

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

**Tendências da Engenharia de Materiais na
Sustentabilidade Corporativa**

GABRIELA CAMARGO FERNANDES DOS SANTOS

SÃO CARLOS -SP
2023

Tendências da Engenharia de Materiais na Sustentabilidade Corporativa

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Marini

São Carlos-SP
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
Telefones: 16 -3351-8244 e 3351-8246
Endereço eletrônico: demachef@ufscar.br
Rodovia Washington Luís, km 235 – Caixa Postal 676
CEP 13565-905 – São Carlos – SP - Brasil



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

NOME: Gabriela Camargo Fernandes dos Santos

RA: 744384

TÍTULO: Tendências da Engenharia de Materiais na sustentabilidade corporativa

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Juliano Marini

CO-ORIENTADOR(A):

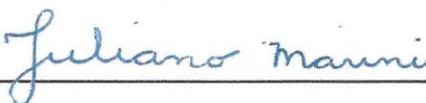
DATA/HORÁRIO: 13/03/2023, 19h

BANCA – NOTAS:

	Monografia	Defesa
Prof. Dr. Juliano Marini	10,0	10,0
Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli	10,0	10,0
Média	10,0	10,0

BANCA – ASSINATURAS:

Prof. Dr. Juliano Marini



Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli



DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a meus pais, a meus avós, ao meu namorado e aos amigos
que me acompanharam durante essa etapa inesquecível da vida:
a graduação.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, que me ampara em todos os momentos, até mesmo aqueles em que eu achava que não teria forças. Sou grata por tudo o que eu vivi e todas as oportunidades que ainda vão aparecer e me proporcionar experiências tão importantes quanto essa.

Agradeço todos os dias a minha mãe, Suely, a quem devo tudo o que sou hoje. Ela está ao meu lado em cada obstáculo da universidade e da vida e me dá força e apoio em todos os momentos. Palavras não são suficientes para descrever o quanto agradeço a Deus pela mãe que tenho.

Meu pai e meus avós também são parte da minha história e de quem sou. Meu avô Laércio alegra nossos dias e nos ensina tanto sobre resiliência e bondade. Minha avó que sempre me acompanha do céu e me orienta nos meus dias mais desafiadores. Meu pai também é fundamental nessa trajetória, incentivou e deu suporte aos meus estudos.

Não sei o que seriam dos meus dias na universidade sem meus amigos e meu namorado. Sou muito grata pela companhia diária e força para os dias de luta e os dias de glória. Obrigada, Marina, por ter sido minha companheira de apartamento e por ter me apresentado a Carol, formamos um trio que amo muito. Obrigada Camila, João e Caique pela parceria, estudos e jogos, vocês foram meu primeiro porto seguro da UFSCar. Obrigada Luiz por ser meu parceiro na vida. Todos são minha família de São Carlos.

Não poderia deixar de ressaltar os projetos de extensão que participei, os quais, sem dúvidas, foram essenciais para meu desenvolvimento profissional e pessoal, além de me apresentarem pessoas incríveis que levarei como amigas para a vida. Obrigada, GIRE UFSCar, Materiais Júnior e Operação Natal.

Para a realização desse trabalho, agradeço aos que colaboraram com relatos pessoais e trocas de experiência sobre o mercado de trabalho por meio das entrevistas realizadas. Foi muito enriquecedor conversar com todos.

Por fim e não menos importante, gostaria de agradecer ao apoio e as orientações do Prof. Dr. Juliano Marini, que foi essencial para a entrega do trabalho, pois sua dedicação aos alunos e disposição para transmitir conhecimento são exemplos a serem seguidos.

