

Artigo

Prospecção e Proposição de *Roadmap* Tecnológico Para a Produção de Polietileno Verde

Silva, F. P.;* Silva, D.P.S.; Espíndola, G. L.; Dionízio, T. P.; Silva, B. J. B.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (4), 827-839. Data de publicação na Web: 12 de Junho de 2020

<http://rvq.s bq.org.br>

Prospecting and Proposing a Technological Roadmap for the Production of Green Polyethylene

Abstract: Over the last decades, plastic production has increased exponentially, with estimated production to reach 33 billion tons in 2050. Simultaneously, only 9% of this material is recycled, generating a huge amount of waste and causing environmental pollution. Among these, polyethylene (PE) is one of the most important existing polymers due to the wide range of applications, being obtained mainly from a non-renewable source, such as petrochemical naphtha. However, a socio-economic awareness towards sustainable development has given rise to the green PE, a bioplastic with physicochemical characteristics similar to those of fossil origin, but derived from renewable raw materials (MPs), such as sugarcane ethanol, and already commercially produced in Brazil by Braskem. Therefore, the present work provides an overview and assesses technological aspects of the bioplastics industry, emphasizing green PE. It was observed that there is a perspective that several works are moving towards the development of new routes to obtain the PE, as well as scientific relevance and commercial interest in this product. In addition, difficulties were noted due to the costs of implementing a plant in operation, and in the use of new MPs for its production, although in the short term, partnerships are still the best choice as well as investment in research and development.

Keywords: Bioplastics; production; green polyethylene; market; challenges.

Resumo

Nas últimas décadas, a produção de plásticos aumentou de forma exponencial, estima-se que a produção deste material chegue a 33 bilhões de toneladas até 2050. Entretanto, apenas 9 % é reciclado, gerando uma enorme quantidade de resíduos e causando poluição ambiental. Dentre estes, o polietileno (PE) é um dos mais importantes polímeros existentes devido à sua variada gama de aplicações, sendo obtido principalmente a partir de uma fonte não renovável, como a nafta petroquímica. Contudo, uma conscientização socioeconômica em relação ao desenvolvimento sustentável, fez surgir o PE verde. Um bioplástico com características físico-químicas semelhantes ao de origem fóssil, mas oriundo de matérias-primas renováveis (MPs), como o etanol de cana de açúcar, e já produzido comercialmente no Brasil pela *Braskem*. Posto isto, o presente trabalho traz um panorama geral e avalia aspectos tecnológicos da indústria de bioplásticos, dando ênfase ao PE verde. Observou-se que existe uma perspectiva de que diversos trabalhos estejam se encaminhando para o desenvolvimento de novas rotas de obtenção do PE, bem como uma relevância científica e interesse comercial no mesmo. Além disso, notam-se dificuldades devido aos custos da implementação de uma planta em operação, e na utilização de novas MPs para sua produção, embora que, em curto prazo, fazer parcerias ainda é a melhor escolha, bem como investimento em pesquisa e desenvolvimento.

Palavras-chave: Bioplásticos; produção; polietileno verde; mercado; desafios.

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Escola de Química, Campus Cidade Universitária, CEP 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

 silva_fp@eq.ufrj.br
DOI: [10.21577/1984-6835.20200066](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200066)

Prospecção e Proposição de *Roadmap* Tecnológico Para a Produção de Polietileno Verde

Felipe Pereira da Silva,^{a,*} Diogo Pimentel de Sá da Silva,^b Gabriel Lopes Espíndola,^a Thaís Petizero Dionízio,^c Bruno José Barros da Silva^b

^a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Escola de Química, Campus Cidade Universitária, CEP 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

^b Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Campus Maceió, CEP 57072-900, Maceió-AL, Brasil.

^c Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Instituto de Química, Campus Cidade Universitária, CEP 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

*silva_fp@eq.ufrj.br

Recebido em 7 de Fevereiro de 2020. Aceito para publicação em 29 de Abril de 2020.

1. Introdução
2. Metodologia
3. Panorama Geral da Indústria “Verde”
4. Descrição do Setor e do seu Desenvolvimento
 - 4.1. Breve histórico
 - 4.2. Previsão de mercado
 - 4.3. Análise SWOT
 - 4.4. Forças de Porter
5. Desafios Atuais e Soluções Gerenciais e Tecnológicas para os Desafios Encontrados
6. Apresentação do *Roadmap* Tecnológico Simplificado
7. Considerações Finais

1. Introdução

Desde a sua invenção em 1907, pelo químico belga, Leo Baekeland, os plásticos foram inseridos em nosso cotidiano, tornando-se cada vez mais essenciais na vida moderna, devido a crescente e contínua demanda.¹ Estima-se que a produção mundial de plásticos alcançou 348 milhões de toneladas em 2017,² sendo que aproximadamente 7 % do que é produzido de petróleo mundialmente é destinado à sua

fabricação, gerando grande número de resíduos desse material que se acumula pelos aterros e causa problemas ambientais consideráveis.³

Como alternativa aos plásticos provenientes do petróleo, encontram-se os bioplásticos que, certificados pela norma europeia EN13432, são definidos como qualquer polímero produzido por organismo vivo (proteína, ácido nucleico, polissacarídeo).⁴ Já os biomateriais são materiais bioativos que têm a capacidade de interagir com tecidos naturais, podendo ser naturais ou sintéticos. A matéria-prima principal para a sua

manufatura é uma fonte de carbono renovável, geralmente um carboidrato derivado de plantas comerciais de larga escala como cana-de-açúcar, milho, batata, trigo e beterraba.⁴

O polietileno (PE) é um dos plásticos mais importantes da classe dos polímeros, especialmente entre os termoplásticos, aqueles que se deformam com o calor. É obtido a partir da polimerização do etileno (Figura 1) que, dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, podem ser obtidos cinco tipos diferentes de produtos, como o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), o Linear de Baixa Densidade (PELBD), o de Ultra Baixa Densidade (PEUBD), o de Alta Densidade (PEAD) e o de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM).⁵⁻⁶

O processo convencional para a produção do etileno, monômero que será levado a PE, utiliza principalmente a nafta como matéria-prima, por meio do craqueamento a vapor.⁷⁻⁸ Além dele, processos como metanol para olefinas (do inglês, MTO), dimetiléter para olefinas (do inglês, DMTO) e a biossíntese em plantas, levam, respectivamente, o metanol, o dimetiléter ou a metionina a etileno, sendo este último decorrente de atividade enzimática.⁸

