biomassa de lenha, das quais é obtido o paraxileno, utilizado para a produção de TPA. O resultado surgiu de parceria entre a Coca-Cola e a Virent, iniciada em 2011. É relevante destacar, de acordo com a produtora do paraxileno utilizado pela Coca-Cola e comercializado como BioFormPX, que a matéria-prima pode ser utilizada na infraestrutura já existente, não sendo necessárias novas instalações para a produção da garrafa de origem renovável (COCA-COLA, 2015a; VIRENT, 2011; VIRENT, 2015).

A Pepsico produziu, em 2011, uma garrafa PET com 100% de sua origem renovável, sendo a primeira produzida no mundo. Em 2012, realizou a produção piloto da garrafa. Matérias-primas como grama, casca de pinheiro e palha de milho foram utilizadas para produzir a garrafa idêntica a original (PEPSICO, 2011).

A empresa Japonesa Toray também produziu em 2011, em escala laboratorial, uma fibra de PET inteiramente renovável, a partir do paraxileno de origem renovável produzido pela companhia Gevo (TORAY, 2011).

Em 2017 a Danone e Nestlé Waters, em parceria com a Startup Origin Materials, formaram a NaturALL Bottle Alliance, que busca desenvolver e lançar em escala comercial uma garrafa PET feita 100% com matéria-prima renovável. A garrafa será produzida, em princípio, com papelão, serragem e lascas de madeira, mas também serão exploradas matérias-primas como casca de arroz, palha e resíduo agrícola (NESTLÉ, 2017).

A parceria ainda afirma que a tecnologia será disponibilizada para toda a indústria de embalagens. Juntos, Danone, Nestlé Waters e Origin Materials objetivam produzir em escala comercial uma garrafa PET com 95% de matéria-prima renovável até 2022 (NESTLÉ, 2017).

Além das empresas que conseguiram obter polímero PET com origem 100% renovável, mesmo não sendo em escala comercial, e outras que ainda buscam alcançar esse objetivo, existem estudos que testam os impactos ambientais de distintas matérias-

primas renováveis para a obtenção do biopolímero. Um desses estudos é o de Chen *et al*., que será apresentado a fim de avaliar os impactos ambientais do PET de origem renovável.

ACV Chen *et al*. (2016)

Chen *et al*. (2016), exploram diversas possibilidades para a produção de PET parcialmente e 100% renovável, e as compara com o PET de origem fóssil. No artigo, foram definidos 12 cenários, apresentados na tabela 3, englobando desde matéria-prima 100% fóssil, até 100% renovável.

Tabela 3: Cenários de garrafas PET de origem fóssil e renovável.

Cenários	Matéria-prima do TPA	Matéria-prima do EG	% de biomassa	Cenários	Matéria-prima do TPA	Matéria-prima do EG	% de biomassa
1	Fóssil	Fóssil	0	7	Madeira	Switchgrass	100
2	Fóssil	Milho	30	8	Madeira	Palha de trigo	100
3	Fóssil	Switchgrass	30	9	Palha de milho	Fóssil	70
4	Fóssil	Palha de trigo	30	10	Palha de milho	Milho	100
5	Madeira	Fóssil	70	11	Palha de milho	Switchgrass	100
6	Madeira	Milho	100	12	Palha de milho	Palha de trigo	100

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

Nesse estudo, realizado no contexto dos Estados Unidos, o escopo foi definido englobando a extração da matéria-prima até a produção da garrafa PET, desconsiderando a fase de uso e a destinação final. Na fronteira do sistema foi considerado o transporte das substâncias químicas às unidades de produção. A unidade funcional definida foi de 1 quilograma de garrafas PET.

Foi desenvolvido o método de substituição baseado no conceito de expansão do sistema, no qual determina-se o potencial de prejuízos evitados. Foram considerados quatro tipos de impactos evitados. São eles: impactos evitados da queima dos resíduos de madeira; impactos evitados da produção de vapor e eletricidade de recursos fósseis; impactos evitados de coprodutos não energéticos; impactos evitados através dos créditos de armazenamento de carbono.

De acordo com os resultados obtidos por Chen *et al*. (2016), se não forem considerados os créditos relacionados aos impactos evitados, as garrafas PET de origem renovável resultariam em performance inferior às garrafas PET de origem fóssil em quase todas as categorias de impacto analisadas.

Quando são considerados os impactos evitados o resultado sofre alterações: as garrafas feitas com ácido tereftálico com origem em biomassa de lenha revelam importante vantagem ambiental em relação àquelas feitas com ácido tereftálico de origem fóssil e de palha de milho.

Com a consideração dos créditos, na categoria de mudanças climáticas, as garrafas derivadas de resíduos florestais apresentaram menor impacto que àquelas com produção de TPA fóssil e impacto ainda menor que as com produção de TPA de palha de milho. Nessa categoria, destaca-se como etapa geradora de emissões a extração da matéria-prima, incluindo o estabelecimento dos campos de milho e a colheita e o manuseio da palha de milho.

Outra etapa relevante nessa categoria é o processo produtivo de isobutanol no caso das garrafas feitas com TPA de matéria-prima de madeira. Essa etapa envolve processos como pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação, e requer elevada energia quando comparada com outras biomassas.

Na categoria de consumo de recursos fósseis, conforme esperado, as garrafas PET com origem renovável apresentaram melhor desempenho que as de origem fóssil, na maioria dos cenários. As garrafas produzidas com TPA de matéria-prima de madeira apresentaram menor consumo de recursos fósseis do que as produzidas com palha de milho e menor consumo ainda que as produzidas com recursos fósseis.

Com relação à categoria de acidificação, a produção de garrafas PET de palha de milho foi a que recebeu maior destaque. As garrafas com origem fóssil provocaram menores impactos de acidificação, ainda quando foram considerados os impactos evitados com a ausência de queima dos resíduos de madeira. O EG fóssil, em sua maioria, gerou menores impactos de acidificação do que o renovável.

Os resultados de impactos de eutrofização revelaram semelhança para os cenários de TPA fóssil e de TPA de matéria-prima de madeira. O TPA de palha de milho mostrou resultados inferiores quando comparado aos dois anteriores.

3.1.2. Poliuretano

De acordo com a European Bioplastics (2017), em 2016 o poliuretano (PU) foi o biopolímero mais produzido e representou 41,2% da capacidade de produção de bioplásticos. Ele possui origem renovável, porém não é biodegradável. De acordo com a

Carus *et al*. (2015), no ano de 2014, 7 empresas foram responsáveis pela produção do PU de origem renovável.

Estimativas mostram um crescimento da capacidade global de produção de poliuretano. Esses dados também revelam que a participação desse polímero no total de bioplásticos tende a se manter similar de 2016 para 2021, passando de 41,2% para 39,3%. Apesar do mercado de poliuretano fóssil crescer continuamente, espera-se um crescimento maior do poliuretano de origem renovável (NOVA INSTITUTE, 2016).

O poliuretano pode conter de 10% a 100% do seu conteúdo com origem renovável (NOVA INSTITUTE, 2016). Esse polímero pode ser obtido a partir da reação entre um isocianato e um poliol (VILAR, 1993 apud PEREIRA, 2010).

A Cargill, por meio da sua linha BiOH, produz polióis a base de soja (CARGILL, 2019). A empresa Woodbridge Foam Corporation utiliza esses polióis produzidos pela Cargill como aditivo na produção do poliuretano (FOAM EXPO, 2019). Em 2008 a parceria entre a Cargill e Woodbridge Foam Corporation permitiu à Fiat Automóveis o uso do poliuretano renovável em bancos de carros (CARRETEIRO, 2008).

Outras companhias que produzem polióis de origem renovável que podem ser utilizados para a produção de poliuretano são a Elevance Renewable Sciences e a Emery Oleochemicals (ELEVANCE RENEWABLE SCIENCES, 2019; EMERY OLEOCHEMICALS, 2019).

Diante do exposto, será apresentado o estudo de Gonzalez *et al*. (2017), que mostra a produção de poliuretano a partir de fontes renováveis e avalia os impactos ambientais relacionados.

ACV Gonzalez *et al*. (2017)

Nesse artigo estudou-se o desenvolvimento de aglutinante poliéster obtido a partir de monômeros derivados da biorrefinaria. O aglutinante poliéster é uma parte importante na produção de revestimentos de poliuretano.

Gonzales *et al*. (2017) analisaram de forma comparativa 3 poliésteres, sendo 2 obtidos a partir de monômeros de fonte fóssil e 1 de monômeros de fonte renovável, em sua maioria, conforme consta na tabela 4.

Tabela 4: Composição dos Poliésteres.

PU1 Monômeros - Origem	PU2 Monômeros - Origem	PU3 Monômeros - Origem
Glicerina - Fóssil	Glicerina - Fóssil	Glicerina - Azeite de Dendê
1,4 - butanodiol - Fóssil	1,2 propanodiol - Fóssil	1,3 propanodiol - Cana-de-açúcar
Anidrido ftálico - Fóssil	Anidrido ftálico - Fóssil	Anidrido ftálico - Fóssil
Ácido adípico - Fóssil	Ácido adípico - Fóssil	Ácido succínico - Amido de Milho

Fonte: Gonzalez *et al*. (2017).

Do poliéster formado a partir de fontes renováveis, a glicerina foi obtida do azeite de dendê, o ácido succínico a partir de amido de milho e o 1,3-propanodiol a partir de cana-de-açúcar. Nesse composto, apenas o anidrido ftálico foi originado de fonte fóssil. Para todos os monômeros, com exceção da glicerina, a cobertura geográfica foi baseada na União Europeia (UE).

Foi definida como unidade funcional 1 kg de aglutinante poliéster. Já a fronteira do sistema engloba a extração dos recursos, transporte para a fábrica, produção dos monômeros e do poliéster.

Os resultados revelaram que o PU3, poliéster com cerca de 60% de sua composição proveniente de fonte renovável, mostrou melhores resultados em termos de emissões de gases do efeito estufa e uso de energia não renovável, apresentando cerca de 75% e 36% de redução, respectivamente.

Em geral, o processo de polimerização não foi destaque na contribuição das emissões e do uso de energias não renováveis. A substituição do ácido adípico fóssil pelo ácido succínico renovável no PU3 levou à diminuição de aproximadamente 96% das emissões e 75% do uso de energias não renováveis.

