

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ORIENTADOR: Prof. Dr. OCTAVIO ANTONIO VALSECHI

**EMPREGO DE BIOPOLÍMEROS COMO FORMA DE SUBSTITUIÇÃO
A FONTES DE RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS**

NATIELY ROSALINO **RA:** 726384

ARARAS/SP
2023

NATIELY CRISTINY ALVES ROSALINO

**EMPREGO DE BIOPOLÍMEROS COMO FORMA DE SUBSTITUIÇÃO
A FONTES DE RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de em pela Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: Prof. Dr. Octavio Antonio Valsechi.

Araras/SP.

Emprego de biopolímeros como forma de substituição a fontes de recursos naturais não renováveis.

Natiely Cristiny Alves Rosalino.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de em pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Orientador

Octavio Antonio Valsechi
Universidade Federal de São Carlos

Membro da banca

Janaina Della Torre
Universidade Federal de São Carlos

Membro da banca

Flávia Bissoto
Instituto Agronômico de Campinas

RESUMO

Por conta de sua versatilidade e utilização nas mais diversas áreas do cotidiano, a produção e consumo de plástico cresceu em larga escala a partir da década de 70 (SCHWARZ, 1992) e tem grande mercado até hoje. Porém, em sua grande maioria, a origem desse material se dá por meio da utilização de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral, sendo, portanto, de origem não renovável e por muitas vezes não biodegradável, o que acarreta diversos problemas ao meio ambiente. Desta forma, este estudo buscou, através de revisão bibliográfica do tema, evidenciar alternativas para o modo de produção dos plásticos, procurando trazer formas sustentáveis e menos degradantes ao meio ambiente. Concluiu-se que, apesar das outras alternativas já encontradas para a produção de plástico que não utilize fontes não renováveis, a produção por meio de biopolímeros, utilizando de biomassa de culturas como a cana-de-açúcar e seus derivados, vêm de encontro ao que a sociedade precisa para solucionar o problema do plástico.

ABSTRACT

Due to its versatility and use in the most diverse areas of daily life, the production and consumption of plastic grew on a large scale from the 1970s onward (SCHWARZ, 1992) and still has a large market. However, for the most part, the origin of this material is through the use of fossil fuels, such as oil and mineral coal, being, therefore, of non-renewable origin and often non-biodegradable, which causes several problems to the environment. In this way, this study sought, through a bibliographical review of the subject, to highlight alternatives for the way of producing plastics, seeking to bring sustainable and less degrading forms to the environment. The conclusion was that, despite the other alternatives already found for the production of plastic that does not use non-renewable sources, production through biopolymers, using biomass from cultures such as sugarcane and its derivatives, is in line with the that society needs to solve the plastic problem.

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. JUSTIFICATIVA.....	10
3. OBJETIVOS.....	10
a. GERAL.....	10
b. ESPECÍFICO.....	10
4. METODOLOGIA.....	10
5. REVISÃO DA LITERATURA.....	11
6. RESULTADOS.....	16
7. CONCLUSÃO.....	18
8. REFERÊNCIAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

O plástico é um resíduo sólido, constituído de material sintético formado por grandes moléculas e que pode ser facilmente moldável por meio do aumento de temperatura ou até mesmo com o uso de solventes (DONATO, 1972). Frequentemente utilizado das mais diversas formas pela população, devido ao seu baixo custo de produção e excelente durabilidade, teve seu início a partir da década de 70, através da inauguração de unidades produtoras de resina (SCHWARZ, 1992) e segue estável no mercado até os dias atuais.

Atualmente, o consumo de plástico, seja no transporte, objetos domésticos, embalagens ou tantos outros exemplos que podem ser citados, está atrelado diretamente a um modo de vida mais moderno (ARAÚJO; CAVALCANTI, 2016), onde se preza pelo prático. Todavia, o processo de produção desse material demanda insumos fósseis, como o petróleo, e também o carvão mineral, sendo estes considerados como fontes de recursos naturais não renováveis, ou seja, o uso desses em insumos de maneira não controlada conduz tais fontes a escassez (PEREIRA; FERREIRA, 2011).

É notório que, apesar das inúmeras facilidades e praticidades trazidas pelo plástico ao cotidiano humano, tal prática acarreta em uma série de consequências, principalmente quando se diz respeito ao uso acentuado e mutualidade da espécie com sua utilização (OLIVEIRA, 2019). Outro problema é quanto aos plásticos associados ao alimento (FORLIN; FARIA, 2002) que são consumidos diariamente por milhares de pessoas, sem contar as sacolas plásticas presentes em todos os supermercados, como demonstrado no gráfico da figura 1.

