

**REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO E DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
EM SET UP, UTILIZANDO PLÁSTICO DROP IN EM TANQUES DE VEÍCULOS
COMERCIAIS**

**REDUCING CARBON EMISSIONS AND ELECTRICITY CONSUMPTION IN SET
UP USING DROP-IN PLASTIC IN COMMERCIAL VEHICLE TANKS**

**REDUCIR LAS EMISIONES DE CARBONO Y EL CONSUMO DE
ELECTRICIDAD EN LAS INSTALACIONES QUE UTILIZAN PLÁSTICOS
DROP-IN EN LOS DEPÓSITOS DE LOS VEHÍCULOS COMERCIALES**

 <https://doi.org/10.56238/sevened2025.021-028>

Sérgio Roberto Amaral

Volkswagen Caminhões e Ônibus/Universidade Estácio de Sá – Programa Pesquisa, Produtividade,
Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora

Eliezer Schmalfuss Beier

Bepo

Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossu

Universidade Estácio de Sá

RESUMO

O aumento da demanda para a produção de componentes seguindo premissas globais, como Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG), reduzindo as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no processo de produção de matérias-primas e no processo de produção de componentes, deve ser implementado de acordo com a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas realizada em 2021 e ratificada em 2024. A agenda ESG é usada para minimizar o impacto ambiental dos negócios, a fim de construir um mundo melhor com responsabilidade em torno do processo de administração, investimentos e critérios de sustentabilidade. Com essa motivação, a presente pesquisa apresenta o uso do polietileno de alta densidade verde (HDPE Verde) para uso na produção de tanques de ARLA 32 e combustível, como um material de substituição do polietileno de alta densidade (HDPE) de base fóssil. A biomassa usada como base biológica para a produção de HDPE Verde, são as folhas e/ou o caule da cana-de-açúcar. Os polímeros, apesar de possuírem características similares, algumas propriedades se distinguem e com isso, alguns parâmetros do equipamento precisam ser modificados, de maneira que o componente mantenha a mesma geometria e característica de espessura e aparência do original. Para tanto, foi realizado uma série de análises e testes para ajustar os parâmetros do processo de moldagem por extrusão e sopro e garantir a viabilidade na aplicação desejada. A máquina de moldagem por extrusão e sopro possui resistências elétricas usadas durante a produção, para que o processo mantenha a temperatura correta durante todo o processo de produção. Ao comparar os dois materiais, os principais aspectos da reometria como tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento resultam em uma velocidade de fluxo distinta dentro do processo de extrusão da máquina, especialmente devido ao Índice de Fluidéz (IF) ser totalmente distinto e que possui, grande influência no processo e na característica visual do produto. O fabricante realiza o seu processo de set up quatro vezes por semana, o que representa 72 horas por semana, e o tempo total de set up é de 3744 horas por ano. Para validar os tanques em HDPE Verde, antes de serem montados em veículos, eles são obrigados a passar por uma bateria de testes/ensaios mecânicos, seguindo normas internacionais, brasileiras e internas das empresas, tais como pressão, impacto, trenó e flamabilidade. Os resultados precisam estar



aprovados, de maneira obrigatória para que a matéria prima HDPE Verde possa vir a ser utilizado como matéria-prima. O material proposto, pode reduzir cerca de 180 mil toneladas de CO₂/ano no mercado latino-americano, considerando apenas os tanques de veículos comerciais (combustível e ARLA 32). A proposta também auxilia no aumento do uso desse material para reprocessamento, trazendo o incremento no processo de economia circular. Os tanques de combustível e de ARLA 32 produzidos com HDPE Verde, após aprovação nos testes funcionais descritos nas normas para os testes de desenvolvimento e validação, precisam também ser aprovado nos testes de durabilidade, que representam a aplicação do produto sob a ótica do usuário final. O HDPE Verde, é um material existente e utilizado em aplicações que não recebem esforços mecânicos, como frascos de shampoo e produtos de limpeza. Os polímeros são normalmente são commodities e produzidos por empresa que possui a patente. O volume necessário para produção de uma determinada matéria prima, está diretamente ligada ao seu valor. Dessa forma, quanto maior a produção em escala, melhor o custo final do produto com HDPE Verde. A substituição o material de base fóssil para o material de base renovável promove a redução e emissão e carbono ligada ao material proposto, a redução do consumo de energia elétrica em set up de máquina e reflete no aumento da produtividade, que pode vir a trazer o offset do custo da peça. Precisa ser avaliado a configuração de crédito de carbono e a relação para comercialização desse crédito ou benefícios fiscais decorrente da redução da emissão de carbono na atmosfera, promovido pelo material proposto.

Palavras-chave: HDPE Verde. Tanque de ARLA 32. Produtividade. Energia Elétrica. Economia Circular.

ABSTRACT

The increased demand for the production of components following global premises, such as Environmental, Social and Corporate Governance (ESG), reducing Greenhouse Gas (GHG) emissions in the process of producing raw materials and in the process of producing components, must be implemented in accordance with the United Nations Conference on Climate Change held in 2021 and ratified in 2024. The ESG agenda is used to minimize the environmental impact of business in order to build a better world with responsibility around the management process, investments and sustainability criteria. With this motivation, this research presents the use of green high-density polyethylene (Green HDPE) for use in the production of ARLA 32 and fuel tanks, as a replacement material for fossil-based high-density polyethylene (HDPE). The biomass used as a biological base for the production of Green HDPE is sugar cane leaves and/or stalks. Although the polymers have similar characteristics, some of their properties differ and, as a result, some of the equipment parameters need to be modified so that the component maintains the same geometry, thickness and appearance characteristics as the original. To this end, a series of analyses and tests were carried out to adjust the parameters of the extrusion and blow molding process and ensure viability in the desired application. The extrusion blow molding machine has electrical resistors used during production, so that the process maintains the correct temperature throughout the production process. When comparing the two materials, the main aspects of rheometry such as shear stress and shear rate result in a different flow speed within the machine's extrusion process, especially as the Fluidity Index (FI) is totally different and has a great influence on the process and the visual characteristic of the product. The manufacturer carries out its set-up process four times a week, which represents 72 hours per week, and the total set-up time is 3744 hours per year. To validate the Green HDPE tanks, before they are mounted on vehicles, they are required to pass a battery of mechanical tests/trials, following international, Brazilian and internal company standards, such as pressure, impact, sledging and flammability. The results must be approved before Green HDPE can be used as a raw material. The proposed material could reduce around 180,000 tons of CO₂/year in the Latin American market, considering only commercial vehicle tanks (fuel and ARLA 32). The proposal also helps to increase the use of this material for reprocessing, thus increasing the circular economy process. Fuel and ARLA 32 tanks made from Green HDPE, after passing the functional tests described in the standards for development and validation tests, must also pass durability tests, which represent the product's application from the end user's point of view. Green HDPE is an existing material used in applications that do not receive mechanical stress, such as

shampoo bottles and cleaning products. Polymers are usually commodities and produced by a company that owns the patent. The volume required to produce a given raw material is directly linked to its value. Therefore, the larger the scale of production, the better the final cost of the Green HDPE product. Replacing the fossil-based material with the renewable-based material reduces the carbon footprint of the proposed material, reduces electricity consumption in the machine set and increases productivity, which can offset the cost of the part. The configuration of carbon credits needs to be evaluated, as well as the relationship between the commercialization of these credits or tax benefits resulting from the reduction of carbon emissions in the atmosphere promoted by the proposed material.

