



Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA

Analysis of the bioplastics segment: technological forecasting in “green plastics”, PHA and PLA

Murilo Alves do Amaral¹

Suzana Borschiver²

Cláudia do Rosário Vaz Morgado³

Resumo: Este artigo tem como objetivo analisar o segmento de bioplásticos. Foram abordados os bioprodutos Polihidroxicanoatos – PHA, Ácidos Poliláticos - PLA e o biopolietileno. A análise focou em aspectos tecnológicos e mercadológicos, considerando a aplicação dos princípios da bioeconomia. Os bioplásticos são plásticos que são produzidos a partir de matéria-prima renovável ou que possuem capacidade de biodegradação no ambiente, ou ainda que possuam ambas as propriedades. A metodologia utilizada foi baseada em Estudos de Prospecção Tecnológica (EPT), tendo como fontes de pesquisa a análise de artigos científicos e documentos de mídias especializadas. O resultado apontou inovações tecnológicas e importantes *players* do segmento de bioplásticos. Foram identificados os bioplásticos conhecidos como "plásticos verdes", e. g. biopolietileno e os biodegradáveis, e. g. PLA, PHA e o PHB. A pesquisa também identificou normas metrológicas para a certificação de bioplásticos, as quais definem os parâmetros da composição biológica e de biodegradação.

Palavras-chave: Bioplásticos; Polihidroxicanoatos; Ácido polilático; Prospecção tecnológica.

Abstract: This paper aims to analyze the current development of the bioplastics segment. Were addressed the bioplastics Polyhydroxyalkanoates – PHA, Polylactic Acids – PLA and biopolyethylene. The analyses focused on technological and market aspects, considering the application of bioeconomics principles. Bioplastics are plastics that are produced from renewable raw material or that have expected biodegradation in the environment, or that still have both properties. The methodology carried out on Technological Forecasting

¹ UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

² UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

³ UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Studies (TFS), having as sources of research the analysis of scientific articles and specialized media documents. The result pointed to technological innovations, and the leading players in the bioplastics segment. In addition, the most promising bioplastics were identified, such as those referred to as "green plastics" e.g. biopolyethylene and the biodegradable, e.g. PLA, PHA, and PHB. The research also found metrological standards for bioplastic certification, which define the parameters of biological composition and of environmental biodecomposition.

Keywords: Bioplastics; Polyhydroxyalkanoates; Polylactic acid; Technological forecasting.

1. Introdução

A concentração atmosférica global de dióxido de carbono (CO₂) aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007). Estes resultados são atribuídos, por diversos estudos, principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra.

O plástico convencional possui, aliada às suas propriedades de leveza, e resistência, características de durabilidade que o fazem um excelente material para diversas aplicações. As propriedades do plástico conferem a este material um grande valor econômico, mas sua grande durabilidade implica em maior dificuldade de degradação de maneira natural pelo ambiente. A produção de plásticos sintéticos, de origem fóssil, normalmente persistentes, tem alcançado cerca de 140 milhões de toneladas por ano e a acumulação desses resíduos no meio ambiente tem provocado impactos ambientais globais (VOLOVA, et.al. 2004). No continente europeu, onde a indústria de plásticos é bem desenvolvida, foram demandadas 49,9 milhões de toneladas, e considerando os outros continentes, que contribuem com demandas de plásticos a geração de plásticos pode ter totalizado mundialmente, em 2016, a ordem de mais de 200 milhões de toneladas.

A não-biodegradabilidade da maior parte de polímeros sintéticos tem causado problemas ambientais associados com sua disposição final e o uso de recursos finitos. A preocupação tem aumentado sobre as consequências dos impactos ambientais devidos a polímeros sintéticos (PAVLATH & ROBERTSON, 1999). Como consequência da necessidade de mitigação de impactos devido aos plásticos, a biotecnologia se encontra sob crescente pesquisa e novos materiais biodegradáveis e bioplásticos estão sendo desenvolvidos sob a perspectiva de conceitos modernos de proteção ambiental e prevenção da poluição (TOKIWA, Y, et al., 2009, POSEN, et al., 2017, RICHARD, et al., 2009).

Neste contexto, o aumento da demanda por soluções mais sustentáveis se reflete no crescente aumento da capacidade de produção de bioplásticos no continente europeu por exemplo, em 2016 a capacidade da produção chegou a cerca de 2,05 milhões de toneladas. Os dados são *do Institute for bioplastics and biocomposites – IFB (2018)*. As previsões do IFB apontam para as capacidades de produção se multiplicarem até 2022, para mais de 6 milhões de toneladas.