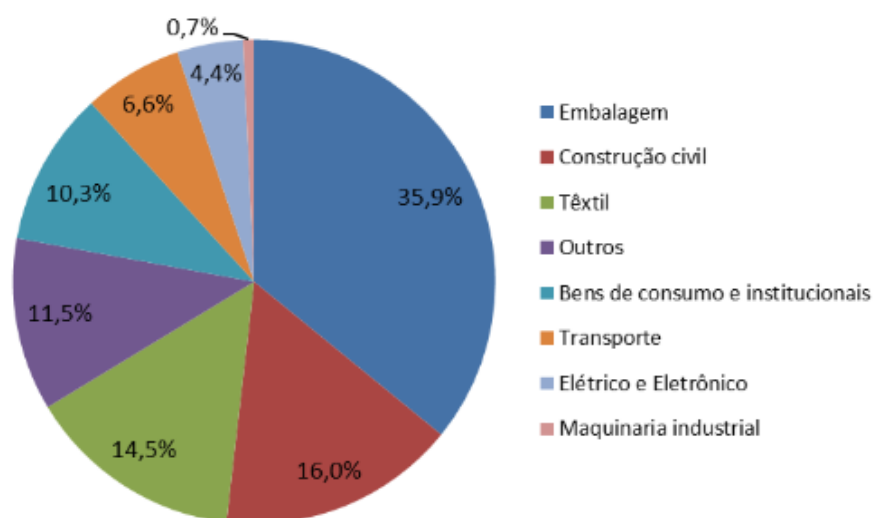


Figura 1: Destinação da produção global de plásticos por setor em 2015

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

O descarte incorreto de resíduos sólidos, principalmente o plástico, torna-se ainda maior devido ao grande volume liberado, que muitas vezes são alocados em áreas impróprias, com pouca estrutura, levando a contaminação de solo e água (CARDOSO et al., 2009), além do seu baixo potencial de se degradar no meio ambiente. Quando exposto no ambiente, o plástico a priori sofre degradação mecânica, que por sua vez acaba sendo fragmentado em partículas menores e assim consecutivamente, essas partículas são chamadas de microplásticos (ARAÚJO; CAVALCANTI,2016).

Segundo Piva e Wiebeck (2004), a geração de resíduos sólidos, em especial a indústria plástica apresenta três aspectos que devem ser ponderados, sendo eles:

i) volume crescente - devido crescimento populacional, modernização da sociedade, junto a introdução da cultura de produtos descartáveis;

ii) complexidade do resíduo - correlacionado ao desenvolvimento de novos materiais introduzidos no mercado, acarretando em resíduos sintéticos nem sempre biodegradáveis ou assimiláveis pelo meio ambiente e que, em grande parte dos casos, necessitam de tratamento prévio até seu descarte final;

iii) poluição visual ou também chamado de “lixo visual” - causado pelo crescente volume de resíduos plásticos e a desvalorização da área depositada.

Estudos científicos apresentam a relação da toxicidade do plástico em animais marinhos com comprovação que alguns peixes, inclusive no litoral brasileiro, contém alto índice de toxinas pesadas em seu organismo e isto está diretamente ligado à poluição de plásticos nos mares, rios e oceanos.

(AZEVEDO, 2019)

Deste modo, a destinação inadequada não é só um risco para vida urbana, uma vez que ocasiona em entupimento de bueiros/bocas de lobo, hiper lotação de aterros sanitários ou até mesmo quanto a estética da cidade, mas também a vida marinha tem sido afetada e correlato a isso, tem-se o aumento do consumo de peixes, segundo o MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura), entre 2002 e 2010, esse consumo expandiu 196% (PEREIRA, 2017), que afeta diretamente a saúde humana. Dessa maneira a sociedade demanda por novos materiais, novas tecnologias, como o bioplástico.

Segundo definição da European Bioplastics (2016), um bioplástico ou também denominado como biopolímero, faz referência a um plástico de origem a priori renovável, podendo ser também parcialmente renovável e/ou biodegradável, sendo produzidos a partir de óleos e gorduras vegetais, biomassa, tubérculos e como forma mais conhecida, através da cana-de-açúcar (PEREIRA, 2017), sendo assim, tal tecnologia possibilita a redução da utilização de recursos não renováveis, substituída por matéria prima renovável como alternativa mais sustentável.

Quando um polímero em sua totalidade consegue ser reduzido em um período de tempo curto, em dióxido de carbono, água, minerais e/ou biomassa, sem a liberação de qualquer substância agressiva, pode-se então dizer que este é um polímero biodegradável, como o caso do polihidroxialcanoato (PHA), um poliéster produzido por fermentação direta de fonte de carbono por microrganismo de forma intracelular.

Dito isso, a European Bioplastics (2016) define três divisões de grupos de bioplásticos: os que possuem origem renovável e não são biodegradáveis; os que possuem origem renovável e são biodegradáveis e os que possuem origem fóssil e são biodegradáveis, como mostra a figura 2.