A desidratação catalítica do etanol utilizando catalisadores à base de alumina ou zeólita ZMS-5 também são possíveis.⁷⁻⁸ Em 2010, a *Braskem* iniciou a operação da primeira planta, localizada na cidade de Triunfo-RS, para sintetizar o PE verde, produzido a partir do etanol da cana-de-açúcar, com o manufaturamento do PEBD, PELBD e PEAD.⁹⁻¹⁰

O PE verde é um bioplástico idêntico ao de base fóssil em estrutura e propriedades técnicas,¹¹ sendo obtido a partir de matéria-prima renovável, dentre estas, se encontra a cana-de-açúcar, a qual possui seu cultivo praticamente em todo território nacional, e fornece um caldo de alto teor de sacarose, do qual se obtém o melaço que, após fermentação gera o etanol.⁹ Em reatores adiabáticos de leito fixo, utilizando alumina como catalisador, obtêm-se o etileno através da desidratação do etanol.^{9, 12} A polimerização, então, ocorre de forma similar ao

PE proveniente da nafta. Desta forma, por possuir a mesma versatilidade de aplicações do plástico convencional, existe a tendência da substituição do mesmo pelo PE verde, principalmente devido ao menor gasto de energia para sua produção e a alta captura de CO₂ a cada kg produzido de eteno, gerando um menor impacto ambiental.^{12-13, 51}

Ante o exposto, o presente trabalho traz um panorama geral e avalia aspectos tecnológicos da indústria de PE verde, dando ênfase ao que usa cana-de-açúcar como matéria-prima devido a sua importância no mercado atual. Para isso, utilizou-se de uma prospecção tecnológica a fim de analisar as pesquisas referentes ao polietileno, polietileno verde, bioplásticos, polímeros verdes quanto às patentes publicadas e artigos científicos. Além disso, descreve o cenário atual do setor da cadeia de plásticos e seu desenvolvimento, verificando possível competitividade do PE verde frente ao convencional. Por fim, lista os desafios atuais, soluções gerenciais e tecnológicas, através da proposição de um *roadmap* tecnológico simplificado para este importante ramo da indústria nacional.

2. Metodologia

A prospecção tecnológica foi realizada em 5 (cinco) bases de dados no mês de janeiro do ano corrente (2019), e a análise de todos os documentos recuperados foram realizadas quanto à pertinência do assunto ao presente estudo. As bases escolhidas foram o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), focando nos documentos depositados em território brasileiro; Espacenet, para retorno de documentos depositados na Europa; *United States Patent Trademark Office* (USPTO), para verificar os depositados nos Estados Unidos; *World Intellectual Property Organization* (WIPO) e *Derwent World Patents Index* (DWPI), para documentos depositados internacionalmente. As palavras-chave escolhidas foram Polietileno, Polietileno Verde, bioplástico e Polímero verde.



Figura 1. Reação de produção de polietileno a partir da polimerização do etileno

Para bases de dados em inglês utilizou-se *Polyethylene, Green Polyethylene, bioplastic or bio-based polymers* e *green Polymer*. Assim, foram registradas o número de patentes por ano e país. Além disso, foi utilizada a base de dados de artigos científicos disponibilizada no portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), focando em artigos revisados por pares, a fim de se avaliar o número de estudos que estão sendo desenvolvidos e publicados sobre o polietileno verde. As palavras chaves escolhidas para realizar a busca foram as mesmas utilizadas na prospecção de patentes.

Em seguida, baseado na literatura pesquisada, foi realizada uma descrição e desenvolvimento da indústria do PE verde, exibindo um breve histórico, previsão de mercado, análise SWOT e forças de Porter, tal como, abordando desafios atuais e possíveis soluções através da proposição de *roadmap* tecnológico simplificado para esta indústria.

3. Panorama Geral da Indústria “Verde”

A Tabela 1 apresenta o número de patentes depositadas no Brasil de acordo com o INPI. Foi verificada a existência de patentes depositadas relacionadas à tecnologia de produção de bioplásticos (PI1103929-9 e PI 1103931-0 – depositante: *Rhein Chemie Rheinau GmbH*, Alemanha, e PI1012778-0 – depositante: *Wacker Chemie AG* – Alemanha e *Meneba B.V.* – Holanda) e polímeros verdes (PI9602795-9 – depositante: *Arco Chemical Technology, L.P.* - EUA), sendo todas depositadas junto ao INPI por organizações europeias e americana. Porém, nenhuma patente concerne à produção de PE verde, o que indica pouca (ou nenhuma) atividade de instituições públicas e privadas no que diz respeito ao registro deste material no Brasil. Nesse contexto, fica evidente

a oportunidade que pesquisadores e empresas têm em explorar esse espaço de mercado desenvolvendo processos a serem patenteados.

A Tabela 2 apresenta o número de patentes depositadas nas diferentes regiões de acordo com o Espacenet, USPTO, WIPO e Derwent. Seguindo a análise das tecnologias apresentadas nas patentes recuperadas através das bases de dados internacionais, foi constatado que apenas 16 patentes se relacionavam com o tema aqui discutido. A consulta realizada na base europeia forneceu oito documentos relevantes a este trabalho, destacando-se a patente espanhola ES2277563, a qual descreve uma metodologia de produção de nanocompósitos, baseada em matéria prima de origem vegetal como agente estrutural. Os autores concluíram que estes materiais apresentaram elevada maleabilidade em comparação a outros plásticos sintéticos.¹⁴

A busca realizada no USPTO, levando em consideração processos relevantes à produção de polímeros verdes, retornou duas patentes de interesse. Ressalta-se a patente US2013344550, onde os inventores desenvolveram um método de produção de bioplásticos a partir de algas, utilizando uma bactéria específica produtora de bioplástico.¹⁵

A pesquisa no WIPO forneceu 16 resultados relevantes à produção de bioplásticos e polímeros verdes. Duas destas podendo ser salientadas devido aos processos ímpares, sendo a patente CN107987364, a qual descreve uma metodologia de baixo custo na produção de bioplásticos a partir de amido, o qual é altamente insolúvel em água, além de apresentar propriedades físico-mecânicas análogas ao polietileno sintético, e outra com metodologia diferente, a patente CA3024626 divulga a produção de fibras e bioplásticos a partir da celulose derivada de estrume animal.¹⁶⁻¹⁷ Por fim, os documentos provenientes da base de dados DERWENT, em sua maioria, fazem referência a um mesmo processo depositado em

Tabela 1. Palavras-chave utilizadas durante a busca no INPI

Palavras chave	Número de patentes depositadas no Brasil
Polietileno	120
Polietileno Verde	0
Polímero Verde	1
Bioplástico	3
Bioplástico e Polietileno	0

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 2. Palavras chave utilizadas durante a busca no Espacenet, WIPO, DERWENT e USPTO

Palavras-chave	Número de patentes depositadas			
	Espacenet	USPTO (EUA)	WIPO (Internacional)	DERWENT (Internacional)
<i>Polyethylene</i>	>10.000	1.920	7.107	4.572
<i>Green Polyethylene</i>	8	0	0	8
<i>Green Polymer</i>	62	2	16	12
<i>Bioplastic or bio-based polymers</i>	158	28	98	132
<i>Bioplastic and Polyethylene Green</i>	0	0	0	0

Fonte: Aatoria própria (2019)

distintos países. Tratando da utilização do amido para a produção de bioplásticos e polímeros verdes como o polipropileno.