2. Fundamentação teórica

O presente artigo tem por objetivo apresentar resultados de investigação do setor de bioplásticos, por meio da aplicação de prospecção tecnológica. Estudos de Prospecção

Tecnológica (EPT), em alguns casos, podem se constituir em uma das etapas do desenvolvimento do *Roadmap* ou mapeamento tecnológico.

A inovação tecnológica traz uma grande incerteza para os agentes atuantes em uma indústria, ou segmento, pelo fato destes não possuírem uma visão clara do processo em que pretendem se envolver e da própria dinâmica do mercado (OROSKI, 2013).

A necessidade de aumento da competitividade por parte de organizações e países pode ser explicada, em parte, pelo grande desenvolvimento das tecnologias da informação. Isso tem levado o mundo ao que se denomina “aldeia global”, fazendo com que os países e as organizações se encontrem frente a um mercado global altamente competitivo (BORSCHIVER, et. al., 2013).

Assim, esforço tem sido realizado para minimizar os impactos ambientais devidos a polímeros sintéticos, para reduzir o uso de fontes não-renováveis e para fornecer alternativas para o gerenciamento de matérias-primas, energia, resíduos e produtos (SLATER, et.al, 2003).

Entre os bioprodutos elaborados com fins industriais temos os biopolímeros que podem dar origem aos denominados bioplásticos, que são polímeros baseados em matéria prima renovável. A grande maioria dos bioplásticos é baseada em matérias-primas agrícolas (Dotan, 2009, Kaplan, 1998). O estudo e a utilização de biopolímeros através de fontes renováveis é uma ciência antiga. Exemplos da aplicação de polímeros de origem biológica incluem o desenvolvimento de processos para fazer papel e a evolução de sericultura para a produção de fibras de seda, milhares de anos atrás, (KAPLAN, 1998).

A Associação Europeia de Bioplásticos (*European Bioplastic Association – EBA*), que representa os interesses da indústria de bioplásticos na Europa informa um número cada vez maior de associados e um aumento crescente do volume de produtos. A indústria de bioplásticos é dinâmica e está crescendo a uma taxa de cerca de 2,0 % ao ano, (EBA, 2018). Bioplásticos tem propriedades termoplásticas e são produzidos por sistemas biológicos ou de matérias-primas derivadas (BERTOLINI, 2007). A informação do conteúdo biológico dos bioplásticos é importante como direcionador de mercado para esses produtos entrantes no mercado de plásticos convencionais. Além disso, critérios de decomposição no ambiente precisam ser estabelecidos e divulgados como forma de assegurar, para utilizadores e consumidores finais, a capacidade de biodegradação desses bioprodutos.

A inserção de bioplásticos na bioeconomia considera o desenvolvimento de indústrias de base biológica em que alguns plásticos derivados de petróleo e produtos químicos possam ser substituídos por produtos novos ou equivalentes derivados, pelo menos parcialmente, a partir da biomassa (PHILIP, 2013).

O EPT é a principal ferramenta para orientar estudos de desenvolvimento de tecnologia e, principalmente, para orientar esforços empreendidos para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PDI nas organizações (CARDOSO, et al., 2017). A aplicação do EPT permite

abordagens estruturadas, que por exemplo, podem ter aplicação no *Technology Roadmapping - TRM* (PHAAL, et al., 2012; MUHAMMAD, et al., 2010).

3. Metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento deste artigo foi a revisão da literatura, sendo utilizado o método de Estudos de Prospecção Tecnológica – EPT, para a organização e sistematização dos dados coletados na revisão realizada. Para a busca de artigos foi utilizada a base de dados *Scopus*, que contém dados de resumos, artigos completos de diversos periódicos da literatura revisada por pares. Para a busca foram adotados parâmetros, como: tipo de documento - *Article*, campos pesquisados - *Article title, Abstract, Keywords*; Idiomas - *Inglês e português*; Período pesquisado - 2007 a 2017 (10 anos). Quando foram utilizadas mais de uma palavra-chave, foram adicionados operadores booleanos para melhoria do resultado. O resumo quantitativo do conjunto de documentos retornados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Arranjos de palavras-chave para a busca de artigos na base *Scopus*.

| Palavra-chave | Segunda palavra-chave | Documentos retornados (2007 a 2017) |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|
| bioplastics/bioplástico | 'green plastics'; bio-PE; bio-PET; bio-PA | 7 |
| bioplastics/bioplástico | polyhydroxyalkanoates | 55 |
| bioplastics/bioplástico | polyhydroxybutyrate | 49 |
| bioplastics/bioplástico | polylactic acid | 56 |
| Total de documentos verificados | Não aplicável | 167 |

Para o conjunto de 167 artigos retornados foi realizada a leitura do título e *abstract*, para a verificação da pertinência do documento com o tema da pesquisa. Após esta etapa, foram considerados para análise do texto os artigos que se encontravam alinhados ao tema.