De forma semelhante, a mudança de 1,4-butanodiol e 1,2-propanodiol fósseis para 1,3-propanodiol de origem renovável, causou reduções de cerca de 53% das emissões e de 30% do uso de energias não renováveis.

3.1.3. Polietileno

A ideia de utilizar o etanol como rota para a fabricação de produtos químicos, a chamada alcoolquímica, não é recente. No Brasil, existem registros que datam da década de 1940 do uso do etanol para esse fim em escala comercial. Um exemplo foi da empresa Rhodia, que já em 1944 fez uso do etanol na sua cadeia produtiva. O avanço

tecnológico do país em relação à produção de etanol é um dos fatores que possibilitou a diversificação de aplicações (SZWARC, 2011).

Um outro exemplo do uso da alcoolquímica foi o da Salgema, uma das aquisições da Odebrecht na década de 1980. Com uma capacidade de 100 mil toneladas métricas por ano, a empresa produziu etileno a partir de etanol a fim de gerar 1,2-dicloroetano para fazer PVC (MORSCHBACKER, 2009).

Nesse mesmo caminho, aproveitando a experiência da planta da Salgema, a Braskem iniciou o desenvolvimento de estudos relacionados à produção de polietileno a partir do etanol da cana-de-açúcar, dando origem ao polímero que seria chamado de polietileno verde (DO CARMO *et al*., 2012).

De acordo com Do Carmo *et al.* (2012), em 2007, uma planta piloto de produção de etileno verde iniciou sua operação. Segundo o autor, com essa planta foi possível aprimorar a tecnologia, escolher os catalisadores mais adequados e habilitar os operadores ao trabalho. Devido ao fato de que a polimerização do eteno verde era feita da mesma forma que a do eteno convencional, a principal tecnologia a ser desenvolvida pela Braskem era a transformação do etanol em eteno.

Nesse ano, a empresa produziu as primeiras amostras de eteno verde advindas do etanol da cana-de-açúcar e então lançaram o polietileno verde com fonte 100% renovável, de acordo com o método ASTM D6866 (BRASKEM[1], 2017). Esse método verifica o conteúdo de carbono biogênico/de base biológica em amostras sólidas, líquidas e gasosas, através de análise por radiocarbono (ASTM, 2017).

O fato que possibilita a viabilidade da medição de biocarbono contido no bioplástico através de métodos padronizados, como o ASTM D6866 citado, é a diferença nas composições dos átomos de carbono em cada um dos polímeros. O CO_2 atmosférico fixado pela cana-de-açúcar representa a origem dos átomos de carbono do polietileno verde, esses, apresentando assim, composição isotópica igual a encontrada na atmosfera. Já o polietileno convencional, de origem fóssil, basicamente em sua totalidade não apresenta o isótopo ^{14}C instável (DO CARMO *et al*., 2012).

Continuando a trajetória, em 2008 a Braskem desenvolveu o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) de fonte renovável (BRASKEM, 2017b). Em seguida foi determinada a viabilidade do projeto da unidade industrial de polietileno verde em Triunfo, Rio Grande do Sul e, posteriormente, ocorreu a aprovação do mesmo (BRASKEM, 2017c).

No início de 2009, a empresa iniciou as fases de detalhamento e começo das obras da planta de produção de etileno, que possui capacidade de 200 mil toneladas por ano (BRASKEM, 2017c). Em setembro de 2010 ocorreu a inauguração e início da operação da planta de eteno verde. Já em 2013, a companhia lançou o polietileno verde de baixa densidade (PEBD), aumentando o portfólio de produtos renováveis (BRASKEM, 2017b).

Hoje, o polietileno de origem renovável faz parte do cotidiano de indústrias de diversas áreas e está presente em países das Américas do Sul e Norte, Europa, Ásia e Oceania. Mais de 80 marcas, englobando os mais diversos produtos, fazem uso dessa resina (BRASKEM, 2017b).

A fim de atender a produção de 200 mil toneladas de etileno verde por ano, são utilizados cerca de 65.000 hectares de cana-de-açúcar. Esse resultado é obtido a partir da informação de que em um hectare são produzidas cerca de 82,5 toneladas de cana, quantidade que gera 7.200 litros de etanol, possibilitando a produção de 3 toneladas de etileno verde e cerca de 3 toneladas de polietileno verde (BRASKEM, 2017d).

Uma característica bastante relevante para viabilizar a produção do polietileno verde é que esse polímero apresenta as mesmas propriedades e desempenho do convencional, por isso podem ser utilizadas as plantas de polimerização do polietileno de origem fóssil. Além disso, a diversidade de aplicações é igual à do plástico de origem fóssil (BRASKEM, 2017a).

Outro aspecto importante é que o polietileno verde da Braskem não é biodegradável, conforme acredita-se ser uma característica geral dos bioplásticos. Em uma pesquisa realizada com a ferramenta *survey* do Google e utilizando o método bola de neve, foi feita uma pergunta aberta sobre as vantagens do polietileno verde, das 239 pessoas que responderam a essa questão, 17% listaram a biodegradabilidade como vantagem, o que revela certo desconhecimento quanto a esse aspecto (KRUTER *et al*., 2012). O produto não é biodegradável, no entanto, é 100% reciclável e pode ser reciclado juntamente com o polietileno convencional (BRASKEM, 2017a).

Alguns dos clientes que utilizam o polietileno verde na fabricação dos seus produtos são: Johnson & Johnson, Lanxess, Natura, Faber-Castell, Embalixo Sustentável, L'occitane, Sojitz, Tramontina, Electrolux, Kimberly-Clark, Plásticos Suzuki, Toyota Tsusho, entre outros (BRASKEM, 2017e).

São encontradas aplicações desse bioplástico em setores como o alimentício, de higiene e limpeza, cosméticos, brinquedos e sacolas. Alguns dos produtos são, portanto, sacolas de mercado, embalagens de bebidas e alimentos, embalagens de cosméticos, brinquedos, entre outros (BRASKEM, 2017f).

A Johnson & Johnson, por exemplo, produz as embalagens dos protetores solares Sundown com o plástico verde. Da mesma forma, a Kimberly-Clark, fabrica as embalagens do papel higiênico da linha Neve Compacto com esse mesmo polímero. Outra empresa consolidada no mercado e que utiliza o polietileno verde é a Faber-Castell, com o seu EstojoEco (BRASKEM, 2017f).

Em 2016, uma parceria com uma empresa norte-americana líder no desenvolvimento de impressoras 3D para operação em gravidade zero e fornecedora da Nasa, a Made in Space, possibilitou a criação de peças no espaço feitas com o polietileno verde. A primeira peça criada fora da Terra com a impressora 3D e com o polietileno verde foi um conector de tubos para irrigação de vegetais. A escolha do plástico verde se deu devido a características como flexibilidade, resistência química e reciclabilidade, bem como a origem renovável (BRASKEM, 2017g).

Mais recentemente, em 2017, uma nova aplicação do polietileno renovável foi apresentada pela Braskem: a utilização do plástico verde no processo de transformação em rotomoldagem. Para isso a empresa fez estudos de desenvolvimento de uma resina que possibilitasse a produção de peças diversificadas, desde brinquedos e mobiliário até utensílios para a indústria agrícola (BRASKEM, 2017h).

Atualmente, até onde há conhecimento, a Braskem é a única empresa produtora de polietileno proveniente do etanol da cana-de-açúcar em escala comercial. Segundo Guzman (2016), o preço estável e reduzido da matéria-prima de açúcar foi um dos fatores que favoreceram a companhia. Uma das causas do baixo preço da matéria-prima é o excesso de oferta. Além disso, ainda de acordo com a autora, os preços baixos do etanol foram decorrência do baixo preço da gasolina.

Empresas como a Dow Chemical e Mitsui tinham o objetivo de iniciar a construção de uma planta de polietileno proveniente da cana-de-açúcar no ano de 2012 (SMOCK, 2011), no entanto, desistiram por conta de custos e necessidade de melhorias em termos de pesquisa e desenvolvimento (GUZMAN, 2016).

Segundo a Carus *et al*. (2015), em 2014 existia uma empresa produtora de polietileno de fonte renovável no mundo, no entanto, no mesmo ano, a empresa SABIC

anunciou um novo portfólio de poliolefinas renováveis, feitas a partir de gorduras e óleos residuais, que inclui polietileno e polipropileno (BIO-BASED NEWS, 2014). Segundo a companhia (2018), atualmente, na produção de polietileno e polipropileno para a indústria de embalagens, a matéria-prima fóssil é parcialmente substituída pela renovável, e os polímeros resultantes possuem as mesmas propriedades dos polímeros de origem totalmente fóssil.

Colaboração entre as empresas IKEA e Neste, iniciada em 2016, também permitiu a transformação de resíduos, como óleo de cozinha usado, e óleos vegetais sustentáveis em polipropileno e polietileno. As empresas anunciaram em 2018 que iriam iniciar a produção piloto em escala comercial de plásticos de polipropileno e polietileno com 20% do conteúdo renovável (NESTE, 2018).

No caso do polietileno, também foram realizadas análises para verificar os impactos ambientais do polímero de origem renovável. Serão apresentados os estudos da ACV Brasil (2017), realizado para analisar o polietileno da Braskem produzido a partir da cana-de-açúcar, e de Liptow e Tillman (2012), que também investiga o polietileno obtido a partir da cana.

ACV Brasil (2017)

O estudo da Braskem foi feito com o polietileno de alta densidade (PEAD), devido a demanda do PEAD em relação aos outros e pelo fato de que o PEAD verde é formado quase em sua totalidade por etileno proveniente de cana-de-açúcar.

O principal objetivo da ACV foi o fornecimento de informações e conjunto de dados de inventários sobre os polímeros provenientes da matéria-prima fóssil e renovável. No escopo do projeto, não foram considerados o processamento do plástico e o fim de vida, visto que esses são iguais para as duas matérias-primas e não afetam a comparação entre as mesmas.

A unidade funcional determinada foi a produção de 1 kg de PEAD no Brasil em 2015, considerando a produção a partir da cana-de-açúcar e do petróleo, sob condições técnicas de processamento iguais. Também é considerada a produção de 0,942 kWh de eletricidade.

De acordo com o resultado da ACV, considerando a unidade funcional e o escopo definidos anteriormente e, utilizando a técnica de polimerização em suspensão, a maior contribuição em termos de impactos ambientais positivos na produção do polietileno de origem renovável é na categoria de mudanças climáticas. Nas categorias

de ecotoxicidade, consumo de recursos e demanda acumulada de energia também se observa vantagem do polietileno verde em relação ao convencional, porém, menos acentuada do que na categoria de mudanças climáticas.