A Figura 2 apresenta o número de patentes com citação ou relação direta ao polietileno verde, consideradas importantes para discussão deste trabalho e seus respectivos períodos de publicação. É observada uma tendência progressiva, indicando uma crescente atividade no registro de patentes sobre o desenvolvimento e/ou aplicação do material, o que mostra sua relevância no mercado atual.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos da pesquisa de artigos científicos (de revistas revisadas por pares) realizada na base de dados disponibilizada digitalmente pela CAPES. A primeira publicação referente ao PE verde é relatada por *Kyritsis e Mavrogianopoulos*, em 1993, os quais descrevem a reciclagem do polietileno de baixa densidade, sendo este utilizado como

agregado na construção civil, tratado na ocasião como “matriz verde”.¹⁸ Dos artigos relacionados ao PE verde, a maior parte refere-se a técnicas de aplicação e/ou modificação do polímero, sem mudanças significativas nos processos. A grande maioria utiliza fibras de origem vegetal para o reforço de polímeros, com o intuito da melhoria das propriedades físico-mecânicas.¹⁹⁻²¹ Além disso, 21 artigos mencionam o termo “polietileno verde” no título, destacando-se o trabalho de *Barczewski et al.* (2018), no qual discriminam a utilização de casca de girassol como material de preenchimento na produção de polietileno de alta densidade, onde estes, verificaram maior resistência mecânica destes compostos em comparação ao material não modificado.²²

Através da Figura 3, observa-se a quantidade de artigos científicos publicados no período de 1993 a 2018, os quais descrevem no conteúdo ou fazem menção direta ao polietileno verde

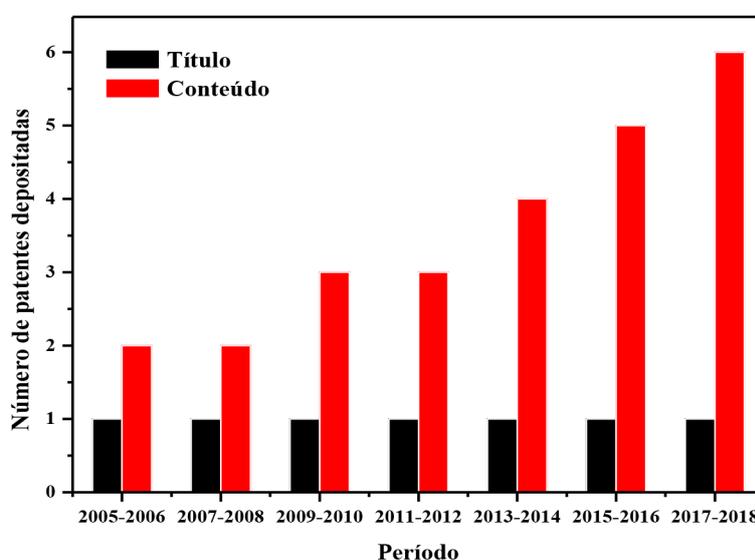


Figura 2. Número de patentes depositadas por biênio no período de 2005 – 2018, com citação ou relação direta ao polietileno verde

Tabela 3. Quantidade de artigos relacionados à produção de polímeros verdes e bioplásticos, entre os anos de 1993 – 2018

Palavras chave	Número de artigos científicos	Observações
Pesquisa no conteúdo: Polyethylene and production	1.158	Artigos que fazem referência (sem detalhar) ao material.
Pesquisa no conteúdo: Green and Polyethylene and production	83	Artigos que fazem citação ao material.
Pesquisa no conteúdo: Green Polymer or Bioplastic or bio-based polymers	1.020	Artigos que fazem citação ou estudaram o material.
Pesquisa no título: Green and Polyethylene e pesquisa no conteúdo: Green and Polymer or production	21	Artigos que estudaram novas metodologias na obtenção do polietileno verde.

Fonte: Autoria própria (2019)

no título. Nota-se que a partir do quadriênio de 2005 a 2008, há um forte incremento do número de artigos publicados, em relação aos períodos anteriores e, essa perspectiva se mantém de forma contínua até os dias atuais. Tais resultados sugerem que a nova concepção ambiental da comunidade internacional, que busca ponderar o crescimento econômico com a preservação do meio ambiente, fez com que surgisse o interesse do meio científico no desenvolvimento de estudos relacionados a essa problemática.

Correlacionando o número de patentes depositadas e de artigos publicados, ambas as perspectivas apresentam baixa ou nenhuma produção no desenvolvimento de novas rotas de síntese do polietileno verde, porém mostram a tendência de que diversos trabalhos estejam se encaminhando para isso. Nota-se ainda que, tanto a

pesquisa acadêmica como o registro de patentes, em relação à aplicação e síntese do material, se encontra atualmente ativos, sugerindo a relevância científica e o interesse comercial do polietileno verde.