Keywords: Green HDPE. ARLA 32 tank. Productivity. Electricity. Circular Economy.

RESUMEN

El aumento de la demanda de producción de componentes siguiendo premisas globales como la Gobernanza Ambiental, Social y Corporativa (ESG), reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el proceso de producción de materias primas y en el proceso de producción de componentes, debe ser implementado de acuerdo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en 2021 y ratificada en 2024. La agenda ESG se utiliza para minimizar el impacto ambiental de las empresas con el fin de construir un mundo mejor con responsabilidad en torno al proceso de gestión, las inversiones y los criterios de sostenibilidad. Con esta motivación, esta investigación presenta el uso de polietileno verde de alta densidad (Green HDPE) para su uso en la producción de ARLA 32 y tanques de combustible, como material sustitutivo del polietileno de alta densidad (HDPE) de origen fósil. La biomasa utilizada como base biológica para la producción de HDPE Verde son hojas y/o tallos de caña de azúcar. Aunque los polímeros tienen características similares, algunas de sus propiedades difieren y, en consecuencia, es necesario modificar algunos de los parámetros del equipo para que el componente conserve las mismas características de geometría, espesor y aspecto que el original. Con este fin, se llevaron a cabo una serie de análisis y pruebas para ajustar los parámetros del proceso de extrusión y soplado y garantizar la viabilidad en la aplicación deseada. La máquina de extrusión-soplado dispone de resistencias eléctricas que se utilizan durante la producción para que el proceso mantenga la temperatura correcta durante todo el proceso de producción. Al comparar los dos materiales, los principales aspectos de la reometría, como el esfuerzo cortante y la velocidad de cizallamiento, dan como resultado una velocidad de flujo diferente dentro del proceso de extrusión de la máquina, sobre todo porque el índice de fluidez (FI) es totalmente diferente y tiene una gran influencia en el proceso y en la característica visual del producto. El fabricante lleva a cabo su proceso de puesta a punto cuatro veces por semana, lo que representa 72 horas semanales, y el tiempo total de puesta a punto es de 3744 horas al año. Para validar los tanques de PEAD Verde, antes de ser montados en los vehículos, es necesario que superen una batería de pruebas/ensayos mecánicos, siguiendo normas internacionales, brasileñas e internas de la empresa, como presión, impacto, trineo e inflamabilidad. Los resultados deben ser aprobados antes de que el HDPE Verde pueda ser utilizado como materia prima. El material propuesto podría reducir cerca de 180.000 toneladas de CO₂/año en el mercado latinoamericano, considerando solamente los tanques de vehículos comerciales (combustible y ARLA 32). La propuesta también ayuda a aumentar el uso de este material para el reprocesamiento, aumentando así el proceso de economía circular. Los depósitos de combustible y ARLA 32 fabricados con HDPE Verde, tras superar las pruebas funcionales descritas en las normas para las pruebas de desarrollo y validación, deben superar también las pruebas de durabilidad, que representan la aplicación del producto desde el punto de vista del usuario final. El HDPE ecológico es un material existente que se utiliza en aplicaciones que no reciben estrés mecánico, como botellas de champú y productos de limpieza. Los polímeros suelen ser materias primas y los produce una empresa propietaria de la patente. El volumen necesario para producir una determinada materia prima está directamente relacionado con su valor. Por lo tanto, cuanto mayor sea la escala de producción, mejor será el coste final del producto de HDPE ecológico. La sustitución de material de origen fósil por material de origen renovable reduce la huella de carbono del material propuesto, reduce el consumo de electricidad en la puesta a punto de la máquina y aumenta la productividad, lo que puede compensar el coste de la pieza. Es necesario evaluar la configuración de los créditos de carbono y la



relación para comercializar estos créditos o los beneficios fiscales derivados de la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera promovida por el material propuesto.

Palabras clave: HDPE verde. Depósito ARLA 32. Productividad. Electricidad. Economía circular.



1 APLICABILIDADE

Todos os tanques de ARLA 32 e de combustível produzidos pelo processo de extrusão sopro, podem utilizar essa matéria prima, sem a necessidade alteração dos moldes ou no equipamento. Obviamente, os parâmetros de processo, precisam ser modificados para atender as características do GPE, de forma a manter as mesmas condições de espessura e aparência do modelo produzido com material de fonte fóssil.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é abordar os efeitos e implicações ambientais causadas pela utilização do PEAD Verde nos tanques de ARLA 32, bem como, mostrar o ganho na redução e utilização de energia elétrica durante o processo de conformação mecânica de extrusão-sopro e também citar os testes utilizados para validar a utilização destes tanques como um componente de alta confiabilidade.

Os principais efeitos são:

- Redução de emissões de CO₂ utilizando matéria prima proveniente de fonte renovável;
- Reduzir o custo de energia elétrica no set up de produção, devido as características do PEAD Verde;
- Aumentar a produtividade de tanques de ARLA 32, em decorrência das propriedades reométricas, mecânicas e do IF do PEAD Verde.

3 INTRODUÇÃO

Com a realização de estudos sobre os efeitos causados pelos gases de efeito estufa (GEE) ao ambiente, novos temas estão sendo colocados em pauta globalmente, visando a preocupação com futuro do planeta e em como fazer para mitigar as emissões dos GEE e os impactos ambientais gerados. Através dessas premissas, novas políticas e tendências recaem sobre os meios de produção e de bens de consumo.

Neste contexto, o setor automotivo recebe alta demanda de componentes produzidos em PEAD e o desenvolvimento de materiais a base de biomassa, surge como uma possibilidade de agregar valor no desenvolvimento e utilização responsável dos recursos naturais por parte das empresas, reduzindo a pegada de carbono e aumentando a economia circular. Neste âmbito, os matérias poliméricos em geral, surgem como uma grande possibilidade, principalmente, devido a oportunidade de substituição do uso de petróleo por novas fontes de matéria primas de origem renovável para produção.