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). (CASTRO, 2019)

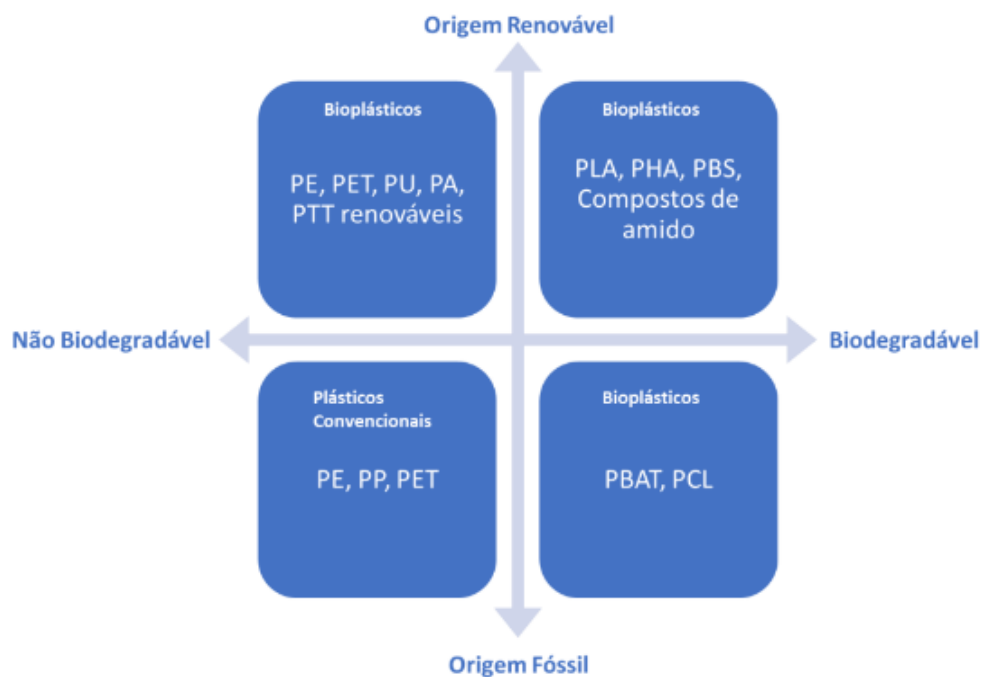


Figura 2: Grupos de bioplásticos

Fonte: Adaptado European Bioplastics (2016)

2. JUSTIFICATIVA

Devido a utilização em larga escala de plásticos e derivados, o emprego de biopolímeros como forma de substituição a fontes de recursos naturais não renováveis se faz importante a fim de reduzir a utilização de tais recursos, diminuindo o impacto no meio ambiente e preservando a biodiversidade. dessa forma, faz-se justificável uma revisão bibliográfica sobre o tema, com o intuito de destacar a relevância e a necessidade de discussão do assunto.

3. OBJETIVOS

a. GERAL

Apresentar informações relativas à produção, propriedades e das aplicações do bioplástico, desta forma conceituando e analisando as alternativas a petroquímica, bem como de atuar como agente de conscientização ambiental.

b. ESPECÍFICO

Enfatizar a importância do uso racional como parte de um conjunto de ações significativas para a preservação ambiental.

4. METODOLOGIA

A pesquisa será desenvolvida por meio de uma revisão de literatura, por meio de websites e/ou biblioteca, sobre aspectos relacionados à produção de plástico na atualidade, abordando os impactos causados pela sua disponibilidade no meio ambiente e por fim, explorando aspectos, potencialidades e prospecção tecnológica do uso do bioplástico, como fonte de substituição a recursos naturais não renováveis, tendo como foco monoculturas, como o caso da cana de açúcar, que é amplamente explorada no Brasil, como uma alternativa ecológica e sustentável. Os dados serão agrupados de forma sistematizada e, quando necessário, agrupados em tabelas e/ou esquemas ilustrativos.

- a. Pesquisa de palavras chaves:** biopolímeros; plástico; biodegradável; resíduo sólido.

5. REVISÃO DA LITERATURA

No mercado há pelo menos 10 grupos de uma família ampla de materiais diferentes, propriedades variadas e uma infinidade de aplicações (figura 3) quando se trata de bioplásticos, sendo os mais comuns o ácido polilático (PLA), o politereftalato de etileno (PET), o polietileno (PE) verde, polímero de amido (PA), polihidroxicanoatos (PHA) e polihidroxibutirato (PHB).