4. Descrição do Setor e do seu Desenvolvimento

4.1. Breve histórico

O primeiro relato sobre o processo de desidratação catalítica de etanol para eteno é descrito em 1797, porém, a primeira instalação industrial a produzir eteno a partir de etanol foi posta em operação pela indústria química alemã *Elektrochemische Werke GmbH* em 1913,

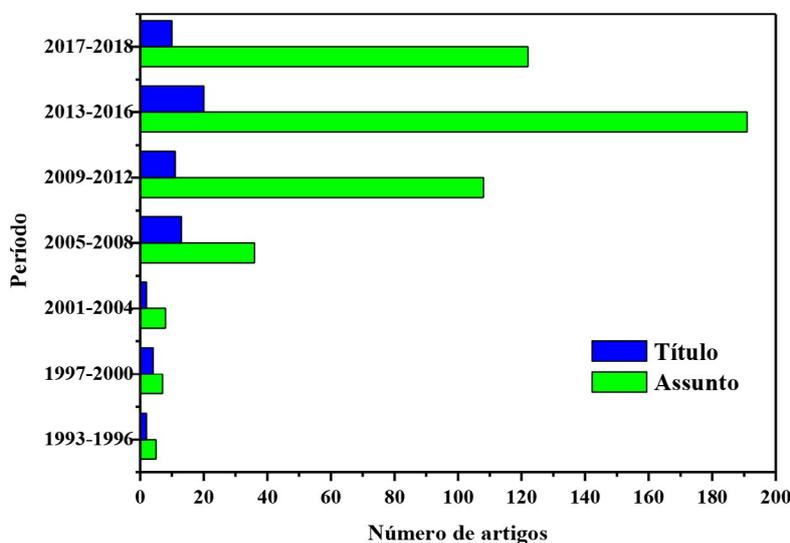


Figura 3. Quantidade de artigos científicos publicados no período de 1993 a 2018, com referência ou relação direta com o polietileno verde

tendo sido feito o patenteamento do processo de polimerização do polietileno, a partir do monômero de etileno em 1936.²³

Até a década de 1950 na Inglaterra, o processo de produção do polietileno se dava a partir da utilização do ácido fosfórico, composto altamente corrosivo.⁹⁻¹⁰ Em seguida, com o desenvolvimento da indústria petroquímica, o eteno e outros produtos passaram a ser produzidos a partir do craqueamento do petróleo.⁹⁻¹⁰ Por volta da década de 1980, as indústrias *Halcon/Scientific Design*, *ICI*, *ABB Lummus*, *Petrobras*, *Solvay* e *Union Carbide* construíram plantas de eteno à base de etanol na Índia, Paquistão, Peru, Austrália e no Brasil, em sua maioria sendo desativadas em meados da década de 1990, como resultado da depreciação dos preços do petróleo.⁹

Ao final do ano 2000, a pressão socioambiental por produtos sustentáveis e a alta nos preços do petróleo, forçou a indústria da cadeia de plásticos a desenvolverem novas tecnologias em substituição ao petróleo como matéria-prima.^{10, 23} O avanço tecnológico do país em relação à produção de etanol é um dos fatores que possibilitou a diversificação de aplicações.²⁴

Assim, a fim de aprimorar a tecnologia para a produção do PE verde, em 2007 a *Braskem* inicia seus estudos em escala piloto mas, apenas em 2010, começa a produção a nível industrial.²⁵ Além dela, a petroquímica norte-americana *Dow* anunciou um projeto de produção de PE verde no mesmo período, para uma planta de 350.000 toneladas/ano de polietileno com expectativa inicial de partida em 2011, sendo posteriormente cancelado devido a atrasos de sua execução.^{10,13,23}

4.2. Previsão de mercado

A demanda por bioplásticos torna-se cada vez mais expressiva, tendo sentido uma duplicação de sua demanda a cada biênio, entre os anos de 1995 a 2002.²⁶ O PE verde surgiu como uma solução para a crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável e a contenção da emissão de CO₂ na atmosfera.^{12, 27, 28-29} E, embora possua as mesmas características do PE convencional, o verde apresenta uma dinâmica de mercado muito diferente, pois o polímero de origem fóssil apresenta a vantagem econômica de possuir uma tecnologia mais bem difundida, ocasionando menores custos de produção.^{12, 27} O consumo de PE verde ainda é segmentado a

empresas com engajamento nas questões de sustentabilidade, enquanto que o PE de origem fóssil se apresenta como uma *commodity* (material de grande consumo global e vasta quantidade de produtores e produtos).³⁰ Além disso, a produção do PE verde ainda se torna onerosa, devido a sua tecnologia de produção ser consideravelmente recente, enquanto que as resinas convencionais não têm esse fator e já possuem plantas instaladas em total operação, com custo bem menor.

Em todo caso, há uma expectativa de que os custos de produção dos biopolímeros sejam reduzidos de 20 a 25 % nos próximos cinco anos, enquanto que o preço dos polímeros provenientes do petróleo aumente, seguindo a tendência do aumento da demanda mundial, e conseqüentemente o aumento do preço do petróleo.³¹

O eteno é, de longe, o maior produto químico a granel usado para a produção de metade dos plásticos, tendo produção global atual de cerca de 150 milhões de toneladas por ano.³¹ No caso do bioetileno, o bioetanol responde por quase 90 % dos custos de produção, tendo dependência forte da região produtora e da fonte de matéria-prima para a determinação destes custos totais, uma vez que algumas exibem competição com a indústria alimentícia.^{8, 33} Além disso, estima-se que o tamanho do mercado global de PE verde aumentará para 1980 milhões de dólares em 2025 (cerca de 8300 milhões de reais atuais),³⁴ de 490 milhões de dólares em 2018 (cerca de 2050 milhões de reais atuais),³⁴ a um Taxa de Crescimento Anual Composta (do inglês, CAGR) de 19 % durante o período de previsão.²⁹

No Brasil, a disponibilidade de bioetanol de baixo custo, obtido a partir da cana-de-açúcar, e com baixas emissões diretas de gases de efeito estufa levou a investimentos em instalações para produção de bioetileno e PE verde.^{29, 32-33} Sendo o custo atual de produção de bioetileno de 1650 €/kg (cerca de 7600 R\$/kg atuais),³⁴ entre 1,1 e 2,3 vezes superior ao custo petroquímico médio global de produção de eteno.³³

É observado que, atualmente, a maior fatia do mercado para aplicação de biopolímeros é a indústria de embalagens, que começou a desenvolver-se a partir de 2002, inicialmente para embalagens de alimentos orgânicos por causa do equilíbrio promovido em defesa do meio ambiente.³⁵ Como se sabe, estes mercados já são de atuação comum do PE convencional, justamente devido as suas características idênticas, o PE verde

tem potencial técnico de substituição do mesmo nestes segmentos.¹²⁻¹³

4.3. Análise SWOT

As características intrínsecas da organização, suas forças (*Strengths*) e fraquezas (*Weaknesses*), e as características extrínsecas, oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) do ambiente de fora da organização, formam o fundamento da matriz que representa, no final, o resultado das percepções sobre os ambientes em que a organização está inserida.³⁶ No intuito de analisar estrategicamente a atual situação competitiva do PE verde, foi aplicada a ferramenta de análise *SWOT*, explorando de forma sistematizada o ambiente interno e externo para obtenção de informações úteis que contribuam para uma reflexão ampla e dinâmica, com relação ao planejamento de estratégias que incrementem sua competitividade.