RESUMO

Diante dos desafios ambientais, sociais e econômicos, é crescente a demanda do mercado e dos consumidores em relação a novas atitudes no ambiente corporativo. Assim, empresas estão atentas à agenda ESG, sigla que significa, em inglês, *Environmental, Social and Governance* e, traduzido, Meio Ambiente, Social e Governança. Elas visam pautas como a redução de emissão de gases do efeito estufa, preocupação com a sociedade, como diversidade e inclusão de minorias, e transparência de dados para segurança das informações. No segmento ambiental, há atualmente uma preocupação relacionada com os polímeros, desde sua produção até as suas inúmeras aplicações, devido ao acúmulo de resíduos em mares e oceanos, prejuízos à fauna e flora e até mesmo prejuízos à saúde humana. Soluções para esses problemas surgem por meio da economia circular, com a gestão dos resíduos sólidos, processos de reciclagem, desenvolvimento de materiais sustentáveis e acompanhamento de impactos no ciclo de vida, funções estas que exigem conhecimentos da Engenharia de Materiais, demonstrando a importância da profissão nessa temática. O presente trabalho aborda a importância da atuação dos(as) Engenheiros(as) de Materiais e as possibilidades de orientação profissional em uma carreira na sustentabilidade para uma pessoa com essa graduação, caso tenha interesse no tema. A partir disso, com base na leitura de artigos, análise de planos para desenvolvimento sustentável de empresas orientadas ao ESG e também em entrevistas com pessoas atuantes nesse segmento, vê-se um maior movimento em relação a embalagens poliméricas, visto que estas são uma das aplicações predominantes dos plásticos e com menor ciclo de vida, sendo rapidamente descartadas, consideradas de “uso único”. Esse tipo de aplicação valoriza características dos polímeros como leveza, resistência mecânica, química e térmica e múltiplas opções de design, porém não leva em consideração o aspecto de alta durabilidade desse material, permanecendo muitos anos na natureza. Assim, fica evidente a importância do caráter analítico proporcionado pelo curso de engenharia, sendo essencial uma visão crítica desde a síntese da resina até o descarte do material. O direcionamento de atuação é diversificado e pode ir desde análise de dados, como, por exemplo, utilizando ferramentas de análise de ciclo de vida, até tarefas práticas com realização de ensaios para validação de materiais e aditivos. Outro ponto é em relação a relevância da comunicação, sendo essencial a passagem de informações de maneira didática para evitar prejuízos no desempenho e descarte do produto feito pelo consumidor. Portanto, fica claro que conhecimentos da engenharia de materiais contribuem significativamente para caráter ESG em empresas que produzem ou utilizam materiais poliméricos.

Palavras-chave: Sustentabilidade. ESG. Engenharia de Materiais. Polímeros.

ABSTRACT

Faced with environmental, social and economic challenges, there is a growing demand from the market and consumers regarding new attitudes in the corporate environment. Thus, companies are aware of the ESG (Environmental, Social, Governance) agenda, targeting guidelines such as reducing greenhouse gas emissions, concern for society such as diversity and inclusion of minorities, and data transparency for information security. In the environmental segment, there is currently a concern related to polymers, from their production to their numerous applications, due to the accumulation of waste in seas and oceans, damage to fauna and flora and even harm to human health. Solutions to these problems arise through the circular economy, with solid waste management, recycling processes, development of sustainable materials and monitoring impacts on the life cycle, functions that require knowledge of Materials Engineering, demonstrating the importance of the profession on this theme. The present work addresses the importance of the role of Materials Engineers and the possibilities of professional guidance in a career in sustainability for a person with this degree, if you are interested in the subject. From this, based on the reading of articles, analysis of plans for sustainable development of ESG-oriented companies and on interviews with people working in this segment, one sees a greater movement in relation to polymer packaging, since these are one of the predominant applications of plastics and with a shorter life cycle, being quickly discarded, considered "single use". This type of application values polymer characteristics such as lightness, mechanical, chemical, thermal resistance, and variety of design, but does not consider the high durability aspect of this material, remaining many years in nature. Thus, the importance of the analytical character provided by the engineering course is evident, being essential a critical view from the resin to the disposal of the material. The direction of action is diverse and can range from data analysis, such as, for example, using life cycle analysis tools, to practical tasks with carrying out tests for the validation of materials and additives. Another point is related to the relevance of communication, it being essential to transmit information in a didactic way to avoid losses in the performance and disposal of the product made by the consumer. Therefore, knowledge of materials engineering significantly contributes to the ESG character in companies that produce or use polymeric materials.