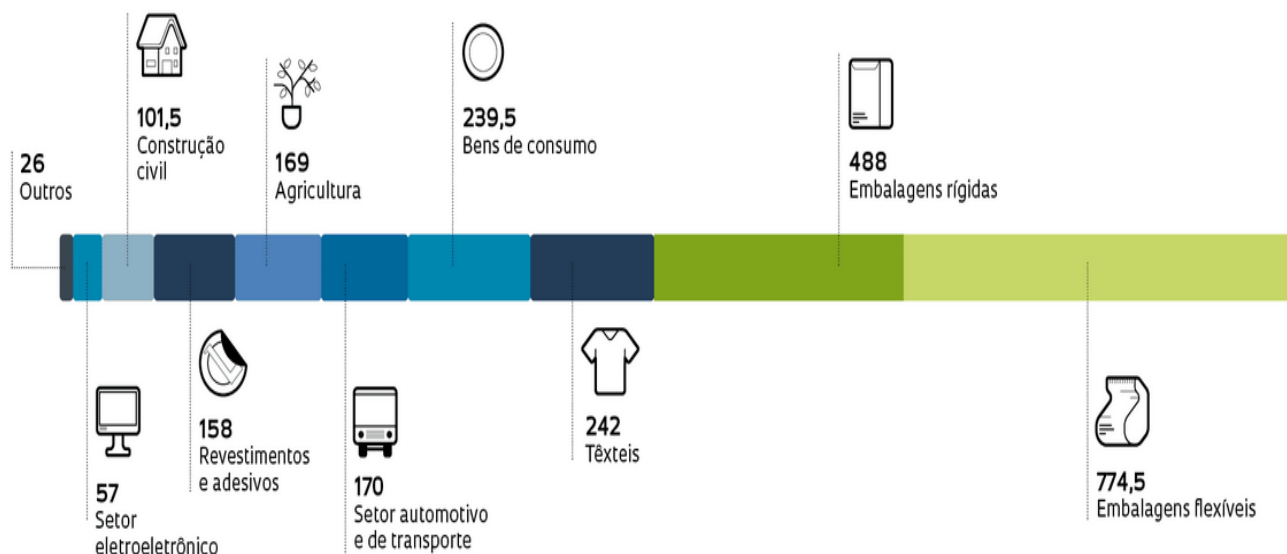


Figura 3: Destino do material. Fonte: European Bioplastics.

Conhecido popularmente como plástico verde, o polietileno (PE), proveniente de matéria prima renovável, produzido pioneiramente pela empresa Braskem, é produzido a partir da desidratação do etanol extraído da cana de açúcar. A tecnologia de produção desse produto possibilita a redução de gases do efeito estufa, uma vez que a cana de açúcar durante seu ciclo de vida captura e fixa dióxido de carbono (CO₂). No entanto, apesar de sua origem renovável, esse grupo de bioplástico não é considerado biodegradável.

A empresa assegura que para cada tonelada produzida de polietileno verde, 2,5 toneladas de CO₂ são retidos da atmosfera, ajudando a reduzir as emissões de gases do efeito estufa e contendo os danos sob o efeito estufa. No mais, a produção de eteno, oriundo da desidratação do etanol, é um sistema de baixo investimento por tonelada de produto produzido, como mostra a figura 4.

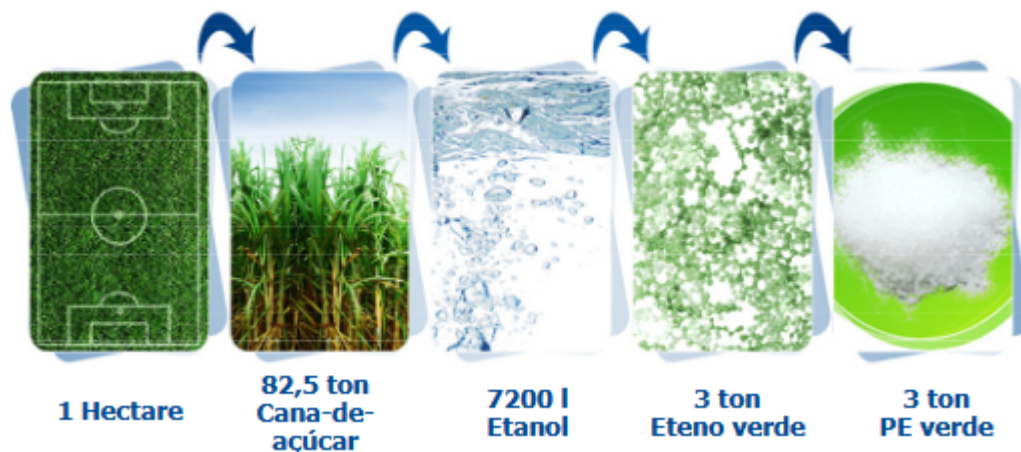


Figura 4: Relação de produção aproximada de eteno. Fonte: Braskem

Possui as mesmas características químicas, mecânicas e de processabilidade de um polietileno de origem fóssil, sendo assim, a mesma multifuncionalidade do PE convencional é identificada no PE verde. Além disso, apresenta a mesma conduta e propriedades da resina fundada por matéria prima não renovável, logo, não há investimentos extras para indústrias de manufaturados, conseguindo manter as mesmas condições de processos e taxas de produção.

O PET - Poli(tereftalato de etileno) é um polímero renovável porém não biodegradável, em 2016 se destacou por ser o segundo biopolímero mais produzido no mundo e apresentou capacidade global de produção de 950 mil toneladas (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2017). Pode-se citar a Coca-Cola, como exemplo de grande empresa que utiliza em suas garrafas de refrigerantes de seiscentos mililitros (600ml) um polímero renovável proveniente da cana de açúcar e seus resíduos, desde 2009.

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, 2015).