O foco da prospecção tecnológica é encontrar, nos documentos analisados, tendências e similaridades a serem registradas e catalogadas, de forma sistemática. O conteúdo do documento é organizado, analisado de acordo com as taxonomias escolhidas e registrado, mediante as tendências observadas. As taxonomias são palavras que definem um determinado conjunto de dados a serem analisados, servindo de rótulo para este mesmo conjunto de dados. No presente artigo, por exemplo, foram definidas taxonomias como: Tipo de bioplástico, Estrutura/Método de produção, Aplicações, Empresa/ Origem, e os Principais registros mercadológicos, e tecnológicos. Para a catalogação dos resultados das análises realizadas nos documentos pesquisados foi utilizada uma planilha auxiliar criada no Microsoft® Excel® 2013. As classificações foram desenvolvidas mediante a alocação de dados, obtidos em cada documento,

nas células da planilha auxiliar. Os documentos são dispostos por linhas da planilha e as taxonomias escolhidas são dispostas no topo de cada coluna da planilha do Excel® 2013. Cada novo dado, encontrado nos documentos, é inserido na célula correspondente à taxonomia relativa ao documento em análise.

O ponto de partida para encontrar os artigos de mídias especializadas foram o *Bioplastic News - BN*, o *Bioplastic Magazine - BM*, o *European Bioplastic Association - EBA* e o *Institute for Bioplastics and Biocomposites – IFB*. Estes repositórios de informações oferecem um bom referencial para os principais produtores globais e os resultados da produção para cada tipo de bioplástico analisado. Foram analisados os artigos constantes das mídias citadas, considerando as palavras-chave: *'green plastics'*; *bio-PE*; *bio-PET*; *bio-PA*; *polyhydroxyalkanoates*; *polyhydroxybutyrate*; *polylactic acid*.

4. O mercado atual para os bioplásticos

Atualmente, os bioplásticos são utilizados em um número cada vez maior de aplicações, como em embalagens, produtos de restauração, eletroeletrônicos, automotivo, agricultura, horticultura, têxteis e brinquedos, além de uma série de outros segmentos (IFB, 2018). A Figura 1 a seguir apresenta uma comparação entre as informações publicadas pelo IFB – *Institute for bioplastics and biocomposites*, para os diversos tipos de bioplásticos com maior nível de produção. Foi comparada a produção informada para os anos base de 2014 e 2016.