No estudo das Forças (*Strengths*) para esta indústria, é possível citarmos o fato de etileno ser o maior produto químico a granel, com produção global atual de cerca de 150 milhões de toneladas por ano³², como já citado anteriormente, bem como o fato de a produção do produto de base verde fixar CO₂, permitindo um desenvolvimento mais sustentável.^{12, 27, 29} O Brasil tem tecnologia competitiva para a produção do PE verde a partir da cana-de-açúcar, sendo a *Braskem* responsável por produzir 200 mil toneladas de PE verde a partir da cana-de-açúcar.¹³

No caso das Fraquezas (*Weaknesses*), é verificado que a competição para a produção de etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar tem dependência de

incentivos do governo e com outras aplicações do produto.³⁷ Existe ainda a desvantagem de haver um controle na confiabilidade dos fornecedores seguirem princípios de desenvolvimento sustentável presentes no “Código de Conduta para Fornecedores de Etanol”, elaborado e implementado pela *Braskem*. O fato do PE verde não ser uma *commodity*, é um entrave para maiores investimentos econômicos a nível mundial, apesar de ter conquistado maior espaço no mercado, já que suas resinas são usadas pela marca *Bio Vegan*.³⁸

Para o caso das Oportunidades (*Opportunities*), este mercado está se desenvolvendo de maneira dinâmica, muitos países, inclusive, já dispõem de legislação específica sobre o uso de bioplásticos.³⁵ No Brasil, a *Braskem* investiu 500 milhões de reais em uma planta, despontando assim, como líder mundial na produção do PE verde e com o maior centro de inovação e tecnologia do Brasil.¹³ Parcerias feitas com as marcas *Alamanati* para fornecimento da resina, a *Bio Vegan*, a empresa *Asahi Soft Drinks*, Café Favorito, Tramontina e Grupo LEGO permitem, ainda, o acesso a outros mercados.³⁸⁻⁴³

Com relação às Ameaças (*Threats*), as quedas no preço do gás natural ou nafta geram competição com fontes renováveis para a produção de PE,⁴⁴ além disso, de 2015 até 2020 novas unidades no Oriente Médio e China acrescentarão mais de 24 milhões de toneladas por ano à oferta global, reequilibrando o comércio global de produtos químicos, que têm favorecido o Oriente Médio há décadas.⁴⁵ A própria competição com o PE de base fóssil pode ser considerada uma ameaça. Assim, no Quadro 1 é sumarizada a Matriz *SWOT* montada para a produção de PE verde atualmente.

Quadro 1. Resumo da Análise SWOT para a indústria PE verde

Forças (<i>Strengths</i>)	Fraquezas (<i>Weaknesses</i>)
<ul style="list-style-type: none"> Liderança mundial do Brasil na produção de PE derivado de matéria-prima renovável, com tendo tecnologia competitiva; <ul style="list-style-type: none"> Volume de mercado de considerável a grande; Apelo ambiental devido a menor emissão de CO₂ quando comparado ao PE de base fóssil. 	<ul style="list-style-type: none"> A dependência de subsídios e incentivos do governo para a produção de etanol compete diretamente com o açúcar e etanol combustível; A sujeição aos fornecedores de matéria-prima renovável; A distância dos mercados de maior volume de consumo.
Oportunidades (<i>Opportunities</i>)	Ameaças (<i>Threats</i>)
<ul style="list-style-type: none"> Parcerias com empresas sustentáveis que permitam redução do custo do etanol; Internacionalização e acesso a outros mercados; Consolidação como liderança global no mercado de bioplásticos e, conseqüentemente, PE verde. 	<ul style="list-style-type: none"> Queda do preço do gás natural nos EUA; Novos ingressantes no setor: Oriente Médio (matéria-prima barata) e China (processo de produção mais barato); Competição com o PE de base fóssil.

Fonte: Braskem, 2019; Godoy, 2019; Adoria, 2019; Revista Petro&Química, 2019; ReuterPlus, 2019; Lewandowski, 2019

4.4. Forças de Porter

A análise das cinco Forças de Porter se tornou um clássico da administração. Ela permite analisar o grau de atratividade de um setor da economia, identificando os fatores que afetam a competitividade, dentre as quais, uma das forças está dentro do próprio setor, a força central e, as outras quatro, que impactam a central de formas diferentes.⁴⁶

O contexto de atuação globalizada das organizações e de busca por otimização de resultados tem exigido maior capacidade das empresas de desenvolver novas competências e estratégias que as permitam atingir seus objetivos. Assim, o grau de concorrência em uma indústria depende de cinco forças competitivas básicas, as forças de Porter: (i) a rivalidade entre concorrentes existentes; (ii) a ameaça do aparecimento de substitutos; (iii) a ameaça de entrada de novos concorrentes; (iv) o poder de negociação dos compradores e (v) o poder de negociação dos fornecedores.^{5,47}

Com relação à rivalidade entre concorrentes existentes, na indústria de PE há um grande número de empresas produtoras, sendo que a *Braskem* é a única que atualmente produz polietileno 100 % de origem renovável, devido à experiência adquirida pela mesma de plantas anteriores, como a de Salgema, que facilitaram sua entrada no mercado.^{24-25, 48} Além dela, a petroquímica norte-americana *Dow* anunciou um projeto de produção de PE verde com expectativa inicial de partida em 2011, sendo posteriormente cancelado devido a atrasos de sua execução.^{10, 13, 23} A união desses fatores (muitos concorrentes e baixo crescimento) resulta em uma grande rivalidade na indústria.⁴⁸

Quanto à ameaça de aparecimento de substitutos, sabe-se que o PE concorre em diversos tipos de aplicação, principalmente em embalagens, como o vidro, papel/papel-cartão, metais e madeira.^{5-6, 49} Os principais motivos para a substituição de polietileno por outros materiais são o custo e as propriedades técnicas, que podem ser superiores a de outros materiais, a depender do tipo de polietileno.⁵ Assim sendo, é esperado que a indústria de PE desenvolva tecnologias e soluções inovadoras para proteger seus produtos de potenciais substitutos, sendo necessários investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), forte representação junto aos compradores e alta produtividade da planta instalada.

A entrada de novos concorrentes é uma ameaça significativa a esta indústria. Para analisar

as barreiras de entrada devem ser estudados quatro fatores: (i) a diferenciação do produto; (ii) as vantagens absolutas de custo; (iii) economias de escala e (iv) investimentos iniciais elevados.⁵⁰ A diferenciação no produto não configura forte barreira ao PE verde em comparação ao polietileno convencional, uma vez que estes apresentam características físico-químicas semelhantes. Porém, o alto custo de produção e elevado investimento inicial para inserção de uma planta industrial confere uma desvantagem ao polietileno verde se contraposto com outros polímeros.