Keywords: Sustainability. ESG. Materials Engineering. Polymers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Procura do termo ESG globalmente	4
Figura 2 – Economia circular	6
Figura 3 – Tetraedro da Engenharia de Materiais	7
Figura 4 – Códigos de reciclagem para polímeros	10
Figura 5 – Estrutura química de: a) poli(ϵ -caprolactona) (PCL); b) poli(ácido láctico) (PLA); c) poli(ácido glicólico) (PGA) e, d) poli(ácido glicólico-láctico) (PGLA)	11
Figura 6 – Matriz de polímeros de fonte fóssil ou renovável, biodegradável ou não	12
Figura 7 – Capacidade de produção global de bioplásticos em 2022	13
Figura 8 – Critérios ambientais monitorados pelas gestoras de capital de risco	17
Figura 9 – Possíveis destinos dos materiais	17
Figura 10 – Procedimento adotado na empresa GlobalPet	20
Figura 11 – Profissional Catador de Material Reciclável	20
Figura 12 – Quantidade de entrevistados por ano de entrada na graduação	24
Figura 13 – Setores consumidores de transformados plásticos em valor de consumo (2019)	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura ESG (Adaptado)	5
Tabela 2 – Separação entre polímeros biodegradáveis e biopolímeros	12

LISTA DE SIGLAS

ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
GEE	Gases de Efeito de Estufa
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
PET	Politereftalato de etileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PLA	Poli (ácido láctico)
PGA	Poli (ácido glicólico)
PGLA	Poli (ácido láctico-co-ácido glicólico)
PCL	Poli (ε-caprolactona)
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PRI	<i>Principles for Responsible Investment</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
EPS	Poliestireno Expandido
ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
UE	União Europeia
DOP	Plastificante dioctil ftalato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	2
2	METODOLOGIA	3
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1	ESG E ECONOMIA CIRCULAR	4
3.2	ENGENHARIA DE MATERIAIS	7
3.2.1	Polímeros	8
3.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)	13
3.4	RECICLAGEM	14
4	SÍNTESE DE DADOS E DISCUSSÃO	16
5	ENTREVISTAS	23
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
7	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Debates sobre desenvolvimento sustentável vem ganhando força na atualidade. Esse termo se refere ao desenvolvimento que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”, segundo relatório da Organização das Nações Unidas de 1987, e é de fundamental importância e urgência para a continuidade do planeta e da humanidade. A sociedade e o meio ambiente vêm enfrentando diversos obstáculos para a sua existência, como poluição do ar e dos mares, crescentes eventos climáticos ao longo da história devido ao aquecimento global e extinção de diversas espécies. Paralelo a isso, a desigualdade social fica em evidência com falta de acesso a direitos humanos, como alimentação, moradia e saneamento básico ao mesmo tempo que o consumismo segue em exponencial crescimento. [1]

Diante dessa realidade, a temática ESG (meio ambiente, social e governança) ganha força com objetivo de destacar o importante papel corporativo nas ações para o desenvolvimento sustentável. As empresas preocupadas com essa agenda têm se destacado no mercado financeiro e aos olhos dos consumidores conscientes.

O apoio de grandes empresas em temáticas ambientais e sociais gera benefícios para aumento do lucro empresarial e para a sociedade. Cada profissão tem seu papel na construção de um mundo melhor. A Engenharia de Materiais, na sua função científica e tecnológica de estudo dos materiais, possui ampla gama de atuação nos diferentes tipos de indústrias, desde a síntese da matéria-prima até o final do ciclo de vida, na reciclagem, por exemplo.

Um dos maiores problemas discutidos em relação a sustentabilidade atualmente é a poluição plástica, uma vez que esse tipo de material apresenta baixo custo, leveza, é muito utilizado para uso único e o gerenciamento de tipo de resíduo ainda não é eficiente, ocasionando em acúmulo tanto em aterros sanitários quanto despejo em mares e oceanos, o que prejudica significativamente a natureza e até mesmo a saúde humana. Soluções para esse tópico surgem a partir da Economia Circular com a reciclagem, desenvolvimento de novos materiais e análise dos riscos durante o ciclo de vida para, assim, contribuir para um desenvolvimento sustentável.