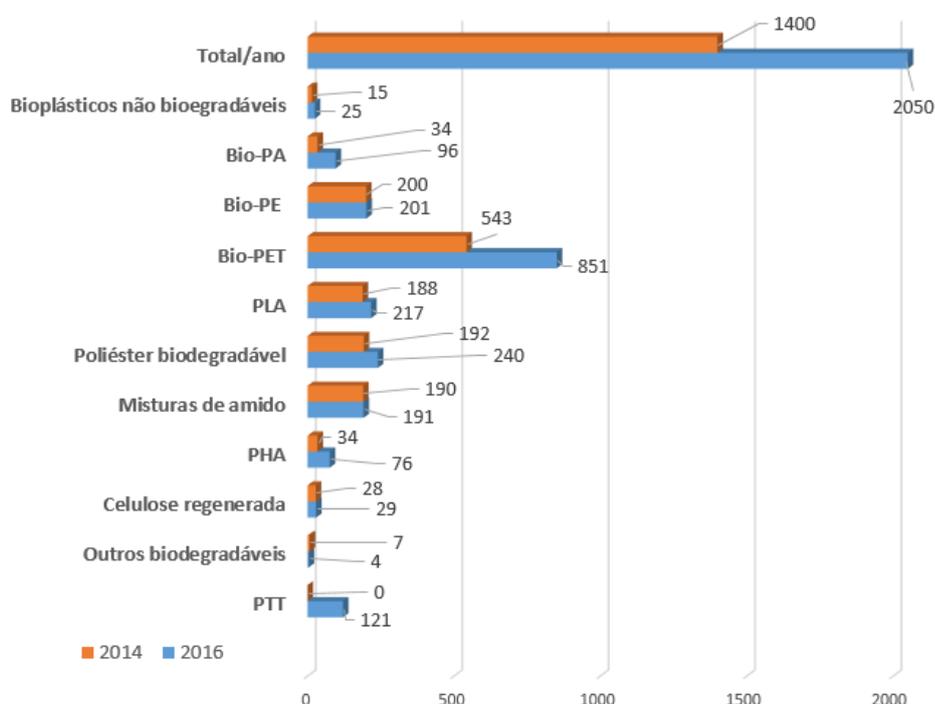


Figura 1: Capacidade da produção de bioplásticos, anos 2014 e 2016 (x 1000 toneladas)

A análise do gráfico constante da Figura 1 demonstra que a produção global de bioplásticos, na Europa, teve um aumento total de cerca de 46% entre 2014 e 2016. Os avanços mais significativos na produção foram Bio-PA, que triplicou a produção, e PHA que praticamente dobrou a sua produção. Os demais bioplásticos mantiveram a sua produção estável ou em ligeiro crescimento. Cabe destacar que o PLA, que é um dos bioplásticos, que tanto é de origem biológica quanto apresenta propriedades de biodegradação, teve crescimento significativo de 15% na produção entre os anos de referência de 2014 a 2016. A produção de bioplásticos no ano de 2022 poderá atingir cerca de 12% da produção total de plásticos convencionais (IFB, 2018). Essa perspectiva apresenta uma grande oportunidade para o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de bioplásticos. O resumo da pesquisa realizada sobre biopolímeros é apresentado na Tabela 2. Os resultados apontados serviram de direcionamento para a busca por bioplásticos.

Tabela 2: Relação de biopolímeros estudados.

| Polissacarídeos | | |
|---|--------------------------|-------------------------------------|
| Polissacarídeos (planta/alga) | Polissacarídeos (animal) | Polissacarídeos (bacterial) |
| Amido (amiloase, alopectina) | Ácido hialurônico | Quitina, quitosana (também fúngica) |
| Celulose | ---- | Levana |
| Pectina | ---- | |
| Glucomannan | Polissacarídeo (fúngico) | ---- |
| Alginato | Pululano | Policalagtosane |
| Carragena | Elsinana | Goma curdlana |
| Gomas | Escleroglucano | Gelana (Goma Gelana); dextrano |
| Proteínas | | |
| Soja, zeína, trigo, glúten, caseína, soro, albumina | — | Colágeno, gelatina |
| Sedas | ---- | Polilisina |
| Adesivos | Resilina | Ácido poli glutâmico |
| Elastina | Poli-amino ácidos | — |
| | Ácido aspártico | |
| Poliésteres | | |
| Polihidroxialcanoatos (PHA) | Ácido polilático (PLA) | Ácido polimaléico |
| Acetoglycerides | Ceras | Emulsano |
| Polímeros especiais | | |
| Lignina | Goma-laca | Borracha natural |

A Figura 2, a seguir, apresenta de forma gráfica as regiões de posicionamento dos biopolímeros, considerando critérios de origem renovável (*biobased*) e de melhoramento de desempenho ambiental (redução de gases do efeito estufa).

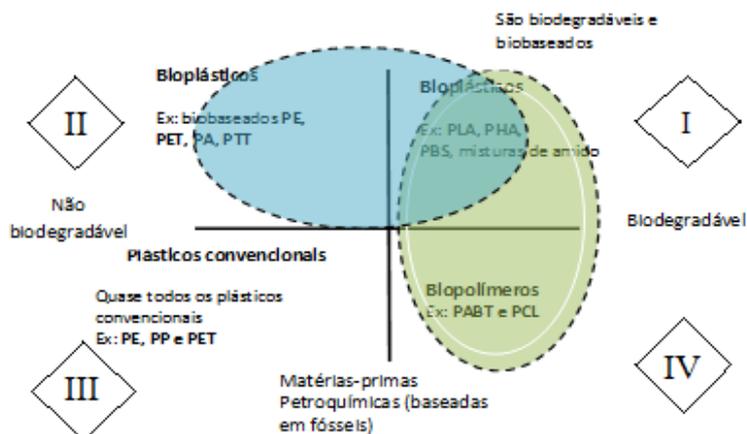


Figura 2: Classificação dos plásticos quanto à matéria prima e biodegradabilidade.