Além disso, este desenvolvimento possui ampla condição de influenciar na melhoria da produção, em termos de eficiência, e na redução do consumo de energia no processo produtivo, uma vez que novos materiais são introduzidos junto com novos projetos e novas alternativas para produção.

4 PREPARAÇÃO DO TRABALHO TÉCNICO

4.1 INICIATIVAS PARA MITIGAÇÃO DO AQUECIMENTO GLOBAL

A preocupação com o desenvolvimento responsável trata de três diferentes dimensões, são elas: Ambiental, social e econômica. Com isso, o destaque recai sobre a agenda ESG que engloba estas três partes e propõe diretrizes para o desenvolvimento sustentável. A sigla ESG vem do inglês “environmental, social and governance”, e se refere as três dimensões citadas anteriormente, porém focada em fornecer um caminho para as organizações e levar ao desenvolvimento sustentável de práticas ambientais, sociais e de governança das empresas [1].

Recentemente, tem ganhado maior visibilidade e aderência, a partir de uma crescente preocupação do mercado financeiro com a sustentabilidade, sendo considerada uma das principais diretrizes da atualidade. Em 2020, os fundos ESG captaram investimentos bilionários, provocando pressão sobre o setor empresarial [1].

Na Europa já existem definições estabelecidas pela Comissão Europeia (EC) [2] a fim de forçar o investimento e o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis na indústria, através do “European Green Deal” [3] que visa modernizar a Europa com utilização eficiente de recursos, economia competitiva e redução das emissões de gases de efeito estufa a praticamente “zero” até 2050, sem perder a força econômica e a preocupação com a qualidade de vida de seus habitantes [4].

A ONU também possui definições, acordos e metas que foram elaborados por nações de todo o planeta nas conferências internacionais. - O objetivo é gerar um engajamento global para reconhecer a emergência do problema, acelerar as ações e cumprir as metas estabelecidas no acordo de Paris [5].

Na COP26, uma das conferências mais recentes da ONU, estas metas foram focadas em reduzir os impactos ambientais por meio da extração consciente de recursos naturais, substituição de matéria prima de origem fóssil por matérias primas de fontes renováveis e aumento da eficiência nas matrizes energéticas. Para indústria automotiva, isso significa desenvolver métodos/modelos de descarbonização das cadeias produtivas e produzir veículos contendo impacto residual ou zero em emissões até 2040 [6].

Estas discussões são baseadas, principalmente na redução nas emissões de gases a fim de seguir o alerta da “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC) [7]. O alerta orienta a manter a temperatura do planeta limitado em 1,5° C, compreendendo o período da primeira revolução industrial até 2030. Para que o objetivo seja atingido, existem iniciativas que estão dentro da agenda de responsabilidades de Ambiental, Social e de Governança Corporativa (ESG) [8] de cada empresa, e

para que cada instituição faça sua parte, estão sendo criadas metas baseadas na ciência climática (SBTi) [9] apoiado pela rede Pacto Global no Brasil [4] [10].

4.2. IMPLICAÇÕES PARA O USO DO PEAD VERDE

As iniciativas afetam diretamente a maneira de pensar das empresas e no direcional dessa pesquisa que são as montadoras de veículos comerciais. O foco passa a ser a diminuição no impacto ambiental deixado por toda a cadeia produtiva até a produção do produto final, isto inclui, a maneira como a energia é produzida e utilizada, como são extraídos os materiais dos componentes, como é feito o processo de fabricação e conformação dos componentes, bem como a realização da reciclagem, reuso ou descarte.

Neste novo ambiente a bioeconomia e a economia circular exercem papel fundamental na mudança da cadeia de valor produtiva. Alguns autores já defendem a existência da bioeconomia circular, onde o material de origem renovável ou biodegradável é tratado para gerar valor durante todo seu ciclo de vida [11].

Dentro deste contexto, a quantidade de estudos e soluções aplicáveis vem crescendo [12]. Dentre elas os compostos “Drop in” que nada mais é do que o desenvolvimento de uma fonte de origem renovável de forma a substituir composto já existente, porém, derivado de petróleo [13]. Como no caso do polietileno de alta densidade (PEAD), por exemplo, o PEAD é derivado de petróleo, porém no mercado já foi identificado um processo produtivo utilizando Cana-de-açúcar como matéria prima, e o resultado é o mesmo PEAD, porém proveniente de fonte renovável, o que lhe rende o nome de PEAD Verde [14].

4.3. POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

O polietileno é um polímero amplamente utilizado nas indústrias devido à sua não toxicidade e inércia face a diversos produtos químicos. É obtido, principalmente, pela polimerização do etileno por adição, derivado de fontes fósseis [17], por intermédio do craqueamento da nafta proveniente do refino do petróleo. O etileno passa pela etapa de purificação, onde é transformado em polietileno [18]. A figura 1 representa um monômero de polietileno.

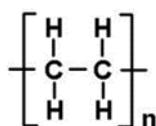


Fig. 1. Monômero do Polietileno [17].

A figura 2 a seguir apresenta o fluxo de processamento do polietileno de base fóssil.

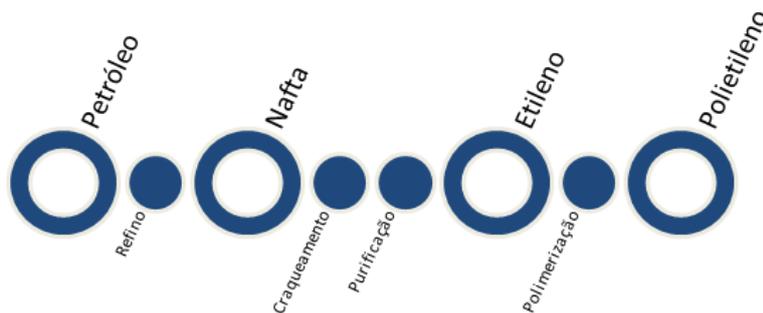


Fig. 2. Etapas do processo de fabricação do Polietileno.

De acordo com as condições de contorno definidas na polimerização, podem ser produzidos alguns tipos de Polietileno, sendo eles: Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE); Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE); Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE); Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE); Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE) [19].