As demais categorias, inorgânicos respiratórios, formação de ozônio fotoquímico, eutrofização terrestre e aquática, uso da água e uso da terra, revelam um melhor resultado do polietileno convencional. A categoria de acidificação apresentou diferença menor entre os dois tipos de polietileno, inviabilizando uma resposta conclusiva quanto aquele que gera menos impactos ambientais.

Com relação à análise contribucional, de acordo com os resultados, os impactos são, de certa forma, distribuídos ao longo do ciclo de vida. No entanto, em algumas categorias é possível observar a predominância de uma ou mais etapas do processo produtivo. A etapa da agricultura de produção da cana-de-açúcar, incluindo a queima do bagaço, bem como os processos industriais finais, principalmente a produção de etileno verde, interferem com o aumento do impacto ambiental negativo em diversas categorias. Já a co-produção de eletricidade adiciona créditos em quase todas as categorias estudadas.

Na categoria de mudanças climáticas, observa-se uma distribuição dos impactos ao longo das etapas. Créditos são adicionados devido à co-produção de eletricidade e ao CO_2 equivalente para PEAD. A principal contribuição negativa é a emissão de monóxido de dinitrogênio na plantação da cana.

ACV Liptow e Tillman (2012)

Nessa segunda ACV, o objetivo foi analisar as contribuições mais importantes para o impacto ambiental do polietileno de baixa densidade (PEBD) proveniente da cana-de-açúcar brasileira e compará-las com os impactos ambientais do PEBD fóssil. Dois cenários foram analisados: PEBD proveniente da cana-de-açúcar, produzido no Brasil e usado e disposto na Europa e PEBD de origem fóssil, com base no petróleo do oriente médio, produzido, utilizado e disposto na Europa.

A unidade funcional foi 1 kg de PEBD na saída da planta de produção de polietileno. O escopo da análise atribucional considera desde o cultivo da cana e a extração do petróleo até a fase de incineração, mas desconsiderando a fase de uso e o excedente de eletricidade gerado na produção de etanol. Nesse caso, busca-se descrever a produção em escala industrial em um tempo próximo. Na análise consequencial as mesmas etapas são consideradas, com a adição do excesso de eletricidade gerado na

produção de etanol e a eletricidade gerada pela incineração. Nessa última análise, pretende-se modelar as consequências de um desenvolvimento maior do PEBD de origem renovável num futuro curto prazo.

Um tópico que os autores consideram relevante é a mudança no uso da terra, que pode ser direta ou indireta. Segundo eles, existem incertezas nos dados e metodologias para determinar as emissões de mudança no uso da terra e fontes diferentes apresentam valores distintos. Dependendo da fonte, esses dados podem assumir valores mais baixos, como 3,7 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol, até valores mais altos, como 46 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol.

Com isso, neste artigo estudou-se duas situações: zero emissões, sendo esse o melhor cenário; e o valor obtido pela California EPA (2009), 46 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol, que representa o cenário mais negativo.

Os resultados para a categoria de aquecimento global mostram que, considerando as estimativas do melhor cenário, ou seja, sem emissões relacionadas a mudança de uso da terra, o PEBD de origem renovável apresenta melhores resultados que o PEBD fóssil, tanto na análise consequencial, quanto na atribucional.

Os resultados ainda revelam a importância da fase de cultivo da cana dentro da análise das emissões de GEE, considerando também a produção e aplicação de fertilizantes e herbicidas. Além disso, a etapa de polimerização apresenta alto consumo de eletricidade, impactando também nessa categoria.

Em contrapartida, levando em conta o pior cenário, com emissões relacionas a mudança de uso da terra com o valor de 46 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol, o resultado se altera de forma significativa. O *Global Warming Potential* (GWP) para o PEBD de origem renovável mais que duplica, resultando em valores muito mais próximos ao GWP do PEBD fóssil. Na análise consequencial, o renovável apresenta um valor um pouco abaixo, 2,6 Kg $CO_{2\text{-eq}}$/Kg PEBD, contra 3,8 Kg $CO_{2\text{-eq}}$/Kg PEBD para o fóssil. Na atribucional, o renovável está um pouco acima, 3,9 Kg $CO_{2\text{-eq}}$/Kg PEBD, enquanto o fóssil apresentou o valor de 3,5 Kg $CO_{2\text{-eq}}$/Kg PEBD. Isso mostra a importância das emissões relacionadas a mudança no uso da terra, representando um impacto relevante na obtenção dos resultados.

Na categoria de consumo de energia primária, os resultados mostram que, para as duas abordagens, o consumo de energia fóssil é maior no caso do PEBD fóssil, no

entanto, o PEBD renovável utiliza muito mais energia renovável, o que faz com que o consumo energético total do PEBD renovável seja maior.

Para a acidificação, na análise consequencial, o PEBD fóssil apresentou melhores resultados e, na atribucional, os dois PEBD apresentaram resultados iguais. Na categoria de eutrofização, foram encontrados resultados melhores para o PEBD fóssil nas duas abordagens. A criação de ozônio fotoquímico revelou resultados semelhantes na análise consequencial, com um valor um pouco mais baixo para o PEBD fóssil. Na análise atribucional, o PEBD renovável mostrou melhores resultados.

3.2. Análise comparativa

Nas avaliações de ciclo de vida estudadas, foram analisados três biopolímeros diferentes, que estão entre os cinco mais produzidos do ano de 2016, e os mesmos foram comparados com seus correspondentes de origem fóssil. São eles: o PET, o PU e o PE, todos com sua origem renovável e não biodegradáveis.

Os resultados dos estudos revelam algumas semelhanças e outras diferenças entre a melhor opção em termos de menores impactos ambientais, entre o polímero de origem renovável e o de origem fóssil, conforme tabela 5:

Tabela 5: Resultados das avaliações de ciclo de vida.

Autores	Polímero	Matérias-primas testadas		Melhor resultado na categoria de mudanças climáticas	Melhor resultado na categoria de consumo de combustíveis fósseis/depleção de recursos fósseis	Melhor resultado na categoria de acidificação	Melhor resultado na categoria de eutrofização terrestre	Melhor resultado na categoria de eutrofização aquática	Etapa do ciclo de vida com maiores impactos na categoria de mudanças climáticas
Chen, Pelton e Smith (2016)	PET	PTA	Fóssil, madeira e palha de milho	PTA com origem de madeira*	PTA com origem de madeira	PET fóssil	PET Fóssil e PTA com origem de madeira apresentaram resultados semelhantes	-	Extração da matéria-prima de PTA para o caso da palha de milho, produção de IBA no caso do PTA com origem de madeira
		EG	Fóssil, milho, switchgrass e palha de trigo						Produção de switchgrass
ACV Brasil (2017)	PE	Cana-de-açúcar e fóssil		PE renovável	PE renovável**	Resultados semelhantes	PE fóssil	PE fóssil	Produção da cana-de-açúcar
Liptow e Tillman (2012)	PE	Cana-de-açúcar e fóssil		Consequencial: Alto LUC - PE renovável	-	Consequencial: PE fóssil	Consequencial: PE fóssil		Operações da agricultura, incluindo aplicações de fertilizantes e herbicidas, por exemplo e o processo de polimerização.
				Consequencial: Baixo LUC - PE renovável					
				Atribucional: Alto LUC - PE fóssil	-	Atribucional: resultados semelhantes	Atribucional: PE fóssil		
				Atribucional: Baixo LUC - PE renovável					
Gonzalez, Levi e Turri (2017)	PU	Azeite de dendê, cana-de-açúcar, amido de milho e fóssil		PU renovável	PU renovável	-	-	-	Produção da glicerina proveniente do azeite de dendê, do 1,3 - propanodiol da cana e do anidrido ftálico fóssil

* Considerando impactos evitados.
** Resultado da análise de sensibilidade.

Fonte: Elaboração própria com base em Chen *et al.* (2016); ACV Brasil (2017); Liptow e Tillman (2012) e Gonzalez *et al*. (2017).

Uma categoria de impacto bastante trabalhada pelas empresas quando buscam fazer referência aos benefícios ambientais do seu produto “verde” ou sustentável é a de mudanças climáticas. Normalmente, é enfatizado que o produto reduz as emissões de gases do efeito estufa em uma determinada porcentagem. Por isso, a avaliação de ciclo de vida torna-se uma importante ferramenta de comparação entre os produtos de origem renovável e fóssil.

Conforme demonstrado pela tabela 5, em quase todos os casos, o melhor resultado na categoria de mudanças climáticas é do plástico que possui origem renovável. No entanto, no artigo de Liptow e Tillman (2012), quando se considera o maior valor para emissões relacionas a mudança de uso da terra, há grande alteração nos resultados, chegando a conclusões diferentes. Na análise atribucional, as emissões do polietileno renovável superam as do polietileno fóssil, e na análise consequencial, os valores se aproximam bastante, mas o polietileno renovável continua com melhor desempenho que o fóssil. Esses resultados revelam a importância das emissões relacionadas a mudança no uso da terra, visto que alterações no seu valor podem provocar mudanças significativas.

Na categoria de mudanças climáticas, a fase do ciclo de vida com maior impacto na maioria dos artigos estudados está relacionada à produção e extração das matérias-primas agrícolas. No artigo da AVC Brasil (2017), os autores destacam a emissão de monóxido de dinitrogênio na plantação da cana. O resultado de Liptow e Tillman (2012) corrobora com o artigo anterior quando aponta como relevante contribuidor para as emissões de GEE a fase de cultivo da cana, considerando a aplicação de fertilizantes e herbicidas. Liptow e Tillman (2012) ainda destacam a etapa de polimerização com um alto consumo de eletricidade, impactando também nessa categoria.

Chen *et al*. (2016) enfatizam a extração da matéria-prima como grande contribuidora nas emissões de GEE. Etapas como o estabelecimento de campos de milho e a colheita e manejo da palha de milho são destacadas pelos autores. Além disso, frisam a produção de isobutanol no caso das garrafas feitas com TPA de matéria-prima de madeira. Essa etapa envolve processos como pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação, e requer elevada energia quando comparada com outras biomassas.