Desse modo, o presente trabalho visa difundir pesquisas e textos didáticos com conteúdo relacionando ESG a Engenharia de Materiais a fim de contribuir para a formação de mais profissionais especializados nesta temática e divulgar a carreira demonstrando a importância desse profissional no mercado de trabalho.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é fornecer uma revisão bibliográfica sobre a temática ESG (*Environmental, Social and Governance*), com foco no meio ambiente, e relacioná-la com o papel do Engenheiro de Materiais no mercado de trabalho em indústrias poliméricas de segunda ou terceira geração, ou seja, aquela que produz o polímero e a que realiza o processamento dele visando um produto final, respectivamente, e também indústrias de bens de consumo, as quais compram produtos poliméricos de outras empresas. [2]

2. Metodologia

A revisão bibliográfica consiste em uma pesquisa científica que envolve busca e análise de conhecimentos presentes em livros, artigos de periódicos e de jornais, teses, dissertações etc. sintetizando informações acerca de um tema específico, incluindo seus subtemas. Esse tipo de estudo pode ser referenciado de diversas formas como “levantamento bibliográfico”, “estado da arte”, “revisão de literatura” ou “metassumarização”.

A primeira etapa de uma revisão é o levantamento bibliográfico para posterior construção de um texto que contextualize o assunto e analise criticamente o mesmo. Para desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi realizada uma fundamentação teórica para conceituar o termo ESG e a Engenharia de Materiais, focando nos polímeros, os quais também foram explicados. Para relacionar ambos os assuntos, foram elencados artigos inerentes ao tema, como análise do ciclo de vida, reciclagem e polímeros biodegradáveis. Em seguida foi definido o raciocínio lógico para que possibilite argumentação de acordo com as referências utilizadas para, por fim, fornecer uma conclusão com a síntese das informações coletadas. A fim de complementar o estudo, foram feitas entrevistas com profissionais do ramo contatados via rede social LinkedIn e entrevistados por chamada de vídeo. Os principais tópicos abordados foram:

- área de atuação,
- presença de temas de sustentabilidade na rotina profissional,
- uso de conceitos básicos de engenharia de materiais no trabalho,
- papel do(a) engenheiro(a) na comunicação em relação a problemática dos polímeros,
- possíveis complementações de estudos,
- dicas e direcionamentos para atuação na sustentabilidade.

Os profissionais que colaboraram para o estudo não foram identificados neste trabalho visto que o objetivo era uma conversa informal sem prejudicar possíveis confidencialidades de suas respectivas empresas.

3. Fundamentação Teórica

3.1. ESG e Economia Circular

ESG é uma sigla que vem ganhando destaque no mundo corporativo e financeiro e significa, em inglês, *Environmental, Social and Governance* e, traduzido, Meio Ambiente, Social e Governança Corporativa. Esse termo surgiu em 2004 a partir de um texto do secretário-geral da ONU, Kofi Annan, a 50 CEOs de grandes instituições financeiras e a procura por esse termo vem crescendo ao longo dos anos [Figura 1]. A sigla comumente é utilizada como sinônimo de sustentabilidade empresarial e demonstra que essa temática além de chamar atenção dos ambientalistas e consumidores, também está sendo analisado no mercado financeiro por investidores, uma vez que avalia os riscos de cada empresa para as três áreas citadas. [3]

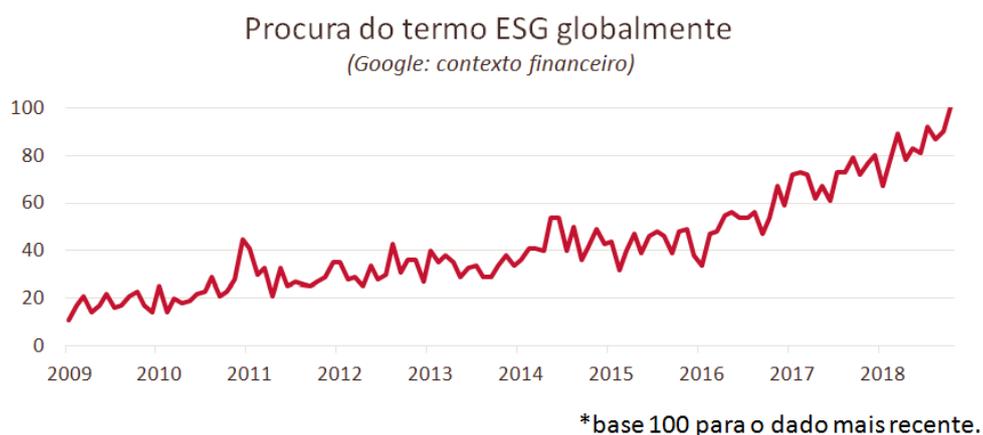


Figura 1: Procura do termo ESG globalmente [4]