Quando se refere ao Polietileno e Alta Densidade, pode-se classifica-lo como um polímero termoplástico de estrutura altamente cristalina de valores de até 90% e baixo teor de ramificações, como visto pela figura 3, onde são comparadas as formações de cadeias ramificadas em diferentes tipos de Polietileno. A linearidade das cadeias torna o empacotamento mais eficiente, gerando forças intermoleculares mais intensas [20].

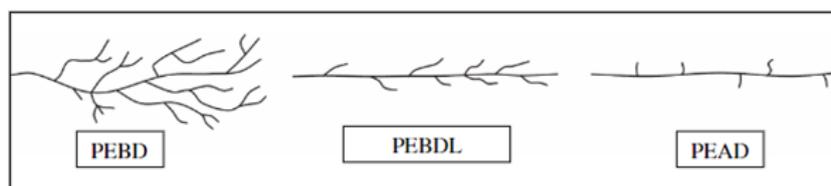


Fig. 3. Diferentes tipos de Polietileno e suas ramificações [20] [19].

4.4 POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE VERDE

O polietileno de Alta Densidade verde (PEAD Verde), pode ser classificado como plástico verde, polímero verde, biopolímero e é o primeiro plástico no mundo a ser certificado que é obtido através de fonte renovável. A produção do polietileno verde se dá a partir do etileno obtido por meio da desidratação do etanol [4]. O PEAD Verde, possui característica Drop in, ou seja, é um material

equivalente ao fóssil, com as propriedades similares, trocando apenas sua fonte, como mostrado na figura 4. Portanto, pode ser aplicado com as mesmas finalidades das resinas petroquímicas [19][21].

A grande vantagem desse polímero verde é que não demanda investimentos em maquinários ou grandes mudanças no processo de conformação, além de possuir custo de produção competitivo no cenário mundial, o que é um aspecto importantíssimo para utilização industrial [22].

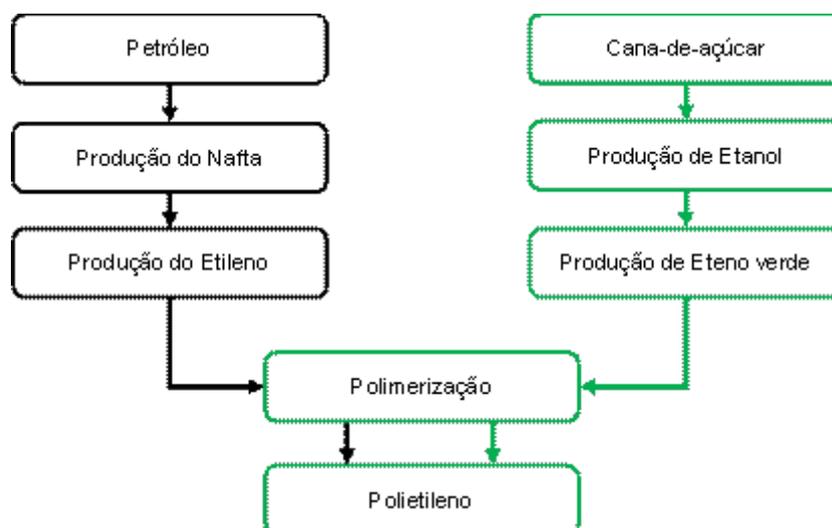


Fig. 4. Comparativo entre a matéria fóssil e verde do Polietileno.

É importante ressaltar que no projeto dos tanques de ARLA 32, o PEAD utilizado originalmente não possui o mesmo grade do PEAD Verde proposto, devido a isso, é válido ressaltar que, apesar das semelhança de material, há algumas diferenças de propriedades. Isso acabou gerando impacto positivo no processo de produção, como será detalhado mais a diante neste trabalho. Tendo em vista facilitar o entendimento, o PEAD fóssil utilizado, será referido como PEAD original e o novo PEAD, como PEAD Verde. Vide Tabela 1.

Teste	PEAD HS4506A	PEAD SGF4950 (Verde)
Índice de fluidez (190 °C / 21,6 Kg) [g/10min]	5	28
Densidade [g/m ³]	0,945	0,956
Tensão de escoamento [MPa]	24	28
Tensão de ruptura [MPa]	38	31
Módulo de flexão Secante a 1% [MPa]	930	1060
Dureza (Shore D)	63	63
Resistência ao impacto [J/m]	700	145
Temperatura de Amolecimento Vicat [°C]	125	129
Temperatura de Deflexão Térmica (0,455 MPa) [°C]	62	75
Teor mínimo de C14 [%]	-	96

Tabela1: Comparativo entre os blends de PEAD

4.5 PROCESSO DE CONFORMAÇÃO EXTRUSÃO-SOPRO

O processo de extrusão sopro, também denominado pelas siglas EBM (extrusion blow molding) ocorre com a utilização de uma máquina extrusora mostrada na figura 5, onde são destacados os componentes mais importantes do equipamento, bem como a nomenclatura de cada um, comumente utilizada na indústria.

Primeiramente, o polímero granulado, também chamado de peletizado, é inserido na tremonha ou funil de abastecimento, e por gravidade chega até o cilindro com a rosca extrusora. Durante sua passagem pelo cilindro o material sofre cisalhamento, devido a rotação da rosca, provocando o aquecimento do mesmo, que deve chegar ao seu ponto de fusão para que haja maior fluidez durante o processo. Esta etapa do processo está intimamente ligada ao Índice de Fluidez (IF) do material. Quando esta força de cisalhamento gerada pela rosca não é suficiente para alcançar a fusão e homogeneização do material, as resistências elétricas são ligadas a fim de aquecê-lo. Com as resistências ligadas o material passa por três etapas de aquecimento, garantindo sua plastificação (fusão/homogeneização) e permitindo seu escoamento [24], [25].

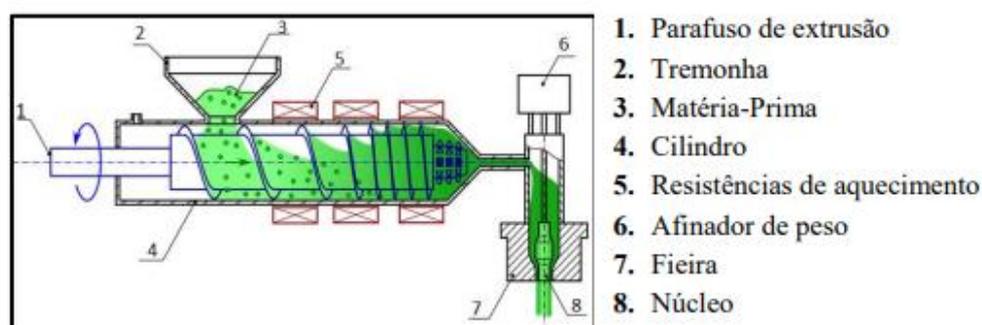


Fig. 5. Processo e nomenclatura do equipamento de extrusão-sopro [25].