Numa análise com relação ao poder de negociação dos compradores, sabe-se que os principais mercados do PE são a indústria de embalagens e construção civil.⁴⁹ Os custos de produção dependem quase exclusivamente do bioetanol, com potencial de grande produção, mas dependente da disponibilidade de matéria-prima, com preço variável.^{13, 33} Nestes mercados é característica a atuação de empresas de grande porte, que tem forte poder de negociação por comprarem em grandes quantidades.

No caso do poder de negociação dos produtores, considerando a indústria de PE num geral, observa-se que o fornecedor principal da indústria do polietileno é o setor de petroquímica, que é essencialmente marcado pela presença de grandes empresas da indústria do petróleo e química, sendo o preço do polietileno intrinsecamente ligado ao valor de mercado da nafta, que, por sua vez, varia de acordo com o preço do petróleo.⁴⁹ No caso do PE obtido a partir de matéria-prima renovável (nesse caso, cana-de-açúcar), o apelo ambiental, visto que a Avaliação do Ciclo de Vida (AVC) para o da *Braskem* apontou captura de 3,09 kg de CO₂ a cada kg produzido de eteno e gasto de 80 % a menos de energia que o PE de base fóssil,⁵¹ leva ao controle dos fornecedores, realizado verificando se eles seguem princípios de desenvolvimento sustentável presentes no “Código de Conduta para Fornecedores de Etanol” elaborado e implementado pela empresa. Dessa forma, o poder de negociação destes é minimizado.¹³

5. Desafios Atuais e Soluções Gerenciais e Tecnológicas para os Desafios Encontrados

O potencial para a produção de etileno verde é grande, mas a sua implementação depende da

disponibilidade e do preço da biomassa como matéria-prima, as quais estão ligadas à demanda por alimentos, biocombustíveis e geração de energia.^{8,12,27,28-29,32-33} Ao mesmo tempo, os bioplásticos podem atrair consumidores preocupados com sustentabilidade, o que pode torná-los competitivos em regiões com matéria-prima abundante e barata.³⁰

Dentre os desafios para o PE verde, é possível citar os existentes na própria matéria-prima que, por vezes, contém como impurezas álcoois superiores gerados durante a fermentação, bem como contaminações por diesel e biodiesel podem ocorrer durante o transporte do etanol verde.²⁵

A diferença de custo em relação ao etileno petroquímico, uma vez que o custo do etileno verde é muito dependente do preço local da matéria-prima e na maioria das vezes ainda é superior ao do PE convencional, pode ser considerada um empecilho.²⁵ Enquanto o polietileno de base fóssil está em um patamar de desenvolvimento avançado, sem grandes mudanças previstas, o polietileno verde é uma evolução recente do ponto de vista tecnológico, com capacidades produtivas ainda pequenas quando comparadas a escala petroquímica.³³

Como forma de superar os desafios encontrados, é sugerido que sejam necessárias políticas de incentivo ao uso de plásticos derivados de matéria-prima renovável, de créditos de carbono, subsídios para produtores de etanol, e desenvolvimento de processos mais baratos e eficazes de conversão de matéria-prima lignocelulósica, para que dessa forma diminua a competição com a indústria de alimentos.

Desenvolver novas matérias-primas é um ponto crucial para o sucesso do PE verde. Considerando que nem todos os países possuem matéria-prima natural abundante, a conversão biológica de CO₂ em etileno tem se mostrado bastante atrativa. Além disso, a utilização de microorganismos evita o uso de água e alimentos que são usados para fabricar etanol e conseqüentemente o etileno verde. Pensando nisso, o grupo de pesquisa americano do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), demonstrou uma nova rota para produção de etileno, introduzindo um gene de enzima formadora de etileno (EFE) em uma cianobactéria do gênero *Synechocystis sp.* PCC6803, sendo observado que o microorganismo permaneceu estável por pelo menos quatro gerações, produzindo gás etileno que pôde se facilmente capturado.⁵²

6. Apresentação do Roadmap Tecnológico Simplificado

Um *roadmap* é a representação de uma visualização do futuro que procura integrar os aspectos relevantes do negócio na dimensão tempo.⁵³ Utilizando as informações obtidas e discutidas ao longo do presente trabalho, foi possível propor um *roadmap* tecnológico simplificado para a indústria de PE verde, em que são integrados o mercado, a tecnologia e o produto. Os resultados dessas perspectivas podem ser verificados na Figura 4, onde se observa que, em relação ao mercado, de curto a longo prazo, as parcerias com empresas será um ponto positivo o que, a longo prazo, pode ser um dos motivos de uma maior competitividade em comparação ao PE de base fóssil. Com relação à tecnologia, a pesquisa e desenvolvimento é ponto chave, bem como a consolidação da tecnologia já existente e implementação de processos que usem novas matérias-primas. No que se refere ao produto, a curto prazo ações governamentais que incentivem o uso de plásticos verdes, expansão de aplicações, a médio prazo e operações de novas plantas, a longo prazo são fundamentais para esta indústria.

7. Considerações Finais

Os resultados obtidos na prospecção tecnológica demonstraram uma perspectiva de que diversos trabalhos estejam em desenvolvimento de novas rotas de obtenção do PE verde. Além disso, o fato da pesquisa acadêmica e o registro de patentes, em relação à aplicação e síntese do material, estarem em contínua produção, sugere uma relevância científica e interesse comercial no PE verde.