Por fim, Gonzalez *et al*. (2017) mostraram em seus resultados que, para o PU renovável, a produção da glicerina proveniente do azeite de dendê, do 1,3 - propanodiol da cana-de-açúcar e do anidrido ftálico fóssil foram as etapas que geraram maiores

emissões, principalmente quando se compara com o processo de polimerização. No entanto, conforme mencionado, a substituição das matérias-primas fósseis pelas renováveis reduziu as emissões de gases do efeito estufa.

Com relação à categoria de depleção de recursos fósseis ou consumo de recursos fósseis, para os artigos em que essa categoria foi analisada, os resultados também demonstraram, conforme esperado, melhor desempenho dos polímeros com origem renovável.

Na categoria de acidificação, os resultados encontrados revelaram melhor desempenho do polímero de origem fóssil ou então desempenhos próximos entre os dois polímeros. Para o biopolímero, a etapa de produção de etanol, que considera as emissões de óxidos de nitrogênio da combustão de bagaço, foi enfatizada pelos autores Liptow e Tilman (2012). No estudo da ACV Brasil (2017), a etapa de produção da cana foi a mais relevante. Emissões de óxidos de nitrogênio e amônia da agricultura e das queimas explicam esse resultado.

Para Chen *et al*. (2016), a etapa de produção de isobutanol é relevante para a categoria de acidificação para os cenários de TPA de matéria-prima de madeira, devido ao processamento de químicos e a queima de combustíveis. Nos cenários que envolvem TPA fóssil e EG renovável, as etapas de agricultura de milho, switchgrass e palha de trigo liberam quantidades consideráveis de compostos acidificantes, assim, a etapa de extração da matéria-prima é relevante nesses cenários. Nos cenários de produção de garrafas PET a partir de palha de milho, a produção de TPA foi a etapa mais representativa em relação aos impactos ambientais (dentre outras razões, a fertilização e a colheita podem explicar esse resultado).

Por fim, na categoria de eutrofização os polímeros de origem fóssil também demonstraram melhores resultados. Novamente, Liptow e Tilman (2012) destacam a etapa de produção de etanol. Já o estudo da ACV Brasil (2017) revela a importância da produção de cana-de açúcar nessa categoria. Chen *et al*. (2016) mostraram resultados semelhantes para os polímeros fósseis e para os polímeros de TPA com origem de madeira. Os autores explicam que, no caso do TPA com origem de palha de milho, as emissões são resultado, por exemplo, do uso de fertilizantes. A etapa de produção da matéria-prima renovável representa elevada participação para os impactos de eutrofização nos cenários de TPA fóssil e EG renovável. Outra etapa relevante para

aumentar esse impacto é a produção de isobutanol de resíduos de madeira, consequência dos materiais com base de nitrogênio aplicados nos processos de conversão química.

Dessa forma, pode-se sugerir vantagem de polímero de origem renovável em duas categorias: mudanças climáticas e consumo de recursos fósseis. Esse resultado surge como uma oportunidade às empresas que buscam investir em bioplásticos. Isso ocorre, pois, a redução da emissão de gases do efeito estufa e o reduzido consumo de recursos fósseis são dois aspectos observados pelos consumidores, que podem representar a sustentabilidade agregada ao produto.

Os aspectos de mercado, juntamente com o levantamento das questões ambientais, constituem insumos úteis para a realização de uma Análise SWOT, a fim de investigar as questões estratégicas relacionadas ao mercado de bioplásticos.

4. Análise SWOT

4.1. Conceito de Análise SWOT

Reconhecida como uma importante ferramenta para a gestão e o planejamento estratégico, a análise SWOT busca apresentar, de maneira simples, alguns apontamentos que visam orientar os tomadores de decisão.[1] Como o próprio nome sugere, essa análise empenha-se em explorar os pontos fortes (*Strengths*) e os pontos fracos (*Weaknesses*) no ambiente interno, bem como as oportunidades (*Opportunities*) e as ameaças (*Threats*) no cenário externo (KOTLER & KELLER, 2012) das empresas.

De acordo com Wright (2009, p. 88 *apud* Dutra, 2014, p.51), a análise SWOT pode também ajudar a revelar os pontos fortes e fracos outrora pouco explorados. Dessa forma, o planejamento estratégico de uma empresa pode ser direcionado para o aproveitamento das características positivas e para a correção das desvantagens observadas.

Segundo Hitt *et al*. (2015), o ambiente externo está ligado aos fatores que não podem ser controlados pelas empresas e interferem nas tomadas de decisões estratégicas

[1] "A denominação "Análise SWOT", termo utilizado por Kotler e Keller (2006) e Wright (2000) pode ser encontrado na doutrina de marketing sob diferentes nomes. Robbins (2000, p. 122) define a Análise SWOT como "análise PFDA", utilizando a sigla para representar Potencialidades (pontos fortes), Fragilidades (pontos fracos), Oportunidades e Ameaças. Há quem intitule como Análise FOFA, traduzindo literalmente do inglês como Oliveira (2013) – Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças –, outros como Bateman (2010) apenas tratam do assunto sem definir uma denominação para o estudo do ambiente externo e interno das organizações, englobando-os apenas como grandes tópicos. Mesmo não citando a Análise SWOT, é evidente que sua origem tem bases na ferramenta, utilizando-a da mesma maneira, apenas não a caracterizando como tal." (DUTRA, 2014 p.51).

das mesmas. Esse ainda pode ser subdivido em três ambientes principais: o geral, o da indústria (setor) e o dos concorrentes.

Hitt *et al*. (2015) afirmam que o ambiente geral é dividido em dimensões, que podem ser agrupadas em seis segmentos ambientais: demográfico, econômico, político/jurídico, sociocultural, tecnológico e global. Já o ambiente da indústria está relacionado a fatores como a ameaça de novos entrantes, o poder dos fornecedores, a ameaça de produtos substitutos e a intensidade da rivalidade entre os concorrentes. Por fim, a análise dos concorrentes se relaciona à previsão da dinâmica das ações, reações e intenções dos concorrentes.

Em relação às oportunidades e ameaças, Calaes *et al*. (2006) argumentam que as oportunidades fazem referência a fenômenos que podem fornecer subsídios para alcançar um objetivo estratégico. Já as ameaças estão ligadas a ocorrência ou a possibilidade de ocorrência de algum fenômeno que contribua para que o objetivo estratégico se afaste do alcance.

Com relação ao ambiente interno, a análise ocorre através do olhar para as variáveis que podem ser influenciadas pelas decisões estratégicas de cada companhia. Dessa forma, segundo Bateman (2010, p. 47 *apud* Dutra, 2014, p. 54) espera-se que sejam expostas as habilidades, os recursos e os níveis de desempenho capazes de desenvolver as estratégias propostas. Em Dutra (2014), ainda é possível ver que esse tipo de análise busca mostrar a estratégia mais vantajosa por meio das suas aptidões naturais as quais farão com que a companhia tenha destaque no mercado o qual está inserida.

A partir desse ambiente interno é possível identificar e ordenar os pontos fortes e os pontos fracos. Os pontos fortes podem ser entendidos como a seguinte definição de Matos *et al*. (2007, p.151 *apud* SILVA *et al.* 2011, p. 5): “Recursos e habilidades de que dispõe a organização para explorar as oportunidades e minimizar as ameaças”. Já as fraquezas, segundo o autor, estão relacionadas a deficiências que resultam em diminuição do desempenho da empresa, devendo ser trabalhadas da maneira apropriada para que a companhia não chegue à falência.

Nesse sentido, pode-se dizer que é bem difundido entre os autores, que a utilização do método de Análise SWOT busca gerar conhecimento acerca das forças e fraquezas no ambiente interno e das oportunidades e ameaças no cenário externo que sejam capazes de guiar a trajetória estratégica de cada companhia.

Como forma de síntese apresenta-se a Matriz SWOT, a qual mostra as informações de maneira objetiva para auxiliar a tomada de decisão, conforme tabela 6.

Tabela 6: Matriz SWOT.

Análise Interna	**Análise Externa**	
	Oportunidades	Ameaças
Pontos Fortes	Política de ação ofensiva ou Área de aproveitamento: área de domínio da empresa	Política de ação defensiva ou Área de enfrentamento: área de risco enfrentável
Pontos Fracos	Política de manutenção ou Área de melhoria: área de aproveitamento potencial	Política de saída ou Área de desativação: área de risco acentuado

Fonte: Adaptado de Chiavenato e Sapiro (2003 apud Dutra, 2014, p.57)

A Matriz SWOT é composta por uma tabela dividida em quatro quadrantes. Segundo Chiavenato e Sapiro (2003 apud Dutra, 2014, p.57), ela tem como objetivo facilitar a associação entre as oportunidades e ameaças do ambiente externo e as forças e fraquezas do ambiente interno. Essa associação gerada traz insumos para definição das estratégias da empresa.

Silva *et al*. (2011) caracterizam a matriz SWOT como um instrumento essencial para as empresas observarem com clareza suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças a fim de determinarem estratégias que possam levar a vantagens competitivas e superior desempenho.

Com base no exposto e a fim de analisar as perspectivas para empresas envolvidas com a produção de bioplásticos, foi desenvolvida uma análise SWOT para as empresas produtoras de bioplásticos.

4.2. Análise SWOT para empresas com relação à produção de bioplásticos

Após obtenção de dados relacionados aos bioplásticos, foi possível desenhar os pontos fortes, fracos, as ameaças e as oportunidades do mercado desses materiais.

4.2.1. Fatores internos

Nas tabelas 7 e 8 serão apresentadas as forças e fraquezas, referentes aos fatores internos.

a) Forças

Tabela 7: Fatores Internos – Forças.

Forças	Código	Tópico
Propriedades semelhantes ao polímero de origem fóssil	1.1.1	Tecnológico
Possibilidade de utilização da mesma infraestrutura	1.1.2	Tecnológico
Parceria com empresas conhecidas do mercado	1.1.3	Comercial
Produz um dos polímeros mais utilizados no mercado	1.1.4	Comercial
Maior capacidade produtiva de polietileno de origem renovável	1.1.5	Comercial

Fonte: Elaboração própria.

1.1.1 - Propriedades semelhantes ao polímero de origem fóssil

Os bioplásticos podem apresentar as mesmas propriedades ou propriedades semelhantes aos plásticos de origem fóssil. O polietileno produzido pela Braskem é um caso de bioplástico drop-in, uma vez que tem a mesma funcionalidade e propriedades do polímero de origem fóssil (BRASKEM, 2017a).