O polímero de amido (PA), é produzido por plantas como forma de reserva de energia e seu alcance em nível comercial é restringida aos vegetais, como tubérculos, raízes e cereais (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010). Constituído por dois polissacarídeos: amilose, ocasiona em um polímero linear, onde as as moléculas se orientam paralelamente e a amilopectina, que se distingue

da amilose pela unidades de anidroglicose, que por sua vez sucede em um polímero ramificado, como ilustrado na figura 5. Devido a proximidade da organização celular da amilose, a afinidade por água dessa molécula é reduzida favorecendo então a formação de filmes, mais conhecido no mercado como *nylon*.

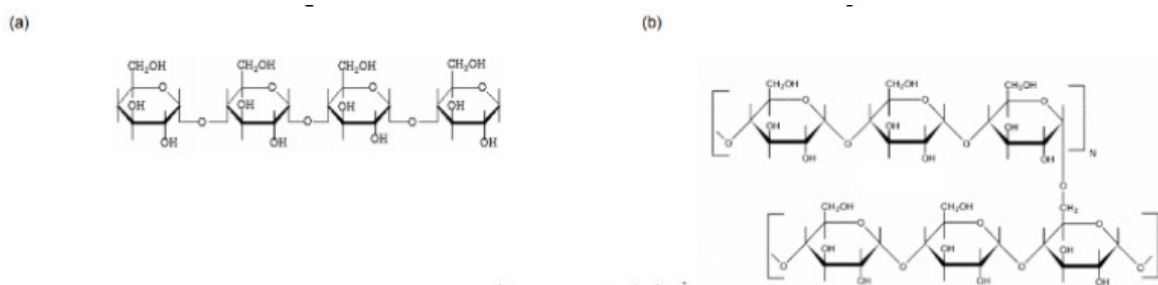


Figura 5: Estrutura da molécula de amilose (a) e amilopectina (b).

Fonte: Pradella, 2006.

Essa incorporação de amido, torna esse polímero conhecido por ser um polímero de origem natural e apresenta vantajosa alternativa para substituição de polímeros sintéticos na confecção de sacolas plásticas ou até mesmo como proteção de objetos em transportes, apresenta baixo custo e alta disponibilidade. No entanto, não é biodegradável, mesmo em sua versão produzida a partir da biomassa, além de não ser reciclável.

Entre os bioplásticos oriundos de materiais que são 100% de origem renovável e, ao mesmo tempo, biodegradáveis, destaca-se o PLA (ácido polilático), que pode ser produzido a partir da fermentação de bactérias por meio de fornecedores ricos em amido e/ou glicose, como o caso do milho e cana de açúcar, para produzir o ácido láctico e a partir disso ser usado para a produção do biopolímero. Diferentemente do PA, onde amido é a matéria prima principal para geração do plástico e no caso do PLA, o amido é apenas usado para condução até a produção de ácido láctico.

Comumente usados como sacolas plásticas, canetas, tampas, copos, o PLA pode apresentar usabilidade até na medicina, seja para equipamentos e dispositivos médicos, quanto substituição de implantes de metais, uma vez que apresentam menores riscos de inflamações e a necessidade de uma posterior cirurgia para a retirada do material.

Os PHAs (polihidroxialcanoatos) são termoplásticos que possuem propriedades físicas e químicas muito semelhantes às do polipropileno, tem se tornado um possível candidato progressivamente mais aplicável para substituição do futuro para os plásticos comuns. Isso porque o biopolímero PHA é biodegradável em determinadas condições e pode ser produzido a partir de fontes renováveis, tais como cepas de bactérias (figura 6) e lixo orgânico, porém o infortúnio é quando trata-se de aspectos econômicos.

O preço dos PHAs é cerca de nove vezes superior ao do polipropileno, partindo da premissa de que são produzidos por culturas microbianas puras, que tendem a elevar o preço dos substratos, como o caso da glucose e ácido propiônico, sucedendo em elevados custos quanto a investimentos e de produção, uma vez que há uma necessidade maior de controle da operação e maquinário para esterilização.



Figura 6: Grânulos de PHA no interior das células bacterianas. Fonte: Plastix

Posteriormente ao cultivo de bactérias, é executado o processo de extração do PHA acumulado dentro dessas células bacterianas, sendo que a quantidade de átomos de carbono presente em cada monômero, que são as unidades que compõem as cadeias poliméricas, são as que estabelecem as especificidades do bioplástico e conseqüentemente qual poderá ser sua destinação para uso.

Cadeias monoméricas consideradas médias, que são compostas por cerca de 6 a 14 átomos de carbono, dispõem de propriedade mais elástica, onde normalmente são destinadas para sacolas plásticas. Cadeias curtas de monômeros, cadeias que são compostas por 3 a 5 átomos de carbono, forjam um plástico mais

rígido, como o caso do PHB que é derivado da família do PHA, e que podem ser adequados com o aumento de temperatura, sendo intrínsecos para a fabricação de peças termoformadas, como o caso de frascos para fins cosméticos, vasos para mudas

O PHB (poli-hidroxibutirado) possui especificidades semelhantes a plásticos de origem petroquímica, no entanto com a vantagem de ser considerado biodegradável (figura 7), que na maior parte dos casos tem de 3 a 12 meses como tempo de degradação, completando assim seu ciclo (figura 8), a depender dos aditivos adicionados, assim como quantidade dos mesmo, contra os 50 a até 200 anos, no caso de polímeros sintéticos (COUTINHO *et al*, 2002).