O material fundido é transportado pela rosca ou parafuso de extrusão até o molde, onde ele é despejado. No interior do molde há o deslocamento para as zonas de sopro, onde os componentes chamados de calibradores insuflam o material para que este ganhe a geometria do molde. Após o resfriamento o produto é retirado do molde e são efetuados os processos de acabamento final. A parte do processo relacionada ao sopro pode, de forma simplista, pode ser comparada a um balão, que quando insuflado e restringido por uma determinada geometria, um molde, adquire a forma dessa mesma geometria [25].

Tendo em mente este princípio, o processo de formação de um objeto por extrusão sopro inicia-se com a formação de uma manga, usualmente denominada de Parison. A manga é inserida no molde, usualmente composto em duas metades, e soprada de forma a que a manga, agora estirada, contate com as paredes frias do molde e adquira a forma pretendida. Assim que resfriado, o objeto recém-formado é removido do molde, no entanto há que remover os excessos de material provenientes do

processo de moldação até obter o produto final [25]. O processo pode ser observado em sequência de acordo com a Figura 6.

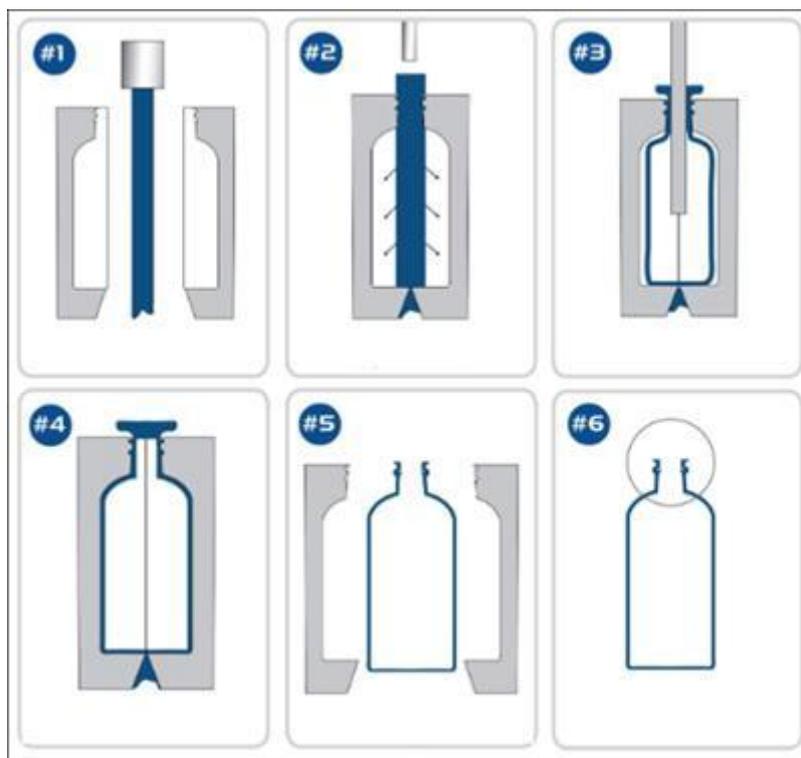


Fig. 6. Processo de Sopro [25].

4.6 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS TANQUES DE ARLA 32 E COMBUSTÍVEL

Por ser um plástico produzido sinteticamente, o polietileno passa por uma série de processos antes de adquirir seu formato final de matéria prima, conforme descrito nos capítulos anteriores. Nesta etapa do processo, o fabricante utiliza do petróleo ou da cana-de-açúcar como base e obtém o plástico granulado ou peletizado como produto, o qual é transportado até o processista de tanques, para que seja feita sua conformação. Independente da escolha, o equipamento utilizado, o processo de produção é basicamente o mesmo, ou seja extrusão-sopro. Na figura 7, é mostrada um equipamento utilizado atualmente na produção de tanques de ARLA 32.



Fig. 7. Equipamento de extrusão-sopro.

Neste processo a matéria prima irá se transformar em um componente utilizável, agregando valor ao produto. O Polietileno de Alta Densidade chega na forma granulada e é misturado com de negro de fumo (NF) com porcentagem que podem variar entre 1,5 e 2%, antes de ser levado até a extrusora. O uso do NF proporciona o meio economicamente mais eficiente para alcançar o nível requerido de proteção do polietileno ao intemperismo ligados aos raios ultra violeta (UV), necessário sem comprometer os requisitos de desempenho final e auxilia na melhoria das propriedades mecânicas do produto final.

No processista, são ajustados alguns detalhes de parametrização do equipamento para realizar o Set up da máquina de extrusão-sopro. Este tipo de ajuste mais detalhado, varia de acordo com o tipo de PEAD utilizado. É neste momento em que as diferenças vêm à tona. Durante a passagem pelo cilindro, o PEAD Verde é capaz de atingir a temperatura ideal e fluir pelo equipamento sem a necessidade de acionar as resistências elétricas. Neste caso, as resistências elétricas se fazem necessárias durante o processo de produção pós Set up.

Devido a isso, é realizado o estudo do fluxo de massa dentro da máquina extrusora que possui alta dependência da vazão do material para evitar trincas do parafuso/rosca estrusora, e os resistores devem ser usados para obter a temperatura necessária para processar e suportar o parison, antes de fechar o ferramental e soprar, sob pressão controlada, a massa para copiar o molde. Com isso, uma nova configuração de Set up é definida.

Set up, é o conjunto de configurações aplicadas sobre o processo através do ajuste do equipamento, modificando os parâmetros de controle, como por exemplo, quanto ao tempo de sopro, tempo de resfriamento, velocidade de extrusão, tempo de fechamento do molde, tempo de abertura do molde, entre outras variáveis que precisam ser alteradas, utilizando o PEAD Verde para a retirada da primeira peça aprovada para que a produção seja liberada.

4.7 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO USO DE PEAD VERDE NO PROCESSO

No desenvolvimento deste PEAD Verde aplicado em tanques de ARLA 32 foi identificado que, durante o processo de extrusão-sopro dos tanques a temperatura ideal de operação da máquina em Set up, foi atingida sem a necessidade de ligar as resistências elétricas do equipamento, o que economiza uma quantidade significativa de energia demandada no processo durante esse procedimento.