Na Figura 2, do lado esquerdo, estão os polímeros não biodegradáveis: no quadrante (III) estão representados os plásticos convencionais produzidos a partir de combustíveis fósseis, e.g. o polietileno – PE, polipropileno – PP, e o teraftalato de etileno – PET. Estes não são de origem biológica e nem são biodegradáveis. No quadrante (II) estão os bioplásticos produzidos a partir de matéria-prima renovável, mas que dão origem aos chamados biopolietilenos (bio PE), biopolipropilenos (bio PP) e biotereftalatos de etileno (bio PET), que são os bioplásticos *drop in*. (II). Estes apesar de origem biológica vão gerar os mesmos tipos de plásticos do quadrante (III).

Ainda na Figura 2, do lado direito, estão os polímeros biodegradáveis: no quadrante (IV) estão os polímeros produzidos a partir de combustíveis fósseis, mas que possuem a capacidade de serem biodegradáveis no ambiente e.g. polibutileno adipato tereftalato - PBAT e o Policaprolactona – PCL, por isto são chamados de biopolímeros. Por último no quadrante (I) estão os e.g. ácido polilático – PLA, o polihidroxicanoato – PHA e polibutilenosuccinato – PBS, que são produzidos a partir de produtos de origem biológica e concomitantemente possuem propriedades de biodegradação no ambiente.

5. Resultados

Os biopolímeros Ácido Polilático (PLA), Polihidroxicanoato (PHA) e o Polihidroxibutirato (PHB) são produzidos a partir de matéria-prima de origem biológica e ao mesmo tempo são biodegradáveis. Por esta razão foram escolhidos para análise. Os chamados plásticos “verdes” ou *drop in* também são abordados. Os bioplásticos são, normalmente, baseados em matérias-primas agrícolas, e podem ter a avaliação da biocomposição realizada conforme padrões, como por exemplo a Norma Internacional ASTM D 6866 (DOTAN, 2014), que estabelece procedimento para ensaio de caracterização utilizando o método de datação com o carbono 14.

Com base na Diretiva 94/62 da Comunidade Europeia - CE a norma EN 13432:2000 (BPS, 2018) foi harmonizada nos Estados Membros da Comunidade Europeia, para aplicação em Embalagens e Resíduos de Embalagem. A BS EN 13432 define as características que um material deve ter para ser reciclado através da recuperação orgânica (compostagem e digestão anaeróbica), os quatro aspectos que resumem os requisitos para a certificação são:

- i. Biodegradabilidade, ou seja, a capacidade do material de ser convertido em dióxido de carbono (CO₂) graças a ação de microorganismos de forma semelhante ao que acontece com o lixo natural.
- ii. Desintegração, isto é, fragmentação e perda de visibilidade no composto final.
- iii. Ausência de efeitos negativos no processo de compostagem.
- iv. Metais pesados quase ausentes e sem efeitos negativos na qualidade do composto (BPS, 2018).

5.1. Bioplásticos PHA e PLA

As Tabelas 3, 4 e 5, a seguir, apresentam de forma resumida, o resultado da pesquisa realizada para identificar as principais empresas atuantes no mercado de polímeros de origem biológica e biodegradáveis, bem como relaciona as tecnologias de produção mais relevantes. O bioplástico PHB, descrito na Tabela 4, é um dos componentes da extensa família dos PHA.

A Tabela 3 apresenta exemplos dos produtores com maior capacidade de produção ou de maior relevância de inovação no setor de bioplásticos na modalidade polilactatos.

Tabela 3: Exemplos de movimentos e características dos polilactos (PLA).

| Tipos de bioplástico | Estrutura/ Método de produção | Aplicações | Empresa/ Origem | Principais eventos mercadológicos e tecnológicos |
|----------------------|---|--|---|--|
| PLA | Ácido láctico produzido por fermentação seguido de polimerização. Possui duas rotas de produção: Policondensação de ácidos lácticos e por polimerização por abertura de anel (ROP). | Embalagens: Alimentos, óleos e produtos gordurosos. Fibras e tecidos: Uso em interiores de automóveis, tapetes, carpetes e tecidos para roupa. | <i>Nature Works</i> (criada em 1989 pela <i>Cargil</i>) | 1997: joint venture (Dow e <i>Cargil</i>); 2005: saída da Dow; 2007: entrada da Teijin; 2011: entrada da <i>PTT Chemicals</i> da Tailândia. |
| | | | Purac (maior produtora mundial de ácido láctico). | Parcerias com empresas transformadoras para produção do PLA como a <i>Synbra</i> . |
| | | | Futero Galactic, produtora de ácido láctico e pertencente à <i>Ficnasure</i> , importante produtor de açúcar na Europa. | 2007: <i>Joint Venture Galactic e Total</i> (petroquímica). |

A Tabela 4 apresenta exemplos dos produtores com maior capacidade de produção ou de relevância de inovação no setor de bioplásticos na modalidade polihidroxibutirato (PHB).