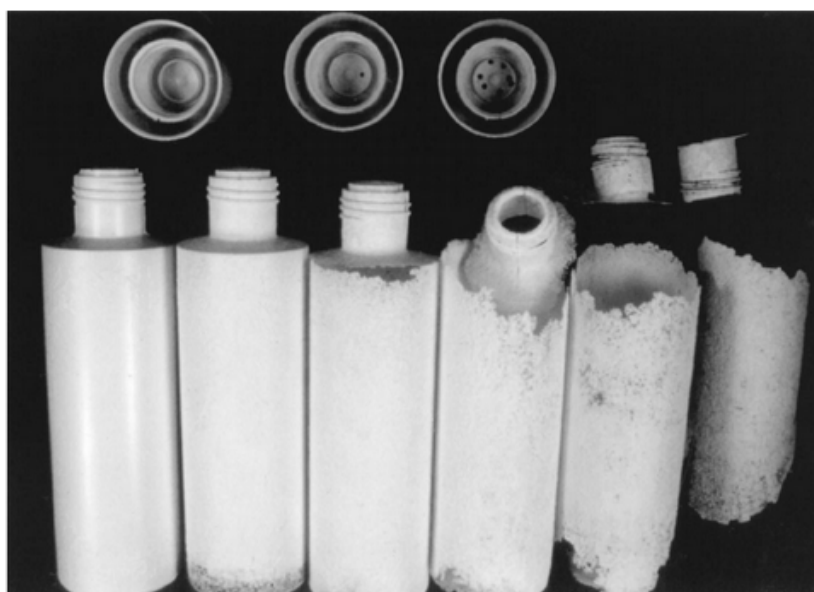


Figura 7: Garrafas feitas de PHB e sua degradação ao longo de 10 semanas (da esquerda para a direita). Fonte: Dieter Jendrossek/Madison & Huisman, 1999.

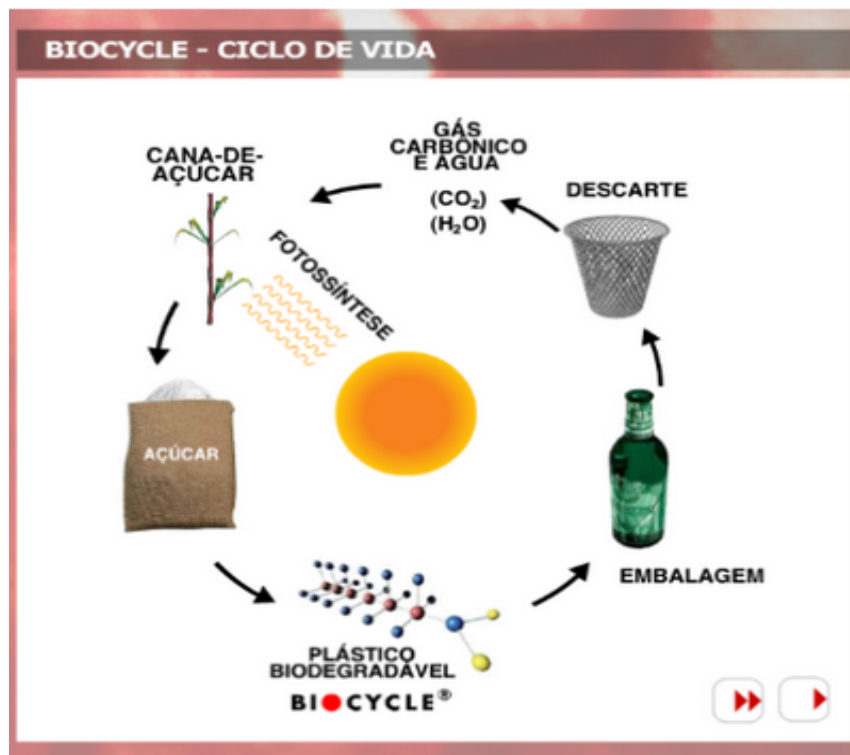


Figura 8: Ciclo de vida do PHB. Fonte: Biocycle.

6. RESULTADOS

Visando atender as demandas mundial de ambiente, socialmente correto de gestão, a produção de plástico a partir de material de biomassa, como o caso da cana de açúcar e seus derivados, vem ao encontro que a sociedade busca isso auxiliando nosso anseio de melhoria de qualidade de vida. Quando se trata de Brasil, é um país que possui grande potencialidade para o uso de biomassa, posto que o mesmo possui grande extensão de terra e de produtividade agrícola.

Quanto a projeção, há para que haja aumento da capacidade produtiva global de bioplásticos avança significativamente, como mostra a projeção feita de 2019 a 2025 (imagem 9), tendo em vista que há tecnologia para a fabricação de produtos a partir de biopolímeros, mesmo o custo ainda sendo uma entrave comparado com o plástico convencional.