Denota-se através da análise SWOT e Forças de Porter que o PE verde representa uma alternativa ao polietileno derivado de petróleo, pois conserva as suas propriedades físicas e químicas, com as mesmas aplicações. Apesar de somente a *Braskem* produzir em larga escala o polietileno verde, outras empresas têm buscado novas tecnologias de obtenção de polímeros verdes. Contudo, o preço e a dificuldade por novas matérias-primas para a produção do polietileno verde ainda é um grande desafio. Para além disso, o *roadmap* tecnológico completa que, em curto-

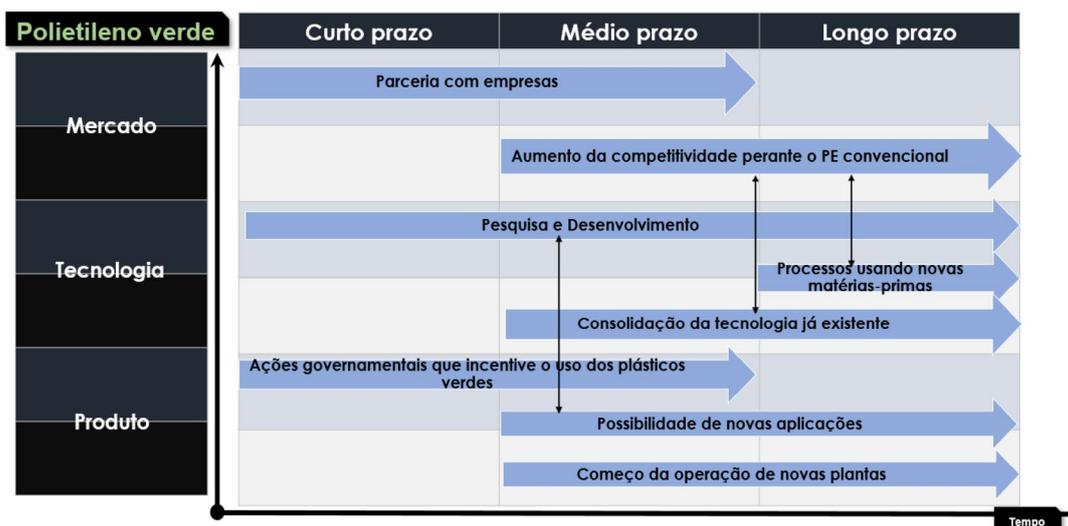


Figura 4. Roadmap tecnológico simples para a produção de PE verde

médio prazo, ações governamentais que incentivem o uso de bioplásticos impactam diretamente no futuro do produto a nível de mercado, investimento em pesquisa e desenvolvimento, além de parcerias tecnológicas podem trazer resultados a longo prazo.

Enquanto o polietileno de base fóssil está em um patamar de desenvolvimento avançado, sem grandes mudanças previstas, o PE verde é uma evolução recente do ponto de vista tecnológico, com capacidade produtiva ainda pequena quando comparada a escala petroquímica. A disponibilidade e o preço da biomassa como matéria-prima são os principais entraves à aplicação dessa tecnologia, assim desenvolver novas matérias-primas e tecnologias de produção é o ponto crucial para o sucesso do PE verde.

Referências Bibliográficas

- ¹ Reddy, C. S. K.; Ghai, R.; Rashimi; Kalia, V. C. Polyhydroxyalkanoates: an overview. *Bioresource Technology* **2003**, *87*, 137. [CrossRef]
- ² Plastics Europe, Plastics – the Facts 2018: An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf> Acesso em: 23 setembro 2019.
- ³ Kumar, Mukesh; Mohanty, S.; Nayak, S.K.; Rahail Parvaiz, M. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. *Bioresource Technology* **2010**, *101*, 8406. [CrossRef]

⁴ European Bioplastics, Frequently Asked Questions FAQ. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/?id=191>>. Acesso em: 8 janeiro 2019.

⁵ Mano, E. B.; Mendes, L. C.; *Introdução à polímeros*, 2a. ed., São Paulo: Blucher, 1999.

⁶ Coutinho, F. M. B.; Mello, I. L.; Maria, L. C. S. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* **2003**, *13*, 1. [Link]

⁷ Leite, L. F.; *Olefinas leves: tecnologia, mercado e aspectos econômicos*, 1a. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

⁸ Zacharopoulou, V.; Lemonidou, A. A. Olefins from Biomass Intermediates: A Review. *Catalysts* **2018**, *8*, 2. [CrossRef]

⁹ Morschbacker, A. Bio-Ethanol Based Ethylene. *Journal Polymer Reviews* **2009**, *49*, 79. [CrossRef]

¹⁰ Marques, J. J.; *O plástico “verde” e o mercado brasileiro de etanol*, Universidade de São Paulo, 2010. [Link]

¹¹ Foster, G. Low-Carbon Futures for Bioethylene in the United States. *Energies* **2019**, *12*, 1958. [CrossRef]

¹² Oroski, F. A.; *Modelos de Negócio e Transição de Sistemas Tecnológicos: o caso dos bioplásticos*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. [Link]

¹³ Sítio da Braskem, Polietileno Verde l'm Green™ (PE Verde l'm Green™). Disponível em: <<http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>> Acesso em: 6 janeiro 2019.

¹⁴ Charles, M.; Asif, R.; Ronald, S.; Ashik, S.; Renil, A. *Methods of bioplastic production* **2013**. (US 2013344550)

¹⁵ Jalila, E. *Methods for producing a manure-derived bioplastic and bioproducts* **2017**. (CA 3024626)