Dessa forma, o polietileno de origem renovável pode ser utilizado nas mesmas aplicações que o de origem fóssil, o que revela uma força, visto que torna mais fácil a inserção no mercado e a transição da empresa que busca trabalhar com esse tipo de material e que outrora utilizava materiais de origem fóssil.

1.1.2 - Possibilidade de utilização da mesma infraestrutura

Segundo a Braskem (2017a), no caso do polietileno de fonte renovável produzido pela empresa, não são necessárias novas estruturas para reciclagem ou separação para reciclagem, uma vez que ele pode ser reciclado juntamente com o polietileno fóssil. Além disso, a companhia afirma que as plantas de polimerização já existentes são as mesmas utilizadas na produção do polímero de origem renovável, o

que demonstra mais uma força para as empresas que buscam ingressar no mercado de bioplásticos.

Ou seja, o fato de o polietileno ser um biopolímero drop-in e, portanto, não existir custo de substituição na cadeia, reduz o custo da mudança de um polímero fóssil para um de origem renovável, aumentando a viabilidade da mudança.

1.1.3 - Parceria com empresas conhecidas no mercado

O polietileno da Braskem possui clientes como Johnson & Johnson, Natura, Faber-Castell, Embalixo Sustentável, que são empresas conhecidas no mercado. Além disso, o lançamento da marca *I'm Green*™, em 2010, fez com que os produtos fabricados a partir do polietileno de origem renovável da Braskem fossem especificados. A empresa disponibilizou aos clientes e parceiros o selo para ser utilizado em seus produtos que levam o plástico verde na composição (BRASKEM, 2017b; BRASKEM, 2017e; BRASKEM, 2017i).

Dessa maneira, o fato de ser utilizado por empresas bem estabelecidas caracteriza uma força, pois o produto se torna mais conhecido e visado pelos consumidores finais e, portanto, mais procurado pelas empresas que utilizam embalagens em seus produtos. Essas empresas, por meio do selo de "produto verde" nas embalagens podem retomar a ideia de que possuem compromisso com o meio ambiente e, assim, provocam o interesse de consumidores mais envolvidos com as questões ambientais.

1.1.4 - Produz um dos polímeros mais utilizados no mercado

O fato de possuir diversas aplicações torna o polietileno um dos plásticos mais utilizados no mundo. Em se tratando de plástico de origem fóssil, no ano de 2015, a produção global de polietileno de baixa densidade e de polietileno de alta densidade foi de 116 milhões de toneladas. As duas formas de polietileno, se somadas, representam o maior volume de produção no mundo nesse ano (GEYER *et al*., 2017).

No caso de biopolímeros, o polietileno também possui bastante destaque, segundo a European Bioplastics (2017), no ano de 2016 ele foi o quinto biopolímero mais produzido no mundo.

Esses fatores são considerados forças, pois a Braskem, enquanto empresa produtora desse polímero, irá encontrar demanda no mercado o qual está inserida.

1.1.5 - Maior capacidade produtiva de polietileno de origem renovável

A Braskem é a principal produtora do polietileno de origem renovável, com uma capacidade de produção anual de 200 mil toneladas (BRASKEM, 2017c). Outro fator que favorece é que ela é a única empresa produtora de polietileno proveniente do etanol da cana-de-açúcar em escala comercial. Além disso, no ano de 2014, de acordo com Carus *et al*. (2015), a Braskem era a única empresa produtora de polietileno de origem renovável em escala comercial.

Esses fatores são forças, uma vez que revelam a liderança no mercado de polietileno renovável e mostram a reduzida concorrência. Caso existisse alta concorrência, poderia ser gerada a necessidade de tomada de ações preventivas, incorrendo em custos.

b) Fraquezas

Tabela 8: Fatores Internos – Fraquezas.

Fraquezas	Código	Tópico
Sustentabilidade financeira	1.2.1	Econômico
Reduzido conhecimento por parte do consumidor	1.2.2	Comercial

Fonte: Elaboração própria.

1.2.1 - Sustentabilidade financeira

A produção de bioplásticos, quando comparada com a de plásticos convencionais, revela maiores custos na maioria dos casos (OECD, 2013), o que pode ser uma fraqueza para a sustentabilidade financeira da empresa. O aprimoramento da tecnologia e, portanto, da eficiência dos processos, juntamente com o aumento da capacidade produtiva irão permitir maior competitividade em termos de custos (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2016b).

1.2.2 - Reduzido conhecimento por parte do consumidor

Kruter *et al*. (2012) realizaram uma pesquisa sobre as vantagens do polietileno verde da Braskem e dos 239 participantes, 17% listaram que a biodegradabilidade seria uma delas. Esse resultado revela desconhecimento do polímero e das principais vantagens do polímero de origem renovável.

Trata-se, portanto, de uma fraqueza, uma vez que a empresa necessita trabalhar melhor as vantagens do seu produto para que os consumidores intermediários e finais adquiram o correto conhecimento. Além disso, a melhor divulgação é necessária para que seja atingido o nicho de consumidores envolvidos com as questões ambientais.

4.2.2. Fatores externos

Nas tabelas 9 e 10 serão apresentadas as oportunidades e ameaças, referentes aos fatores externos.

a) Oportunidades

Tabela 9: Fatores Externos – Oportunidades.

Oportunidades	Código	Tópico
Representatividade pequena do mercado de bioplásticos	2.1.1	Econômico
Tendência de crescimento	2.1.2	Comercial
Pequena ocupação da área da agricultura	2.1.3	Ambiental
Balanço positivo de energia	2.1.4	Ambiental/ Econômico
Políticas favoráveis	2.1.5	Regulatório
Independência em relação ao petróleo	2.1.6	Tecnológico/ Econômico
Redução de emissões de GEE	2.1.7	Ambiental

Fonte: Elaboração própria.

2.1.1 - Representatividade pequena do mercado de bioplásticos

Segundo a European Bioplastics (2016a), o mercado de bioplásticos representa aproximadamente 1% do mercado total de plásticos convencionais produzidos anualmente, o que revela que há espaço para crescimento desse mercado. Assim, trata-se de uma oportunidade para as empresas que visam a produção de bioplásticos.

2.1.2 - Tendência de crescimento

De acordo a European Bioplastics (2013, 2014, 2015, 2017), desde 2009 observa-se crescimento do mercado de bioplásticos, com destaque para o aumento do volume do plástico de origem renovável e não biodegradável, que cresceu cerca de 189% de 2014 para 2015.

Esse aumento representa uma oportunidade e também revela o descobrimento ao longo dos anos de novas possibilidades de polímeros. Ou seja, os investimentos em tecnologia resultaram no surgimento de novos bioplásticos e possibilitaram a inserção desses materiais no mercado. À medida em que aumentam os incentivos em pesquisa e desenvolvimento, novos polímeros substitutos aos convencionais poderão surgir e as tecnologias para a produção se tornarão mais avançadas e competitivas.

2.1.3 - Pequena ocupação da área da agricultura

Com relação à quantidade de área destinada à agricultura, segundo a European Bioplastics (2018), a área total utilizada para o plantio de matérias-primas para produção de bioplásticos é bastante reduzida quando comparada com a área total disponível para agricultura, apenas cerca de 0,016% do total, valor correspondente ao ano de 2018.

Ou seja, isso indica que não há competição entre área para destinada à alimentação e à produção de bioplásticos. Mesmo considerando a estimativa de crescimento do setor, previsões sugerem que continuará reduzida, ocupando 0,020% do total em 2022 (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2018).

Assim, caracteriza-se como uma oportunidade, uma vez que a empresa não irá encontrar uma barreira quando buscar investir em matérias-primas renováveis.

2.1.4 - Balanço positivo de energia

Essa característica é específica para o caso da cana-de-açúcar. O uso dessa matéria-prima traz benefícios em termos energéticos. A produção do etanol da cana tem como biomassa residual o bagaço, que gera energia suficiente para autoconsumo das usinas e ainda gera excedentes, que surgem como fonte de energia para o Sistema Interligado Nacional (MME/EPE, 2015; BRESSAN FILHO, 2011). Dessa forma, o balanço energético do etanol da cana apresenta vantagens quando comparado com outras fontes, como o milho (MORSCHBACKER, 2009).

2.1.5 - Políticas favoráveis

Como exemplo de políticas que favorecem o uso de bioplásticos, pode-se citar o compromisso firmado na COP21, que ocorreu em 2015 e teve como um de seus objetivos desenvolver ações globais relacionadas à ameaça das mudanças climáticas. Com a ratificação do acordo pelo Brasil, em 2016, o país definiu as NDC, que confirmam o compromisso de redução das emissões dos gases do efeito estufa (MMA, 2018b).

A redução das emissões de GEE está em concordância com uma das propostas dos bioplásticos. Essa questão pode ser confirmada, uma vez que as empresas produtoras buscam realizar avalições de ciclo de vida a fim de observar, dentre outros aspectos, as emissões de GEE.

Com relação às legislações, enxerga-se nos últimos anos tendência de valorização do uso de materiais biodegradáveis e também do uso de materiais de origem renovável.

As sacolas plásticas descartáveis podem ser uma demonstração desse fato. No Rio de Janeiro e São Paulo, por exemplo, existem leis que determinam que as sacolas plásticas descartáveis devem ser substituídas por sacolas reutilizáveis e com parte de sua origem de fontes renováveis (SÃO PAULO, 2011; RIO DE JANEIRO, 2018a). Além disso, há projeto de lei em trâmite no congresso que objetiva que os utensílios descartáveis sejam feitos de plásticos biodegradáveis (RIO DE JANEIRO, 2018d).

Os pontos abordados mostram um movimento em direção ao uso de materiais com origem renovável e também biodegradáveis, o que se revela como oportunidade aos bioplásticos que possuem essas características.

2.1.6 - Independência em relação ao petróleo

Nos últimos anos, observa-se tendência de crescimento do consumo de petróleo (BP, 2018). Além disso, soma-se a esse fato a variação no preço do petróleo, que pode ser influenciada por diversos fatores econômicos e geopolíticos (EIA, 2018).

O uso de plásticos de origem renovável se torna uma alternativa ao petróleo e faz com que seja diminuída a dependência do uso desse insumo. Consequentemente, caracteriza uma oportunidade às empresas que buscam investir nesse mercado.

2.1.7 - Redução de emissões de GEE

Observando os resultados dos artigos analisados, pode-se inferir que a maior contribuição benéfica da produção dos bioplásticos do ponto de vista ambiental é a redução dos gases do efeito estufa, quando se analisa a categoria de mudanças climáticas. Esse resultado foi confirmado na maioria dos artigos estudados. No entanto, quando são consideradas as emissões relacionadas à mudança de uso da terra, os resultados podem sofrer alterações, revelando a importância do estudo desse tipo de emissão.