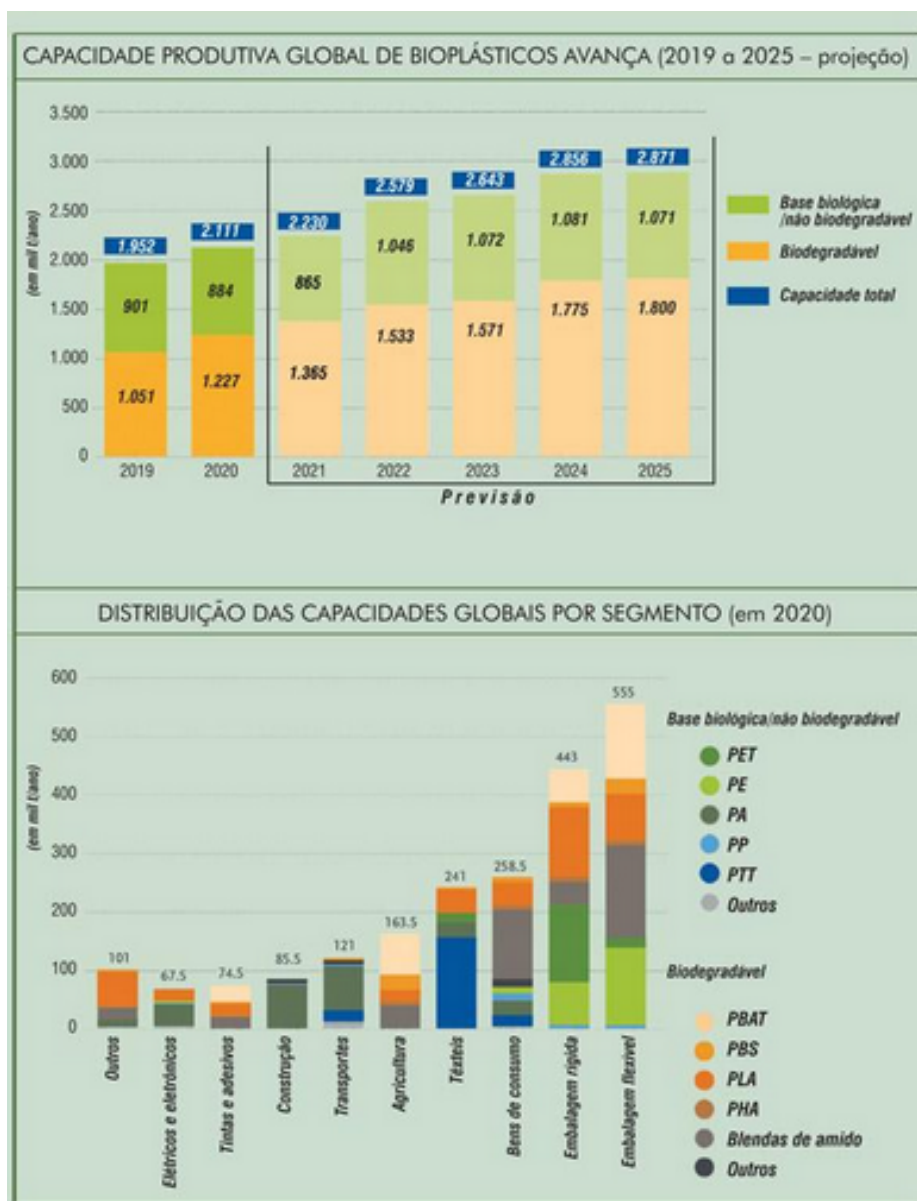


Figura 9: Capacidade produtiva global. Fonte: European Bioplastics.

A parcela de PE verde também cresce nos próximos anos, quando comparado ao PET de origem biológica, que irá apenas coadjuvar com uma pequena parcela da capacidade geral. Embalagens segundo a prospecção, continuam sendo o maior campo de atuação para os bioplásticos, com quase metade do mercado conquistado. No entanto, os dados também demonstram que os materiais de origem renovável já estão sendo utilizados em diversos setores, como na agricultura, como bens de consumo e/ou produtos agrícolas.

As atribuições físicas e mecânicas do plástico biodegradável são semelhantes às de alguns polímeros convencionais, mas apresentam a benfeitoria de se decompor mais rapidamente após o descarte, quando descartados corretamente.

Sendo assim, o PHB torna-se um grande destaque desse grupo, mesmo que atendendo um setor específico de mercado, uma vez que algumas marcas atualmente tem um cunho ambiental forte e concordam que ter um produto com o uso de um bioplástico biodegradável torna-se um diferencial. É imprescindível que além do mercado demandar tal tecnologia, é necessário que o mesmo seja contemplado quanto a produção e que para que ocorra essa possibilidade, há necessidade de estudo quanto ao uso de matérias primas que denotam um custo mais baixo.