- ¹⁶ Qing, C.; Hang, Z. *Low-cost method for preparing starch bioplastic* **2018**. (CN 107987364)
- ¹⁷ Jin, P. E.; Min, C. H.; Gwon, M. S. *Bioplastic Composition Comprising Wheat Bran and Bioplastic Film Using the Same* **2018**. (US 2018002513)
- ¹⁸ Kyritsis, S.; Mavrogianopoulos, G. N. Analysis and performance of a greenhouse with water filled passive solar sleeves. *Agricultural and Forest Meteorology* **1993**, *65*, 47. [CrossRef]
- ¹⁹ Castro, D. O.; Frollini, E.; Ruvolo, A. F.; Dufresne, A. "Green polyethylene" and curauá cellulose nanocrystal based nanocomposites: Effect of vegetable oils as coupling agent and processing technique. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* **2015**, *53*, 1010. [CrossRef]
- ²⁰ Rahimi, R. S.; Nikbin, I. M.; Allahyari, H.; Habibi, S. T. Sustainable approach for recycling waste tire rubber and polyethylene terephthalate (PET) to produce green concrete with resistance against sulfuric acid attac. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *126*, 166. [CrossRef]
- ²¹ Chen, F.L.; He, X.; Yin, H. M. Manufacture and multi-physical characterization of aluminum/high-density polyethylene functionally graded materials for green energy building envelope applications. *Energy and Buildings* **2016**, *116*, 307. [CrossRef]
- ²² Barczewski, M.; Matykiewicz, D.; Piasecki, A.; Szostak, M. Polyethylene green composites modified with post agricultural waste filler: thermo-mechanical and damping properties. *Composite Interfaces* **2017**, *25*, 287. [CrossRef]
- ²³ Pitt, F. D.; Boing, D.; Barros, A. A. C. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de Polímeros sintéticos e de fontes renováveis. *Revista da Unifeb* **2011**, *9*, 1. [Link]
- ²⁴ Castro, T. H. M.; *Os bioplásticos: Impactos ambientais e perspectivas de mercado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019. [Link]
- ²⁵ Carmo, R. W.; Belloli, R.; Morschbacker, A. Polietileno Verde. *Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens* **2012**, *24*, 1. [Link]
- ²⁶ Pradella, J. G. C., Biopolímeros e Intermediários Químicos. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242618071_Biopolimeros_e_Intermediarios_Quimicos> Acesso em: 06 janeiro 2019.
- ²⁷ Sítio da Braskem, Propriedades. Disponível em: <http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/Propriedades_PeVerde> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ²⁸ Castro, B. D.; Comportamento mecânico de compósitos produzidos com reaproveitamento de polietileno de alta densidade, reforçados com fibra de sisal, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018. [Link]
- ²⁹ Sítio da Reuter Plus. Disponível em: <<https://www.reuters.com/brandfeatures/venture-capital/article?id=83096>>. Acesso em: 8 outubro 2019.
- ³⁰ Sítio da Braskem. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/>> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ³¹ Brito, G. F.; Agrawal P.; Araújo, E. M.; Mélo, T.J.L. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* **2011**. *6.2*, 127. [Link]
- ³² Lewandowski, S., IHS Markit. Disponível em: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/Steve_Lewandowski_Big_Changes Ahead for Ethylene Implications for Asia.pdf>. Acesso em: 07 outubro 2019.
- ³³ Crnomarković, M.; Panchaksharam, Y., Spekreijse, J.; von Berg, C.; Puente, Á.; Chinthapalli, R., Road to Bio. Disponível em: <https://www.roadtobio.eu/uploads/publications/deliverables/RoadToBio_D12_Case_studies_bio-based_chemicals.pdf>. Acesso em: 08 outubro 2019.
- ³⁴ Sítio do Banco Central do Brasil, Conversor de moedas. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/conversao>>. Acesso em: 15 novembro 2019.
- ³⁵ Godoy, J. C. Bioplásticos / Biopolímeros. *Biomater* **2019**, *1*, 1. [Link]
- ³⁶ Fernandes, D. R. Uma Visão Sobre a Análise da Matriz SWOT como Ferramenta para Elaboração da Estratégiam. *UNOPAR Cient., Ciênc. Juríd. Empres.* **2012**, *13*, 57. [Link]
- ³⁷ Macedo, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. *Estudos Avançados* **2007**, *21*, 157. [CrossRef]
- ³⁸ Sítio da Braskem, Plástico verde da Braskem chega às embalagens de cosméticos naturais e veganos. Disponível em: <<http://braskem.com.br/detalhe-noticia/plastico-verde-da-braskem-chega-as-embalagens-de-cosmeticos-naturais-e-veganos>> Acesso em: 07 janeiro 2019.
- ³⁹ Sítio da Braskem, Empresa traz produtos com certificação orgânica, biodinâmica e em embalagens de origem renovável. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/almanati-estreiando-mercado-de-cosmeticos-naturais-utilizando-o-plastico-verde>> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ⁴⁰ Sítio da Braskem, Embalagens do Café Favorito serão produzidas com Plástico Verde. Disponível em: <<http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/Releases-Detalhes-PeVerde/Embalagens-do-Cafe-Favorito-serao-produzidas-com-Plastico-Verde->>> Acesso em: 08 janeiro 2019.

- ⁴¹ Sítio da Braskem, Plástico Verde da Braskem ganha forma de cadeira lançada pela Tramontina. Disponível em: <<http://plasticoverde.braskem.com.br/site.aspx/Releases-Detalhes-PeVerde/Plastico-Verde-da-Braskem-ganha-forma-de-cadeira-lancada-pela-Tramontina>> Acesso em: 07 janeiro 2019.
- ⁴² Sítio da Braskem, Braskem se torna fornecedora de Plástico Verde para o Grupo LEGO. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-se-torna-fornecedora-de-plastico-verde-para-o-grupo-lego>> Acesso em: 07 janeiro 2019.
- ⁴³ Sítio da Braskem, Plástico Verde da Braskem é utilizado pela Asahi Soft Drinks no Japão. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/plastico-verde-da-braskem-e-utilizado-pela-asahi-soft-drinks-no-japao>> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ⁴⁴ Adoria, C., Gás natural nos EUA: preços podem cair abaixo de US\$ 2. Disponível em: <<https://petroleiroanistiado.wordpress.com/2015/03/20/gas-natural-nos-eua-precos-podem-cair-abaixo-de-us-2/>> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ⁴⁵ Revista Petro&Química, Excesso de oferta muda cenário competitivo de polietileno e polipropileno, avalia IHS. Disponível em: <<http://www.petroquimica.com.br/noticias/2016/maio/16a.html>> Acesso em 06 janeiro 2019.
- ⁴⁶ Nakagawa, M., Ferramentas: 5 Forças de Porter (Clássico). Disponível em: <https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/ME_5-Forcas-Porter.PDF> Acesso em: 18 jan. 2019.
- ⁴⁷ Porter, M.E. *Estratégia Competitiva: Técnicas para Análise de Indústria e da Concorrência*. 16a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- ⁴⁸ Sítio da Braskem, Catálogo PE verde. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Catalogo_PE_Verde.pdf> Acesso em: 07 janeiro 2019.
- ⁴⁹ Assalie, J. L. S.; Aquino, R. B. *Competitividade da indústria de transformação de plástico face à consolidação do setor petroquímico*. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_086_570_11158.pdf> Acesso em: 08 janeiro 2019.
- ⁵⁰ Fagundes, J.; Pondé, J. Barreiras à Entrada e Defesa da Concorrência: Notas Introdutórias. Rio de Janeiro: UFRJ/IE, 1998. [Link]
- ⁵¹ Braskem. Disponível em: < <http://plasticoverde.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/ModuloHTML/Documentos/1191/Avaliacao-do-Ciclo-de-Vida-v02.pdf>>. Acesso em: 08 outubro 2019.
- ⁵² Ungerer, J.; Tao, Ling; Davis, Mark; Ghirardi, Maria; Maness, Pin-Ching; Yu, Jianping. Sustained Photosynthetic Conversion of Atmospheric CO₂ to Ethylene in Recombinant Cyanobacterium *Synechocystis* 6803. *Environmental Science and Technology* **2012**, *5*, 8998. [CrossRef]
- ⁵³ Coutinho, P.; Bomtempo, J. V. Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: Uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. *Química Nova* **2011**, *34*, 910. [Link]