A aplicação desta ideia em uma produção de larga escala de tanques de ARLA 32 e Combustível, onde são produzidos aproximadamente 130.000 tanques de ARLA 32 por ano, o resultado seria uma redução de consumo de energia para a fabricação deste componente, logo, um benefício na eficiência energética promovida pela matéria prima no processo de fabricação.

Levando em conta os dados de consumo de energia, de tempo de Set up, quantidade de Set up por semana e o número de máquinas, é possível encontrar a quantidade de horas utilizadas para Set up no ano e posteriormente a quantidade de energia despendida no ano. A Tabela 2 a seguir, mostra esses dados para a produção de PEAD de base fóssil.

Dados	Valores
Gasto energético/máquina (kW/h)	130
Tempo de Set up (h)	3
Quantidade de Setup semana (para 1 máquina)	4
Quantidade de máquinas	6

Tabela 2: Valores utilizados no cálculo de energia elétrica

Aplicando contas simples, conforme equação 1, com os dados da tabela 2, primeiro calculou-se o tempo total de Set up por semana em horas, como: Tempo de Set up (h) x Quantidade de Setup semana (para 1 máquina) x Quantidade de máquinas.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{Equação 1}$$

P → Potência Elétrica [kW]

E → Energia medido em quilowatt por hora [kWh]

Δt → Variação do tempo, medido em horas [h]

Levando em conta que o ano possui 52 semanas, foi calculado a quantidade de horas gastas em Set up por ano. Multiplicando este valor pelo gasto energético/máquina (kW/h), obtém-se o gasto total de energia elétrica por ano, apenas durante o processo de Set up.

Calculos	Valores
Total de set up por semana (h)	72
Semanas trabalhadas no Ano	52
Quantidade de Setup ano (h)	3.744
Energia elétrica consumida/Ano em Set Up (kW)	486.720

Tabela 3: Energia elétrica consumida por ano

Desta forma, para produzir o mesmo produto com o PEAD Verde, reduz-se o consumo de energia elétrica em cerca de 20%, segundo dados do próprio fabricante de tanques de ARLA 32. Assim sendo, se considerarmos toda produção de tanques de ARLA 32 e de Combustível de PEAD fóssil realizados por esta planta sendo substituídos por PEAD Verde, seriam economizados cerca de 97.344 kW de energia elétrica por ano.

Trazendo para a esfera econômica, foi calculada a redução de custo anual. Levando em conta um custo médio de energia de R\$ 0,50 por kW/h tem-se a redução de custo anual de R\$ 48.672,00. Obviamente, esta conta irá variar dependendo da localidade da planta, devido as diferenças de tarifas.

No Brasil existem, pelo menos, cerca de mais quatro grandes empresas produtoras de tanques em PEAD, que possuem volume de produção similar ao descrito anteriormente, se inseridas na conta, a redução de custo anual seria de aproximadamente, R\$ 243.360,00/empresa. Em questão de volume, esta conta está associada a produção estimada de 7000 Toneladas de matéria prima por ano.

Com relação ao processo de extrusão sopro, os parâmetros foram alterados para atender a nova configuração, demandada pela matéria prima. A figura 8 mostra o equipamento de sopro e a formação da manga antes de ser inserida de soprada dentro do um molde.



Fig. 8. Formação da pré forma ou Parison.

2.8 BIOECONOMIA

O conceito vem sendo bastante discutido pela comunidade devido ao contexto atual. A Comissão europeia, por exemplo, definiu a bioeconomia como a utilização de recursos biológicos renováveis existentes no planeta terra para a produção de alimentos materiais ou energia [26]. Alguns autores completam a definição inserindo a bioeconomia como o comprometimento com o desenvolvimento para melhorar uma série de fatores, como, compostos químicos, materiais de construção, utilização da biomassa substituindo as fontes fósseis para geração de energia, fabricação de combustíveis e polímeros [11][23].

Bioeconomia possui diferentes visões e em geral objetiva o crescimento econômico, a criação de novos empregos, sustentabilidade ambiental, processos ecológicos que aperfeiçoem a utilização energética, o favoreçam a biodiversidade e diminua a degradação do planeta como um todo, através do desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de utilização da biomassa. A biomassa é uma fonte extremamente rica de energia e a matéria prima, sendo trabalhada de forma consciente, se perpetuará como sendo renovável [23].

A bioeconomia inserida na cadeia de fornecimento para componentes automotivos mostra um quadro onde outras matérias primas, agora de fontes renováveis, são integradas aos processos produtivos de peças e dependendo do caso pode-se, até mesmo, aproveitar dos mesmos equipamentos já utilizados para materiais de fontes não renováveis, como é o caso da aplicação Drop in [12]. Um dos dois, ou os dois requisitos devem ser cumpridos para que um material possa ser considerado de fonte renovável, podendo ser de fonte renovável e/ou biodegradável [27].

Simplificadamente o conceito de Drop in, significa a produção de um material equivalente verde, através do uso de fonte renovável. Neste processo o material equivalente chega ao mesmo composto final e adquire propriedades iguais e ou similares ao original, podendo até mesmo compartilhar parte da cadeia produtiva. Geralmente o termo é usado em relação a produtos químicos de commodities e polímeros com grandes volumes de produção. Os produtos químicos Drop-in são fáceis de implementar tecnicamente, pois a infraestrutura existente pode ser usada. Exemplos: Metano (extraído de biomassa), etileno/PE/PET, propileno/PP e bionafta, todos eles podendo ser extraídos de fontes renováveis alternativas [13]. A figura 9 seguinte exemplifica o conceito.

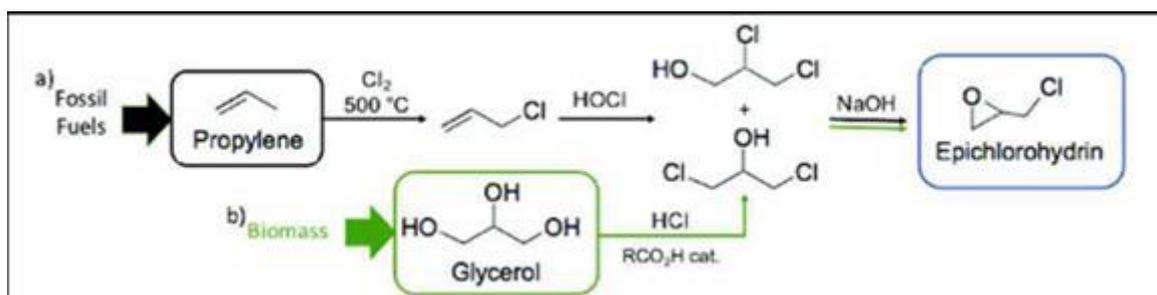


Fig. 9 Conceito de material Drop in [11].