Tabela 4: Exemplos de movimentos e características dos polihidroxibutirato (PHB).

| Tipo de bioplástico | Estrutura/ Método de produção | Aplicações | Empresa/ Origem | Principais eventos mercadológicos e tecnológicos |
|----------------------------|--------------------------------------|---|------------------------|---|
| PHB | Fermentação da cana de açúcar | Invólucros de eletroeletrônicos e componentes internos de automóveis. | <i>Biocycle</i> | <p>Lançamento de quatro variações comerciais de bioplástico PHB, com a divulgação de <i>datasheets</i> com as principais propriedades contendo inovações tecnológicas em propriedades mecânicas e térmicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Biocycle</i> 100, aplicações: Injeção, extrusão e poliuretanas; – <i>Biocycle</i> 189C1, aplicações: Injeção, extrusão e chapas; – <i>Biocycle</i> 18BC-1, aplicações: Injeção, extrusão e termofomagem; – <i>Biocycle</i> 189D-1, aplicações: Injeção. |

A Tabela 5 apresenta exemplos dos produtores com maior capacidade de produção ou de relevância de inovação no setor de bioplásticos na modalidade polihidroxialcanoato (PHA).

Tabela 5: Exemplos de movimentos e características dos polihidroxialcanoato (PHA).

| Tipo de bioplástico | Estrutura/Método de produção | Aplicações | Empresa/ Origem | Principais eventos mercadológicos e tecnológicos |
|----------------------------|---|----------------------------|------------------------|---|
| PHA | Fermentação utilizando matérias-primas à base de carbono renováveis | Filmes e sacolas plásticas | <i>Metabolix</i> | Formação em 2015 da <i>Yield10 Bioscience</i> pela <i>Metabolix, Inc.</i> Este evento visa o desenvolvimento de tecnologias disruptivas de manipulação genética de grãos como milho, canola e soja. |

5.2. Bioplásticos “verdes” ou *drop in*

Os materiais “*drop in*” são os produtos que apresentam propriedades técnicas idênticas ou bem próximas aos materiais de origem fóssil e são sintetizados a partir de matéria-prima renovável, sendo não biodegradáveis (BOMTEMPO, 2013).

O principal *player* a nível mundial produtor de bioplásticos *drop in* é a empresa brasileira Braskem com o biopolietileno (*I'am green*) (TULLO, 2010; BRASKEM, 2017). Os chamados plásticos verdes produzidos pela Braskem são elaborados a partir de eteno verde derivado do etanol de cana-de-açúcar, monômero utilizado para a produção do polietileno verde- PE. A produção anual de polietileno verde desta empresa é de cerca de 200 mil toneladas, com um investimento de US\$ 290 milhões de dólares na planta de eteno verde. Na mesma rota de produção, utilizando o eteno verde, a empresa produz o polipropileno verde (PP – verde). Na mesma direção, já existem iniciativas de produção, pela Braskem, de “PET verde” e do “PVC verde”. Outros produtores atuam no segmento de “plásticos verdes”, porém com menor participação.

6. Discussão e comentários

As empresas citadas, como produtoras de polímeros de origem biológica e biodegradáveis, como as Futerro, Nature Works e Purac, já possuem produção em escala comercial e produzem o PLA para aplicação em embalagens para alimentos, óleos e produtos gordurosos, também produzem fibras, para utilização em interiores de automóveis, tapetes, carpetes e tecidos para roupa.

A Biocycle produtora de PHB ainda está na fase de pesquisas na avaliação das aplicações e inovações tecnológicas para a produção de bioplásticos a partir de investimento em biotecnologia e utiliza rota de síntese com base na fermentação da cana-de-açúcar. Apesar deste fato, a Biocycle já apresenta seus primeiros resultados por meio da divulgação das *datasheets*, que contém a caracterização de propriedades mecânicas e propriedades térmicas de quatro novos lançamentos de bioplásticos. Foram divulgados resultados de caracterização dos bioprodutos *Biocycle 100*, *Biocycle 189C1*, *Biocycle 18BC-1* e *Biocycle 189D-1*, que são variações do PHB, com características mecânicas e térmicas modificadas para melhoria de desempenho em comparação com os plásticos convencionais.