O fato de haver redução de emissões de GEE revela uma forma de trazer o interesse dos consumidores que buscam investir em produtos sustentáveis, mostrando ser uma oportunidade de atrair esse tipo de cliente.

b) Ameaças

Tabela 10: Fatores Externos – Ameaças.

Ameaças	Código	Tópico
Emissões relacionadas à mudança no uso da terra	2.2.1	Ambiental
Queda no preço do barril de petróleo	2.2.2	Econômico
Ocorrência de queimadas	2.2.3	Ambiental
Políticas desfavoráveis	2.2.4	Regulatório
Desempenho ambiental – acidificação e eutrofização	2.2.5	Ambiental
Competição com mercado de plástico convencional	2.2.6	Comercial

Fonte: Elaboração própria.

2.2.1 - Emissões relacionadas à mudança no uso da terra

Liptow e Tillman (2012) mostram em seu estudo sobre o polietileno proveniente da cana-de-açúcar a importância da análise das emissões relacionadas à mudança de uso da terra. Os autores revelam incertezas existentes nos dados e metodologias para estabelecer valores de emissões de mudança no uso da terra, com estudos apresentando variações nos dados de emissão entre 3,7 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol e 46 g $CO_{2\text{-eq}}$/MJ etanol.

Segundo os autores, os resultados mostram diferentes conclusões na análise atribucional quanto à melhor origem para obtenção do polietileno com relação à categoria de aquecimento global quando não são consideradas essas emissões e quando se utiliza o valor superior.

No estudo de Suwanmanee *et al*. (2013), as emissões de mudança de uso da terra aumentam as emissões de gases do efeito estufa em 4,5 vezes e foram as maiores contribuições para o GWP, tornando o correspondente plástico de origem fóssil mais vantajoso nessa categoria.

Dessa forma, é possível concluir a importância das metodologias utilizadas para obtenção de resultados, principalmente quando se refere à mudança de uso da terra. Elas são determinantes na escolha da melhor matéria-prima do ponto de vista de emissões de gases do efeito estufa.

2.2.2 - Queda no preço do barril de petróleo

Ainda que a produção de bioplásticos represente independência em relação aos combustíveis fósseis, a queda no custo do barril de petróleo revela uma ameaça ao crescimento do investimento em bioplásticos, uma vez que essa irá distanciar os custos de produção de cada um dos tipos plásticos.

Apesar da ameaça, nos últimos anos foi possível observar tendência de aumento no preço do barril de petróleo. Em junho de 2018, por exemplo, o preço do petróleo alcançou o maior valor em 3 anos e meio (G1, 2018).

Assim, as variações no preço do petróleo influenciam na escolha da melhor matéria-prima em termos de custos e, portanto, pode significar uma ameaça à produção de plásticos de origem renovável.

2.2.3 - Ocorrência de queimadas

A ocorrência de queimadas é um fator que representa ameaça quando se utiliza do argumento da sustentabilidade dos materiais renováveis, principalmente quando comparados aos fósseis. Apesar de não ocorrer em grande quantidade, ainda é possível observar queimadas, por exemplo, para possibilitar a colheita manual da cana-de-açúcar e para aumentar o rendimento das colhedeiras na colheita mecânica (CONAB, 2017).

A cana-de-açúcar é um material que pode ser utilizado na produção de diversos bioplásticos, portanto, as queimadas para colheita da cana representam aspectos negativos do ponto de vista ambiental na produção desses polímeros.

2.2.4 - Políticas desfavoráveis

Diversas legislações abordam sobre a redução do uso de plásticos, com base no reaproveitamento, reciclagem e diminuição do consumo. Além disso, algumas tratam da substituição do plástico por outros materiais não plásticos e biodegradáveis, como o papel.

A legislação relacionada à proibição do canudo de plástico foi adotada em diversos municípios e também no exterior. Alguns lugares foram mais rigorosos e proibiram o uso de plásticos descartáveis em geral. Ainda pode-se citar as legislações, nacionais e internacionais, que proíbem a utilização de microplásticos em determinados produtos.

Na Europa, diretivas propostas pela *European Comission* (2018b) envolvem a redução de consumo de itens como embalagens de alimentos e os copos para bebidas, e a restrição de mercado para astes de cotones, talheres, canudos, entre outros.

As políticas expostas revelam uma orientação de redução do uso de plásticos, com foco nos descartáveis, além de trazerem diretrizes para substituição dos plásticos por outros materiais. Assim, caracterizam ameaças não só ao mercado de plásticos, mas também ao de bioplásticos.

2.2.5 - Desempenho Ambiental – Acidificação e Eutrofização

Na maioria dos artigos estudados neste trabalho, os resultados mostraram que em categorias ambientais como eutrofização e acidificação, os bioplásticos apresentam pior desempenho ambiental quando comparados aos plásticos convencionais. A etapa de maior contribuição nessas categorias foi, em sua maioria, a produção da matéria-prima renovável. Isso representa uma ameaça ao argumento sustentável dos bioplásticos, utilizado para alcançar consumidores com consumo mais consciente.

2.2.6 - Competição com mercado de plástico convencional

Os bioplásticos, apesar de serem recentes e apresentarem tendência de crescimento, competem com um mercado consolidado e já estabelecido. Além disso, o mercado de plásticos convencionais agregou intensos avanços tecnológicos, característica que os bioplásticos, apesar do avanço já estabelecido, ainda necessitam galgar. Dessa maneira, os bioplásticos competem com um mercado mais estruturado do ponto de vista econômico, tecnológico e de aceitação por parte das indústrias.

5. Conclusão e recomendações

Conforme demonstrado, o mercado de bioplásticos tem apresentado elevada taxa de crescimento nos últimos anos. Porém, junto com esse crescimento devem ser analisados os reais benefícios do investimento nesse mercado.

Ao longo do estudo, foi possível observar que existem muitas questões relacionadas à produção de bioplásticos. Algumas delas precisam ser perpassadas para que esse mercado possa concorrer com o mercado de plásticos convencionais.

Um primeiro ponto primordial para o estabelecimento desse mercado está relacionado aos custos de produção dos bioplásticos. Atualmente, as empresas ainda se deparam com custos mais altos quando comparam com os custos do plástico convencional. Isso afeta a sustentabilidade financeira da empresa e, consequentemente, a viabilidade da produção.

Foi observado que existem alguns bioplásticos que conseguem competir com os plásticos convencionais e que há tendência de queda no custo de produção dos bioplásticos. Além disso, destaca-se que fatores como o aumento da capacidade produtiva, a melhoria da tecnologia e a maior utilização dos bioplásticos por parte de companhias e marcas levam a redução no preço.

No entanto, apesar da possível redução de preços, a realidade ainda mostra que, em geral, em termos de custos, os plásticos convencionais são mais vantajosos. A questão do custo, portanto, pode ser determinante na decisão de investimento em bioplásticos.

Como ponto positivo do investimento em matérias-primas renováveis para produção de plásticos está a independência em relação ao petróleo, um recurso fóssil, que apresenta variação nos preços com base em diversos fatores geopolíticos e econômicos e tem tido tendência de crescimento do seu preço.

Além disso, conforme exposto, alguns autores demonstraram que não existe competição entre a área destinada à produção de bioplásticos e alimentos. Atualmente, a área da agricultura utilizada para produção de biopolímeros é bastante reduzida, e continuará nesse patamar ainda com a previsão de crescimento do setor.

Esses dois pontos podem ser destacados como oportunidades para o investimento, uma vez que a empresa não irá encontrar barreiras na produção da

matéria-prima e, ao mesmo tempo, será inovadora ao substituir o recurso fóssil pelo renovável.

No caso do Brasil, destacou-se que há potencialidade para o uso de biomassas, uma vez que o país possui culturas agrícolas de grande extensão, intensa radiação solar, entre outros fatores. Além disso, é relevante destacar o caso do pioneirismo na produção do biocombustível etanol, que mostra a capacidade do país para a produção de artigos de origem renovável. Mais uma vez, esse é um fator atrativo para empresas que buscam investir em bioplásticos.

No estudo ainda foram pontuados outros aspectos positivos, como a possibilidade de utilização da mesma infraestrutura para produção do biopolímero, assim como a geração de um produto com propriedades semelhantes e, consequentemente, mesmas aplicações. Esse fator facilita a transição, caso a empresa já possua infraestrutura pronta para a produção de polímeros de origem fóssil e, além disso, simplifica a inserção no mercado.

Outra oportunidade está no fato de que o mercado de bioplástico ainda ocupa pequena parcela do mercado de plásticos, revelando que existe espaço para crescimento desse setor.

A questão regulatória é mais um tema com bastante relevância, uma vez que pode traçar diretrizes para determinar se o investimento é favorável ou não. De acordo com as políticas apresentadas, verificou-se que existe tendência de adoção de medidas relacionadas ao uso de plásticos de origem renovável, assim como de materiais (plásticos ou não) biodegradáveis. As políticas valorizam os plásticos reutilizáveis e proíbem em alguns lugares determinados usos dos plásticos descartáveis.

Assim, segundo as legislações, o investimento no mercado de plásticos com origem renovável e biodegradáveis, portanto, é válido. No entanto, quando se trata de plásticos descartáveis, conforme exposto, a tendência é que eles sejam cada vez menos utilizados.

Com relação às questões ambientais, as avaliações de ciclo de vida estudadas demonstraram que, em termos de emissões de gases do efeito estufa, em geral, os plásticos de origem renovável apresentaram resultados melhores que os de origem fóssil. Esse resultado é bastante relevante, uma vez que o tema das mudanças climáticas está cada vez mais conhecido pela população e mais estudado e pensado mundialmente.

No entanto, conforme explicado, quando são consideradas as emissões relacionadas à mudança no uso da terra, o resultado pode sofrer alterações, o que indica a importância dessa análise na determinação do melhor desempenho.

Como pontos negativos em relação ao meio ambiente, foram obtidos piores desempenhos ambientais para os bioplásticos nas categorias de acidificação e eutrofização. A ocorrência de queimadas na colheita de algumas culturas como a cana-de-açúcar, ainda que reduzida, também é outro ponto que vai contra a sustentabilidade dos bioplásticos.