Tratando da bioeconomia no Brasil, várias vantagens competitivas podem ser destacadas, dando ao país uma grande oportunidade de ser um dos protagonistas no segmento. Dentre os pontos positivos, pode-se citar:

- i. Possuir enorme biodiversidade;
 - ii. Baixo custo na produção de biomassa, principalmente cana-de-açúcar;
 - iii. Possuir agricultura tropical avançada, fundamentada pela aplicação de ciência e tecnologia.
- Além disso, o território possui vasto espaço para a implementação de culturas agrícolas [28].

Além de substituir a utilização de uma fonte finita de recursos que é o petróleo, a utilização do PEAD Verde reduz a pegada de carbono deixada no ambiente. Para o caso do tanque de ARLA 32 de PEAD Verde, o cálculo da pegada de carbono durante seu processo de fabricação leva em conta que durante a plantação e crescimento da Cana-de-açúcar, há remoção de CO₂ do meio ambiente, fazendo com que sua utilização inverta o cenário atual do de origem fóssil e, desta maneira, a cadeia produtiva, como um todo, passa a remover CO₂ do ambiente ao invés de emití-lo. Conforme mostra a figura 10.



Fig. 10. Redução de emissões de CO₂ por tonelada de PE verde produzido [14].

O processo produtivo do Polietileno de origem fóssil emite 2,1 toneladas de CO₂ por tonelada produzida, enquanto o Polietileno verde retira do ambiente 2,5 toneladas de CO₂ por tonelada, graças ao plantio da Cana-de-açúcar, eliminando um delta de 4,6 toneladas de CO₂ da atmosfera por tonelada produzida [14], [23]. Com isso, pode-se avaliar a aplicação do polietileno verde como algo possível e com grandes impactos positivos para o setor.

Enquadrando este projeto no o conceito de bioeconomia circular, vemos uma contribuição excelente para o meio ambiente, além da demonstração de como as pesquisas e testes podem chegar a uma tecnologia capaz de utilizar biomassa em veículo comerciais com um produto que reduz as

emissões de CO₂ em sua cadeia produtiva e ao final do seu ciclo de vida é 100% reciclável, contribuindo com o ambiente para a redução de lixo e resíduos. A figura 11, mostra a imagem de tanques de ARLA 32 produzidos.

Ao todo, a aplicação do polietileno verde nos tanques de ARLA 32 e combustível, em veículos comerciais, podem acarretar na redução de até 180.000 toneladas de CO₂ por ano no mercado Sul Americano.



Fig. 11. Tanques de ARLA 32 recém produzidos.

4.9 TESTES DE VALIDAÇÃO

Após o acerto do equipamento de extrusão sopra e a obtenção de tanques com o dimensional aceitável, foram realizados testes controlados, conforme norma, para validar sua utilização. O tanque em questão é utilizado para veículos extra pesado e possuem capacidade de 100L. A montadora utiliza de três principais testes (figura 12) para garantir a aplicação dos tanques, são eles:

- Teste de trenó, conforme norma interna;
- Teste de Resistência sob pressão interna, conforme NBR 11474;
- Teste de resistência ao impacto tipo pêndulo conforme NBR-11473;



Fig. 12. Testes de validação requisitados para a validação do tanque de Arla

Além disso, para suportar a validação em tanques de combustível Diesel foi realizado o teste de flamabilidade conforme norma NBR 11478. A figura mostra a algumas imagens do teste.



Fig. 13. Teste adicional demandado para o tanque de combustível.

A rigorosidade dos testes faz com que o histórico de falhas em campo para tanques de ARLA 32 aprovados nos testes seja considerado como zero, uma vez que não foi detectado quebra de tanques sem sofra ação externa direta, como colisão veicular, por exemplo. Logo, a aprovação representa confiança suficiente para montar o componente em um veículo de produção.

Apesar das diferenças existentes entre o PEAD e o PEAD Verde, foi aprovado em todos os testes, mostrando que é possível e confiável utiliza-lo em veículo.

Foram realizadas as em veículos em durabilidade veicular completa para as condições:

- Ciclo Cidade
- Teste Estrutural
- Ciclo Rodoviário

Conforme os veículos foram acumulando quilometragem, foram realizadas paradas programadas nas quais ocorrem inspeções no tanque de ARLA 32, a fim de garantir que não haja nenhum defeito na peça. Atualmente, todos os veículos e produção estão sendo produzidos com o blend de PEAD Verde nos tanques com volumes de 100 litros e 60 litros.



Fig. 14. Tanque de ARLA 32 de PEAD Verde.

Testes veiculares foram realizados para certificar a representatividade da vida do tanque de ARLA 32 em PEAD Verde nas condições mais críticas. A figura 15 apresenta as configurações de teste realizado, bem como as quilometragens e ciclos de testes realizados.

TESTES DE VALIDAÇÃO	2023												2024											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	
Veículo 1	[Bar chart showing test duration from Jan to Jun 2023]												190.000 Km Highway test											
Veículo 2	[Bar chart showing test duration from Jan to Jul 2023]												235.000 Km Highway test											
Veículo 3	[Bar chart showing test duration from Jan to Apr 2023]												2.000 ciclos Teste estrutural											
Veículo 4	[Bar chart showing test duration from Jan to Jun 2023]												200.000 Km Highway test											
Veículo 5	[Bar chart showing test duration from Jan to Jun 2023]												180.000 Km Highway test											

Fig. 15. Cronograma de testes realizados para validação do produto.

5 CONCLUSÕES

- O PEAD Verde trouxe alguns resultados interessantes durante o processo de produção pós Set up.
- O IF do PEAD Verde gerou necessidade de alterações nos parâmetros de processo do equipamento de extrusão sopro e conseqüentemente trouxe um incremento em produtividade, aumentando em 3 peças a mais por hora.
- A decisão de se realizar o teste de flamabilidade, que inicialmente não estava previsto, foi tomada após os resultados obtidos nos testes de impacto e de trenó, que promoveu a confiança em verificar como o material se comportaria como um tanque de combustível. O resultado deste teste trouxe uma outra configuração de produto que, à princípio, não estava sendo considerado. O volume em massa dos tanques de combustível com PEAD Verde para a montadora de maior volume do mercado, promove uma redução de emissões de CO₂ em torno de 2300 toneladas/ano, decorrente apenas da matéria prima.