A empresa Metabolix produz PHA a partir da ação de microrganismos que atuam na fermentação de matérias-primas renováveis, e, é uma dos mais importantes do segmento, possuindo inovações importantes na busca de melhorias genéticas com a criação, em 2015, da Yield10 Bioscience.

A principal vantagem dos bioplásticos, PLA, PHA e PHB, em relação aos chamados bioplásticos “*drop in*” é que estes são biodegradáveis no meio ambiente, quando em condições próprias de umidade, temperatura e pH. Com relação aos bioplásticos verdes “*drop in*” uma das vantagens apontadas, para a inserção desses bioprodutos no mercado, é que estes utilizam os mesmos ativos da produção do eteno convencional de origem fóssil. Isto pode trazer redução de custos na mudança de tecnologia. Além dessa vantagem econômica, estes plásticos “verdes” realizam o “sequestro” de carbono na sua fase inicial do ciclo de vida, por meio da fotossíntese realizada pelo vegetal que originou a biomassa. Esta captura de carbono, pelo vegetal, contribui para a redução da “pegada ecológica”, atuando como um fator de vantagem ambiental.

7. Conclusão

A participação de bioplásticos na indústria de plásticos ainda acontece em pequena escala, contribuindo com cerca de 2 a 3% do total mundialmente produzido, por meio de poucos participantes, mas com tendência de crescimento. Em 2016 a produção global teve um desenvolvimento de cerca de 46%, em relação ao ano de 2014. O estudo permitiu identificar diversos *players* do setor de bioplásticos, que atuam em pesquisa & desenvolvimento de polímeros de origem biológica e biodegradáveis, como os bioprodutos Ácido Polilático (PLA), Polihidroxialcanoato (PHA), e o Polihidroxibutirato (PHB).

Com relação aos biopolímeros “*drop in*” a prospecção identificou diversos bioprodutos, como Polietileno (Verde) – PE, Poli (Tereftalato de Etileno) – PET (Verde) e o polipropileno PP (verde) que são produzidos a partir de eteno que tem como origem vegetais, e.g. cana-de-açúcar.

Outro fator de impulso para o setor de bioplásticos é a possibilidade de certificação de bioprodutos, pela adoção de Normas, como por exemplo, a ASTM D 6866, para avaliação de conteúdo biológico e a EN 13432 para determinação de critérios de decomposição ambiental. A adoção de certificações com base nesses documentos de referência pode aumentar a parcela desses bioprodutos na indústria de plásticos, uma vez que a busca de certificações de cunho ambiental se constitui em um forte direcionador de mercado.

8. Referências

ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM D 6866. 2002. *Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Samples Using Radiocarbon Analysis Gaseous*. <http://users.ugent.be/~jdewulf/Rodrigo%20Alvarenga/Dotan%202009.pdf>.

BERTOLINI, A.C. 2007. *Biopolymers Technology*. 1ª Edição. Ed. Cultura Acadêmica, São Paulo, SP.

BIOCYCLE, A PHB Industrial S.A. 2018. *Proprietária da marca A PHB Industrial S/A*. Disponível em: <http://www.biocycle.com.br/site.htm>. Acesso em: 09/05/2018.

BIOPLASTIC MAGAZINE. 2018. *Online Archive*. Polymedia Publisher GmbH <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/index.php>. Acesso em: 15/09/2018.

BOMTEMPO, J. V. 2013. *Os dilemas dos produtos na bioeconomia*. Jornal CGN. <https://jornalggn.com.br/blog/ronaldo-bicalho/os-dilemas-dos-produtos-na-bioeconomia>.

BORSCHIVER, S., OROSKI, F. A., MOTA, K. DELOU, P. 2013. *Roadmapping Tecnológico: Sisal. Etapa 3: Construção do roadmap e relatório final*. NEITEC – UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. <https://neitec.com/publicacoes/>

BPS - British Plastics Federation. 2000. EN 13432 – *Waste directive for packaging and compostability standards*. <http://www.bpf.co.uk/topics/>. Acesso em: 15/09/2018.

BRASKEM. 2017. *2017 annual report. Global Reporting Initiative*. <https://www.braskem.com.br/relatorioanual2017>. Acesso em 10/07/2018.