Com base no exposto, a definição de que o investimento no mercado de bioplásticos é favorável irá depender de diversos aspectos, que podem variar dependendo dos recursos, do nível de tecnologia e do local da empresa, do tipo de bioplásticos que ela tem interesse, dos custos de produção, entre outros fatores que decorrem do contexto no qual a empresa está inserida.

Nesse trabalho foram expostas algumas forças e fraquezas, assim como ameaças e oportunidades relacionadas ao mercado de bioplásticos. A partir delas, é possível verificar fatores internos das empresas que podem ser trabalhados e fatores externos que podem interferir caso decida-se por investir nesse mercado.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o levantamento de dados referentes aos bioplásticos no Brasil, assim como o estudo, por meio de entrevistas e pesquisas, da percepção dos indivíduos sobre os bioplásticos em geral. Também é recomendado um maior estudo e definição de metodologias relacionadas às emissões de mudança do uso da terra, considerada a relevância dessas emissões nas mudanças climáticas.

Referências Bibliográficas

ABIPLAST. Conceitos básicos sobre materiais plásticos, 2014. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/materiais_plasticos_para_site_vf_2.pdf>. Acesso em: 24 jun 2018.

ABIPLAST. Perfil 2015, 2015. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015_ok.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2017.

ABIPLAST. Perfil 2016, 2016. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/file/download/2017/Perfil_2016_Abiplast_web.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2017.

ABNT. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009a. 21 p.

ABNT. NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Brasil, 2009b. 46 p.

ACV BRASIL. Life Cycle Assessment on Green HDPE and Fossil HDPE. Braskem, 2017. 119 p.

AKANUMA, Y.; SELKE, S. E. M.; AURAS, R. A preliminary LCA case study: comparison of different pathways to produce purified terephthalic acid suitable for synthesis of 100 % bio-based PET. Int J Life Cycle Assess, LCA for agricultural practices and biobased industrial products, v. 19, p. 1238 - 1246, 2014.

ANASTAS, P. T.; EGHBALI, N. Green chemistry: principles and practice. Chem. Soc. Rev., New Haven, v. 39, p. 301-312, 2010.

ANASTAS, P. T.; KIRCHHOFF, M. M. Origins, current status, and future challenges of green chemistry. Acc. Chem. Res., Washington, v. 35, n. 9, p. 686 - 694, 2002.

ASTM. ASTM D6866 – 16. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D6866.htm>. Acesso em 21 out. 2017.

BIO-BASED NEWS. SABIC launches new renewable polyolefins portfolio, 2014. Disponível em: < http://news.bio-based.eu/sabic-launches-new-renewable-polyolefins-portfolio/>. Acesso em: 26 jan. 2019.

BP. Statistical Review of World Energy. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 28 out. 2018.

BRASKEM. Astronautas utilizam Plástico Verde da Braskem em Estação Espacial Internacional, 2017g. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/astronautas-utilizam-plastico-verde-da-braskem-em-estacao-espacial-internacional2>. Acesso em: 16 dez. 2017.

BRASKEM. Biopolímero Polietileno Verde, inovação transformando plástico em sustentabilidade, 2017i. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Catalogo_PE_Verde.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2017.

BRASKEM. Braskem apresenta nova solução com Polietileno Verde para rotomoldagem, 2017h. Disponível em: <http://braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-apresenta-nova-solucao-com-polietileno-verde-para-rotomoldagem>. Acesso em: 16 dez. 2017.

BRASKEM. Braskem conclui aprovação do projeto de polietileno verde, 2017c. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/Braskem-conclui-aprovacao-do-projeto-de-polietileno-verde>. Acesso em: 21 out. 2017.

BRASKEM. Convertedores e distribuidores, 2017e. Disponível em: <http://www.braskem.com/site.aspx/Parceiros-BraskemPeVerde>. Acesso em: 26 ago. 2017.

BRASKEM. Dúvidas frequentes, 2017d. Disponível em: <http://www.braskem.com/site.aspx/FAQ_PeVerde>. Acesso em: 20 set. 2017.

BRASKEM. Linha do tempo, 2017b. Disponível em: <http://www.braskem.com/site.aspx/Linha-do-Tempo>. Acesso em: 12 set. 2017.

BRASKEM. Os produtos, 2017f. Disponível em: <http://www.braskem.com/site.aspx/Produtos-Pe-Verde/papier>. Acesso em: 30 out. 2017.

BRASKEM. Polietileno verde I'm Green, 2017a. Disponível em: <http://www.braskem.com/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRESSAN FILHO, Â. A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no brasil - análise do desempenho da safra 2009-2010. Conab. 2011. 160 p.

CALAES, G. D; VILLAS BÔAS, R. C; GONZALES, A. Planejamento Estratégico, Competitividade e Sustentabilidade na Indústria Mineral: dois casos de não metálicos no Rio de Janeiro. 1. ed. Rio de Janeiro: Cyted, 2006.

CARGILL. 2019. Espumas: versatilidade, desempenho, ambientalmente sustentável. Disponível em: < https://www.cargill.com.br/pt_BR/espumas>. Acesso em: 01 fev. 2019.

CARRETEIRO. Grupo Fiat introduz poliuretano renovável em veículos no Brasil, 2008. Disponível em: <http://www.ocarreteiro.com.br/grupo-fiat-introduz-poliuretano-renovavel-em-veiculos-no-brasil/>. Acesso em: 08 fev. 2019.

CARUS *et al*. Market study on bio-based building blocks and polymers in the world – Capacities, production and applications: status quo and trends toward 2020 & Environmental aspects & CO_2 – based polymers. Nova Institute, Germany, 2015. 41 p.

CARUS, M.; PIOTROWSKI, S. Land use for bioplastics. Bioplastics Magazine, Germany, v. 4, p. 46 - 49, 2009.

CGEE. Química verde no Brasil: 2010 – 2030. Ed. rev. e atual., Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. 438 p.

CHEN, L.; PELTON, R. E. O.; SMITH, T. M. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. Journal of Cleaner Production. v. 137, p. 667 - 676, 2016.

CIDADES INTELIGENTES. Saiba quais as cidades que já proibiram o canudo plástico, 2018. Disponível em: < https://ci.eco.br/saiba-quais-as-cidades-que-ja-proibiram-o-canudo-plastico/>. Acesso em: 12 dez. 2018.

CNN. California bans plastic straws in full-service restaurants -- unless customers request one, 2018. Disponível em: < https://edition.cnn.com/2018/09/20/us/plastic-straws-banned-in-california/index.html>. Acesso em: 30 set. 2018.

COCA-COLA. Coca-Cola produces world's first PET bottle made entirely from plants, 2015a. Disponível em: <https://www.coca-colacompany.com/press-center/press-releases/coca-cola-produces-worlds-first-pet-bottle-made-entirely-from-plants>. Acesso em: 23 jun. 2018.

COCA-COLA. Great things come in innovative packaging: an introduction to PlantBottle™ packaging, 2015b. Disponível em: <https://www.coca-colacompany.com/stories/great-things-come-in-innovative-packaging-an-introduction-to-plantbottle-packaging>. Acesso em: 23 jun. 2018.

COCA-COLA. PlantBottle: Frequently Asked Questions, 2012. Disponível em: <https://www.coca-colacompany.com/stories/plantbottle-frequently-asked-questions>. Acesso em: 24 jun 2018.

CONAB. Perfil do setor do açúcar e do etanol no brasil - Edição para a safra 2012/13. Brasília, 2017. 57 p.

DO CARMO, R. W.; BELLOLI, R.; MORSCHBACKER, A. Polietileno verde. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens - Instituto de Tecnologia de Alimentos. v. 24, n. 1, 2012, 5 p.

DUTRA, A. V. A análise SWOT no brand DNA process: Um estudo da ferramenta para aplicação em trabalhar em branding. 241 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

EIA. What drives crude oil prices? Disponível em: <https://www.eia.gov/finance/markets/crudeoil/>. Acesso em: 28 out. 2018.

ELEVANCE RENEWABLE SCIENCES. 2019. Polymer Building Blocks. Disponível em: < https://elevance.com/product/elevance-inherent-c18-diacid-2/>. Acesso em: 09 fev. 2019.

EMERY OLEOCHEMICALS. 2019. Eco-Friendly Polyols. Disponível em: <https://www.emeryoleo.com/Eco-Friendly-Polyols.html>. Acesso em: 09 fev. 2019.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Facts and figures, 2013. Disponível em: <http://www.muoviteollisuus.fi/document.php/1/156/european_bioplastics_-_facts_and_figures/b4313531b6f32c56e3b4a4d3d5fdd15c>. Acesso em: 11 jul. 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Facts and figures, 2014. Disponível em: <http://www.corbion.com/media/203221/eubp_factsfigures_bioplastics_2013.pdf>. Acesso em: 11 de julho de 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Facts and figures, 2015. Disponível em: <http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/EUBP_facts_and_figures.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Report: Bioplastic market data 2016 - Global production capacities of bioplastics 2016 – 2021, 2017. Disponível em: <http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Bioplastics_market_data_report_2016.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Facts and figures, 2018. Disponível em: <https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Are bioplastics more expensive than conventional plastics?, 2016b. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/faq-items/how-are-costs-for-bioplastics-developing/>. Acesso em: 27 out. 2018.

EUROPEAN BIOPLASTICS. What are bioplastics?, Material types, terminology, and labels – an introduction, 2016a. Disponível em: <https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. A european strategy for plastics in a circular economy, 2018a. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Proposal for a directive of the european parliament and of the council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment, 2018b. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/single-use_plastics_proposal.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

FDA. The Microbead-Free Waters Act: FAQs, 2017. Disponível em: <https://www.fda.gov/cosmetics/guidanceregulation/lawsregulations/ucm531849.htm>. Acesso em: 30 set. 2018.

FERNANDO DE NORONHA. Decreto Distrital nº 002 de 12 de dezembro de 2018. Dispõe sobre a proibição de entrada, comercialização e uso de recipientes e embalagens descartáveis de material plástico ou similares no Distrito Estadual de Fernando de Noronha. Disponível em: <http://www.noronha.pe.gov.br/instLegislacao.php?cat=3>. Acesso em 10 dez. 2018.

FOAM EXPO. 2019. Speaker Interview: Hamdy Khalil, Senior Global Director for Advanced Technologies and Innovation at Woodbridge Foam Corporation. Disponível

em: <http://www.foam-expo.com/resources/news-and-editorial/news-container/2017/11/06/how-open-innovation-promotes-sustainability-within-the-foam-value-chain/>. Acesso em: 08 fev. 2019.