- A redução e energia elétrica foi uma grande surpresa observada durante o Set up do equipamento para produzir peças para testes de validação. A partir do momento inicial até o início da produção, as resistências elétricas não foram ativadas e isso se repetiu nos dias seguintes, onde o processo se repetiu e confirmando assim que não necessitou serem ativadas.
- A produtividade por hora, também sofreu alteração, tendo um incremento de 3 peças a mais.
- A configuração de aumento de produtividade e de redução do consumo de energia elétrica durante o Set up, levam a auxiliar no off set do preço atual do PEAD Verde, que ainda encontra-se em escala piloto. Logo que a produção se tornar em condição de grande escala, os custos devem se tornar mais atrativos.
- A montadora que suportou os testes, implementou em sua produção o tanque de ARLA 32 Verde no final de 2023, devido a pegada de carbono, das metas de sustentabilidade estabelecidas e da economia circular que esse material promove, aumentando a porcentagem de reaproveitamento das aparas de processo.



REFERÊNCIAS

- [1] L. F. da Silva, “Relações Públicas E Sustentabilidade Empresarial No Brasil: Uma Análise A Partir Das Diretrizes Atuais Esg E Agenda 2030”, Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.
- [2] European Commission, “Comissão Europeia”, Comissão Europeia, 1958. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/european-commission_pt (acessado jun. 29, 2022).
- [3] European Commission, “A European Green Deal”, Striving to be the first climate-neutral continent, 2019. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (acessado maio 19, 2022).
- [4] S. R. Amaral, V. Tavares De Almeida, P. R. Martins, e G. Marques, “Desenvolvimento de Produtos com Material Drop In Para Descarbonização”, São Paulo, 2022. [Online]. Available: www.aea.org.br•www.aeabrazil.com
- [5] A. Yabe, M. Rafael, V. Mancuso, R. D. Godinho, e M. K. Poppe, “O Acordo De Paris E A Transição Para O Setor De Transportes De Baixo Carbono: O Papel Da Plataforma Para O Biofuturo”, Biocombustíveis | BNDES Setorial, vol. 45, p. 285–340, 2017.
- [6] United Nations, “COP26: Together for our planet | United Nations”, COP26: Together for our planet, 2021. <https://www.un.org/en/climatechange/cop26> (acessado maio 22, 2022).
- [7] “IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change”. <https://www.ipcc.ch/> (acessado ago. 13, 2022).
- [8] S. Bergamini Junior, “ESG, Impactos Ambientais e Contabilidade”, Pensar Contábil, vol. 23, no 80, p. 46–54, fev. 2021, [Online]. Available: www.weforum.org.
- [9] World Resources Institute, “The Science Based Targets initiative (SBTi) | World Resources Institute”. <https://www.wri.org/initiatives/science-based-targets> (acessado maio 22, 2022).
- [10] Pacto Global Rede Brasil, “Pacto Global”, Science Based Targets, 2022. <https://pactoglobal.org.br/pg/science-based-targets> (acessado maio 22, 2022).
- [11] M. Carus e L. Dammer, “The ‘Circular Bioeconomy’ - Concepts, Opportunities and Limitations”, Hurth (Germany), 50354, jan. 2018.
- [12] F. D. A. Oroski, F. C. Alves, e J. V. Bomtempo, “Practitioner`s Section bioplastics Tipping point: drop in or non-drop-in?”, Journal of Business Chemistry, vol. 11, no 1, p. 131–136, 2014.
- [13] M. Carus, L. Dammer, Á. Puente, A. Raschka, e O. Arendt, “Bio-based drop-in, smart drop-in and dedicated chemicals”, European Union, 2017. [Online]. Available: <http://bio-based.eu/nova->
- [14] Braskem, “Biopolímero Polietileno Verde, inovação transformando plástico em sustentabilidade.”, mar. 2012. [Online]. Available: www.braskem.com.br
- [15] CETESB, “ARLA 32”, ARLA 32 | CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022. <https://cetesb.sp.gov.br/arla-32/> (acessado jun. 30, 2022).



- [16] M. A. G. Abreu, “A Importância da Qualidade do Arla 32 Distribuído no Estado de Rondônia”, Projeto de conclusão de curso, Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, RO, 2017.
- [17] Y. M. Cordeiro, B. D. de Azevedo, R. M. Soares, C. dos S. S. Franco, e C. V. F. dos Santos, “Aplicação do Polietileno no Contexto da Química Verde”, Revista de engenharias da Faculdade Salesiana, vol. 8, p. 26–33, 2018.
- [18] A. Boborodea e A. Brookes, “Characterization Of Polyethylene Type, Density And Molecular Weight By Coupling An Agilent Gc With The Agilent Pl-Gpc 220 High Temperature Gpc Triple Detection”, Agilent Technologies, 2015.
- [19] Fernanda M. B. Coutinho, Ivana L. Mello, e Luiz C. de Santa Maria, “Polietileno: Principais tipos, Propriedades e Aplicações”, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, no 1, p. 1–13, 2003.
- [20] F. A. Mesquita, “Modificação das propriedades do polietileno de alta densidade por diferentes condições de extrusão”, Mestrado, Escola Politécnica, São Paulo, 2010. doi: 10.11606/D.3.2010.tde-10012011-103025.
- [21] W. D. Callister Jr. e D. G. Rethwisch, *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, 9o ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [22] R. Belloli, “Polietileno Verde do Etanol da Cana-de-açúcar Brasileira: Bipolímero de classe mundial”, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Faculdade De Engenharia , Porto Alegre, 2010.
- [23] S. R. Amaral, V. Tavares De Almeida, A. B. Bonel, P. Rogério, e M. Bepo, “Aplicação da Bioeconomia com Material Drop in em Veículos Comerciais”, São Paulo, 2022.
- [24] S. Manrich, *Processamento de Termoplásticos: Rosca única, extrusão & Matrizes, Injeção & Moldes*. São Paulo, 2005.
- [25] J. D. R. Duarte, “Acompanhamento e estudo dos processos de injeção, extrusão e sopro na empresa Logoplaste”, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2017.
- [26] European Commission, “Bioeconomy”, Why the EU supports bioeconomy research and innovation, 2020. https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/bioeconomy_en (acessado jun. 20, 2022).
- [27] L. de M. Resende, “Análises das Características do Polietileno Verde Como Alternativa a Substituição do Polietileno Petroquímico”, Bacharel, Centro Universitário de Formiga, Formiga, MG, 2018.
- [28] R. F. Dias e C. A. A. de Carvalho, “Bioeconomy in Brazil and in the world: Current situation and prospects”, Revista Virtual de Química, vol. 9, no 1, p. 410–430, jan. 2017, doi: 10.21577/1984-6835.20170023.