7. CONCLUSÃO

O mercado de bioplásticos apresenta uma crescente taxa em relação ao crescimento nos últimos anos, e atualmente já existem biopolímeros capazes de competir no mercado com os plásticos de origem petroquímica. Destacam-se também fatores como: ampliação da capacidade produtiva, a melhoria da tecnologia e a maior utilização comercial, sendo que a expectativa é que o aumento da produção leve a ganho de escala e conseqüentemente, redução do preço dos biopolímeros.

Quanto a matérias-primas renováveis para manufatura de plásticos, evidencia-se a independência em relação ao petróleo, recurso esse limitado de origem fóssil, e que apresenta variação nos preços com base em condições geopolíticas e econômicas.

Infelizmente, majoritariamente, o resíduo plástico brasileiro acaba indo parar em aterros e lixões, onde não há garantias de que o material biodegradável se decomponha em sua totalidade. A falta de políticas públicas que inflamem a fabricação e que sejam de caráter regulatório, como por exemplo a certificação de destinação correta a esses produtos também é uma lacuna não preenchida.

8. REFERÊNCIAS

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

AZEVEDO, Larissa Guimarães. Bioplástico: alternativa viável e sustentável ao plástico convencional. 2019. Disponível em: <http://ri.ucs.br:8080/jspui/handle/prefix/4527>. Acesso em: 21 mar. 2022.

BIOCYCLE. Ciclo de vida do PHB. Disponível em: www.biocycle.com.br. Acesso em: 20 jul. 2023.

BRASKEM. Catálogo PE verde. Disponível em: https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Catalogo_PE_Verde.pdf. Acesso em: 04 ago. 2023.

CARDOSO, R. S.; XAVIER, L. H.; GOMES, C. F. S.; ADISSI, P. J. Uso de SAD no apoio à decisão na destinação de resíduos plásticos e gestão de materiais. *Pesquisa Operacional*, v.29, n. 1, p. 67-95, 2009.

CASTRO, Thais Hessab Moreira de. OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO. 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufjf.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Thais_Hessab_MESTRADO_2019.pdf. Acesso em: 21 mar. 2022.

COCA-COLA. Great things come in innovative packaging: an introduction to PlantBottle™ packaging, 2015. Disponível em: <https://www.coca-colacompany.com/stories/great-things-come-in-innovative-packaging-an-introduction-to-plantbottle-packaging>. Acesso em: 21 mar. 2022

COSTA, W. L. S. da .; BOCCHI, M. L. de M. APLICAÇÕES DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZADAS NA ATUALIDADE. *Ciência & Tecnologia*, [S. l.], v. 4, n. 1, 2012. Disponível em: <https://citec.fatecjaboticabal.edu.br/index.php/citec/article/view/173>. Acesso em: 21 mar. 2022.

COUTINHO *et al.* A IMPORTÂNCIA E AS VANTAGENS DO POLIHIDROXIBUTIRATO. 2002. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/49/53>. Acesso em: 25 jul. 2023

de Almeida, Alejandra; Ruiz, Jimena A.; López, Nancy I.; Pettinari, M. Julia Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Química Viva*, vol. 3, núm. 3, 2004, pp. 122-133 Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina

DONATO, M. O mundo do plástico: o plástico na história, o plástico no mundo, o plástico no Brasil. São Paulo: Goyana, 1972.

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: 21 mar. 2022.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002.

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.

MADISON, Lara L.; HUISMAN, Gjalb W.. Metabolic Engineering of Poly(3-Hydroxyalkanoates): from dna to plastic. *Microbiology And Molecular Biology Reviews*, [S.L.], v. 63, n. 1, p. 21-53, mar. 1999. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/mnbr.63.1.21-53.1999>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/13223568_Metabolic_Engineering_of_Poly3-Hydroxyalkanoates_From_DNA_to_Plastic. Acesso em: 25 jul. 2023.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 1, p.137-155, jan./mar., 2010

OLIVEIRA, José Lucas dos Santos. PLÁSTICO NO MEIO AMBIENTE: CARACTERÍSTICAS GERAIS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS. 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA7_ID126_28072019155257.pdf. Acesso em: 21 mar. 2022.

PEREIRA, J. C.; FERREIRA, M. Polímeros e meio ambiente: uma proposta para o ensino de química. *Educação Ambiental em Ação*, n. 36, p. 1043, 2011

PEREIRA, G. J.. Os perigos da poluição por plásticos (petroquímicos) e os desafios ambientais: uma questão de responsabilidade planetária. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) - Escola Superior Dom Helder Câmara, Belo Horizonte, 2017.

PIVA, A.M.; WIEBECK, H. *Reciclagem do plástico*. São Paulo: Artliber Editora, 2004.

PLASTIX. Al via la partnership tra Gammarad Italia e bio-on. Disponível em: <https://www.plastix.it/al-via-la-partnership-tra-gammarad-italia-e-bio-on/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PRADELLA, J. G. C.. Biopolímeros e intermediários químicos. Relatório Técnico nº 84 396-205, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2006. São Paulo, Brasil.

SCHWARZ, L.B. Reciclagem de plásticos: aspectos técnicos, mercadológicos e de meio ambiente. In: 5. Congresso Brasileiro de Petroquímica. Rio de Janeiro, 1992.