G1. Acordo do Clima de Paris entra oficialmente em vigor nesta sexta-feira, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2016/11/acordo-do-clima-de-paris-entra-oficialmente-em-vigor-nesta-sexta-feira.html>. Acesso em: 22 dez. 2018.

G1. Preço do petróleo nos EUA atinge máxima de 3 anos e meio por receios sobre Irã, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/preco-do-petroleo-nos-eua-atinge-maxima-de-3-anos-e-meio-por-receios-sobre-ira.ghtml>. Acesso em: 03 nov. 2018.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. Sci. Adv., New York, v. 3, 2017. 6 p.

GONZALEZ, M. N. G.; LEVI, M.; TURRI, S. Development of polyester binders for the production of sustainable polyurethane coatings: Technological characterization and life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, v. 164, p. 171 - 178, 2017.

GOVERNMENT OF CANADA. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Microbeads in Toiletries Regulations, v. 151, n. 12, 2017. Disponível em: <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2017/2017-06-14/html/sor-dors111-eng.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

GUZMAN, D. 2015: A turning point for bioplastic building-block investments. Plastics Engineering, 2016. 7 p.

HITT, M. A.; IRELAND, R. D.; HOSKISSON, R. E. Administração estratégica: competitividade e globalização [tradução All Tasks]. 7 ed – São Paulo: Cengage Learning, 2015. 415 p.

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>. Acesso em: 15 jan. 2019.

ILES, A.; MARTIN, A. N. Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry. Journal of Cleaner Production, v. 45, p. 38 - 49, 2013.

INDEX MUNDI. Petróleo bruto preço mensal - real brasileiro por barril. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=petr%C3%B3leo-bruto&meses=300&moeda=brl>. Acesso em: 28 out. 2018.

INPE. Protocolo de Quioto. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quioto.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.

KOTLER, P; KELLER, K. L. Administração de marketing. 14 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012. 767 p.

LENARDÃO *et al*. "Green Chemistry" – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. Quim. Nova, v. 26, n. 1, p. 123 - 129, 2003.

LIPTOW, C; TILLMAN, A. A comparative life cycle assessment study of polyethylene based on sugarcane and crude oil. Journal of Industrial Ecology, v. 16, n. 3, p. 420 - 435, 2012.

KRUTER, G. E.; DE BARCELLOS, M. D.; DA SILVA, V. S. As atitudes dos consumidores em relação ao plástico verde. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 19 - 46, 2012.

MMA. Acordo de Paris, 2018b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 10 dez. 2018.

MMA. Protocolo de Quioto, 2018a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>. Acesso em: 10 dez. 2018.

MME/EPE. Plano decenal de expansão de energia 2024. Brasília, 2015. 467 p.

MORSCHBACKER, A. Bio-ethanol based ethylene. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews, n. 49, p. 79 - 84, 2009.

NESTE. IKEA and Neste take a significant step towards a fossil-free future, 2018. Disponível em: <https://www.neste.com/ikea-and-neste-take-significant-step-towards-fossil-free-future>. Acesso em: 27 jan. 2019.

NESTLÉ. Danone and Nestlé Waters Launch NaturALL Bottle Alliance with California Startup to Develop 100% Bio-Based Bottles. 2017. Disponível em: <https://www.nestleusa.com/media/pressreleases/nestle-waters-launch-alliance-naturall-bio-based-bottles>. Acesso em: 24 jun. 2018.

NOVA INSTITUTE. Bio-based building blocks and polymers - Global capacities and trends 2016 – 2021, 2016. Disponível em: <http://www.bio-based.eu/market_study/media/16-12-16-Bio-based-Building-Blocks-and-Polymers-short-version.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.

OECD. Policies for bioplastics in the context of a bioeconomy", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n. 10, OECD Publishing, Paris, 2013. 84 p.

OWEN, N. A.; INDERWILDI, O. R.; KING, D. A. The status of conventional world oil reserves - Hype or cause for concern?. Energy Policy, v. 38, p. 4743 - 4749, 2010.

PEPSICO. PepsiCo develops world's first 100 percent plant-based, renewably sourced PET bottle, 2011. Disponível em: <http://www.pepsico.com/live/pressrelease/PepsiCo-Develops-Worlds-First-100-Percent-Plant-Based-Renewably-Sourced-PET-Bott03152011>. Acesso em 23 jun. 2018.

PEREIRA, P. H. L. Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial de aplicação na área médica. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PLASTICS EUROPE. Plastics – the Facts 2015 - An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2015. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/application/files/3715/1689/8308/2015plastics_the_facts_14122015.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.

PLASTICS EUROPE. Plastics – the Facts 2016 - An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2016. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.

RIO DE JANEIRO. Lei n° 8.090, de 30 de agosto de 2018(c). Proíbe a produção, fabricação, distribuição, comercialização, venda, estocagem, armazenagem, consignação, seja para exportação e importação, divulgação, uso e descarte nos rios,

córregos, lagos, lagoas, lagunas, no mar e no solo, de qualquer produto cosmético, de higiene pessoal e de limpeza que contenham microesferas de plástico, sejam elas ocas ou maciças, provenientes de polímeros de polietileno, polipropileno (pp), poliacetal (delrin ou pom), tereflalato, polimetilmetacrilato, náilon (poliamida ou pa), ou similares, no estado do rio de janeiro. Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/620825134/lei-8090-18-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 10 dez. 2018.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 6.384, de 4 de julho de 2018(b). Obriga restaurantes, bares, lanchonetes, barracas de praia, ambulantes e similares autorizados pela prefeitura a usarem e fornecerem canudos de papel biodegradável e/ou reciclável individual e hermeticamente embalados com material semelhante. Disponível em: < http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/50ad008247b8f030032579ea0073d588/2c69692d745ce1dc832582c1005727b9?OpenDocument>. Acesso em: 10 dez. 2018.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 8006, de 25 de junho de 2018(a). Modifica a Lei nº 5.502, de 15 de julho de 2009, que dispõe sobre a substituição e recolhimento de sacolas plásticas em estabelecimentos comerciais localizados no estado do rio de janeiro, como forma de colocá-las à disposição do ciclo de reciclagem e proteção ao meio ambiente fluminense. Disponível em: <https://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/594011207/lei-8006-18-rio-de-janeiro-rj >. Acesso em: 11 dez. 2018.

RIO DE JANEIRO. Projeto de Lei do Senado n° 92, de 2018(d). Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de materiais biodegradáveis na composição de utensílios descartáveis destinados ao acondicionamento e ao manejo de alimentos prontos para o consumo. Disponível em: < https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/132457>. Acesso em: 12 dez. 2018.

RUJNIĆ-SOKELE, M.; PILIPOVIĆ, A. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. Waste Management & Research, v. 35, n. 2, p. 132 - 140, 2017.

SÃO PAULO. Decreto nº 55.827, de 6 de janeiro de 2015. Regulamenta a Lei nº 15.374, de 18 de maio de 2011, que dispõe sobre a proibição da distribuição gratuita ou venda de sacolas plásticas a consumidores em todos os estabelecimentos comerciais do Município de São Paulo. Disponível em: <

https://www.radarmunicipal.com.br/legislacao/decreto-55827>. Acesso em: 11 dez. 2018.

SÃO PAULO. Lei nº 15.374, de 18 de maio de 2011. Dispõe sobre a proibição da distribuição gratuita ou venda de sacolas plásticas a consumidores em todos os estabelecimentos comerciais do Município de São Paulo, e dá outras providências. Disponível em: < https://www.radarmunicipal.com.br/legislacao/lei-15374>. Acesso em: 12 dez. 2018.

SABIC. Sabic introduces new caps & closures material, outlines strategies for growth and the circular economy at the berlin plastic closures innovation 2018, 2018. Disponível em: <https://www.sabic.com/en/news/12748-sabic-introduces-new-caps-closures-material-outlines-strategies-for-growth-and-the-circular-economy-at-the-berlin-plastic-closures-innovation-2018>. Acesso em: 27 jan. 2019.

SILVA, A.; SILVA, N. S.; BARBOSA, V. A.; HENRIQUE, M. R.; BAPTISTA, J. A. A utilização da Matriz SWOT como ferramenta estratégica – um estudo de caso em uma escola de idioma de São Paulo. VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT. 2011. 11 p.

SMOCK, D. Dow & Mitsui plan Brazil bioplastics plant. Design News, 2011. Disponível em: <https://www.designnews.com/content/dow-mitsui-plan-brazil-bioplastics-plant/173052070138830>. Acesso em: 26 jan. 2019.

SPECK, R.; SELKE, S.; AURAS, R.; FITZSIMMONS, J. Life cycle assessment software - Selection can impact results. Journal of Industrial Ecology, v. 20, n. 1, p. 18 - 28, 2015.

STATISTA. Distribution of oil demand worldwide in 2016 by sector. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/307194/top-oil-consuming-sectors-worldwide/>. Acesso em: 28 out. 2018.

SUWANMANEE, U. Life cycle assessment of single use thermoform boxes made from polystyrene (PS), polylactic acid, (PLA), and PLA/starch: cradle to consumer gate. Int J Life Cycle Assess, v. 18, p. 401 - 417, 2013.

SZWARC, A. A alcoolquímica no cenário futuro da cana-de-açúcar, 2011. Disponível em: <http://www.unica.com.br/colunas/25714988920338419546/a-alcoolquimica-no-cenario-futuro-da-cana-de-acucar-/>. Acesso em: 13 dez 2017.

TORAY. Toray Succeeds in Production of the World's First Fully Renewable, Biobased Polyethylene Terephthalate (PET) Fiber, 2011. Disponível em: <https://www.toray.com/news/fib/nr111115.html>. Acesso em: 01 fev. 2019.

VILLANUEVA A., WENZEL H. Paper waste - recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. Waste Management, v. 27, n. 8, p. 29 - 46, 2007.

VIRENT. Virent BioFormPX® paraxylene used for world's first PET plastic bottle made entirely from plant-based material, 2015. Disponível em: <http://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-for-worlds-first-pet-plastic-bottle-made-entirely-from-plant-based-material/>. Acesso em 23 jun. 2018.

VIRENT. Virent's chemical completes plant-based pet bottle, 2011. Disponível em: <http://www.virent.com/news/virents-chemical-completes-plant-based-pet-bottle/>. Acesso em: 23 jun. 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics, 2016. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.