CARDOSO, F., BOMTEMPO, J. V., BORSCHIVER, S. 2017. *Elaboração de Roadmap Tecnológico para a produção de biogás a partir de vinhaça*. Caderno Prospecção, Salvador. 10(3), 495-509. <https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/22929/22929>

DOTAN, A. 2014. *Bioplastics Durable Renewable Sources Polymers*. Disponível em: <http://users.ugent.be/~jdewulf/Rodrigo%20Alvarenga/Dotan%202009.pdf>. Acesso em: 10/07/2018.

EBA – BIOPLASTIC EUROPEAN ASSOCIATION. 2018. Disponível em: <http://en.european-bioplastics.org>. Acesso em: 15/09/2018.

ESC - European Standardization Committee. UN EN 13432. 2000. *Packaging: requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation*. <http://users.ugent.be/~jdewulf/Rodrigo%20Alvarenga/Dotan%202009.pdf>.

IFB - Institute for bioplastics and biocomposites. 2018. *Production capacities and land use Old and New Economy bioplastics*. Disponível em: <https://www.ifbb-hannover.de/de/facts-and-statistics.html>. Acesso em: 20/09/2018

IPCC - Intergovernmental Panel in Change Climate. 2007. *Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. (Metz, B. al., eds) Cambridge University Press.

KAPLAN, D. L. 1998. *Biopolymers from Renewable Resources*. New York, Ed. Springer.

METABOLIX. 2017. *Present PLA Performance Improvements Using PHA Performance Modifiers At 3rd Annual PLA World Congress*. Disponível em: <http://www.metabolix.com/>.

MUHAMMAD, A., TUGRUL, U., DAIM, A. 2010. *Application of technology roadmaps for renewable energy sector. Technological Forecasting & Social Change*. 77(8), 1355-1370, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162510001071>

NEWS.BIO. 2016. *Metabolix Evaluating Strategic Alternatives for its Specialty PHA Biopolymers Business and Yield10 Bioscience Program*. <http://news.bio-based.eu/supplier/metabolix/>. Acesso em: 15/09/2018.

OROSKI, F. A. 2013. *Modelos de Negócio e Transição de Sistemas Tecnológicos: o caso dos bioplásticos*. Tese de Doutorado, Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. <http://objdig.ufrj.br/61/teses/792431.pdf>

- PAVLATH, A. E., ROBERTSON, G. H. 1999. *Biodegradable polymers vs. recycling: what are possibilities?* Crit. Rev. Anal. Chem. v.29, n.3, p.331-41.
- PHAAL, R., ROUTLEY, M., ATHANASSOPOULOU, N., PROBERT, D. 2012. *Charting exploitation strategies for emerging technology*. Research-Technology Management, 55(2), 34-42.
- PHILIP, J. C. 2013. *OECD Policies for bioplastics in the context of a bioeconomy*. Ind Biotechnol 19-21.
- POSEN, D., JARAMILLO, P., LANDIS, A. E., GRIFFIN, W. M. 2017. *Greenhouse gas mitigation for US plastics production: energy first, feedstocks later*. Environmental Research Letters. V. 12, N.3, 034024 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa60a7>
- RICHARD C. T., CHARLES J. M., VOM SAAL, F. S., SWAN, S. H. 2009. *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends*. B 2009 364 2153-2166; DOI: 10.1098/rstb.2009.0053.
- SLATER, S., GLASSNER, D.; VINK, E.; GERNGROSS, T. 2003. *Evaluating the Environmental Impact of Biopolymers*. In: STEIBUCHEL, A.(ed.) Biopolymers. Wiley: VCH Press.
- TOKIWA, Y., CALÁBIA, B. P, UGWU, C. U. e AIBA, S. 2009. *Biodegradability of plastics*. International Journal Molecular Science, 10 (9), 3722–3742. <http://doi.org/10.3390/ijms10093722>.
- TULLO A. 2010. *Braskem to make propylene from ethanol*. The Chemical Notebook, <http://cenblog.org/the-chemical-notebook/2010/10/braskem-to-make-propylene-from-ethanol/>
- VOLOVA, T.G., GLADYSHEV, M. I., TRUSOVA, M. Y., ZHILA, N. O. KARTUSHINSHAYA, M. V. 2004. *Degradation of Bioplastics in Natural Environment*. Vol. 397, 2004, p. 330-332, Nauka/Interperiodica, Russian.