Os Princípios para Investimento Sustentável, formado por um grupo internacional de investidores e com apoio da ONU, abordam que o ESG é um investimento sustentável que leva em consideração os três tópicos anteriormente citados para decisões de investimento, sendo um padrão e uma estratégia para avaliar as corporações a longo prazo, pensando no desempenho futuro. Na Tabela 1 é possível verificar alguns dos tópicos mais relevantes em cada um dos segmentos do ESG. [5]

Um caminho para implantação da temática ESG em uma empresa pode seguir cinco passos, sendo eles a definição do escopo e da materialidade, criação de

inventário de riscos, plano de ação, ações de compensação e monitoramento. Nas primeiras etapas, os responsáveis devem definir as frentes de trabalho, os tópicos mais relevantes para os *stakeholders* (materialidade) e analisar os possíveis pontos de atenção na empresa (inventário de riscos). Os *stakeholders* são todas as pessoas interessadas no negócio, incluindo clientes, acionistas, colaboradores, fornecedores, comunidade etc. Em seguida, os planos de ação devem orientar para diminuir ou eliminar os riscos elencados, e aqueles que ainda permanecerem devem ser compensados por compra de créditos de carbono, por exemplo, que são equivalentes a toneladas de carbono que deixaram de ser emitidas para a atmosfera. Por fim, o monitoramento é essencial para acompanhar os resultados, indicadores e metas visando a melhoria contínua. [6]

Tabela 1: Estrutura ESG (Adaptado) [5]

<p>Environmental (E) – Meio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Inovação em produtos e processos ecologicamente corretos •Emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) •Consumo e eficiência de energia •Poluentes do ar •Uso e reciclagem de água •Produção e gestão de resíduos (água, sólido, perigoso) •Impacto e dependência da biodiversidade •Impacto e dependência dos ecossistemas
<p>Social (S) – Social</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Liberdade de associação da força de trabalho, saúde e segurança no trabalho •Discriminação, diversidade e igualdade •Pobreza e impacto na comunidade •Gestão da cadeia de abastecimento •Saúde, segurança e Privacidade do cliente •Impactos na comunidade, treino e educação
<p>Governance (G) – Governança corporativa</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Códigos de conduta e princípios de negócios •Responsabilidade •Transparência e divulgação •Pagamento executivo •Diversidade e estrutura do conselho •Suborno e corrupção •Envolvimento das partes interessadas •Direitos dos acionistas

Alinhando o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, um conceito muito utilizado é o de economia circular nas empresas, focando no ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria prima até o descarte do produto por meio de gestão dos resíduos. Diferentes materiais apresentam distintos ciclos de vida, devendo considerar, por exemplo, se o material é biodegradável ou não, reciclável ou não. Investimentos na economia circular podem contribuir para melhor desempenho das empresas na temática ESG. [7]

A Economia Circular associa o desenvolvimento econômico a um melhor uso dos recursos naturais, envolvendo o setor público, empresas, consumidores e a sociedade em geral. Apesar dos benefícios dessa frente de trabalho, a economia linear ainda predomina, ou seja, a matéria-prima é extraída, transformada, e o produto, depois de utilizado, é descartado em aterros sanitários. Isso gera acúmulo de resíduos, o que ocasiona problemas ambientais locais, como contaminações de solo, por exemplo, e, além disso, evidencia a perda de materiais, muitas vezes de fontes fóssil e não renovável, que poderiam ser aproveitados economicamente em indústrias terciárias. Desse modo, a Economia Circular consiste em um modelo de negócios que proporcione a recirculação de recursos, acabando com o “fim da vida” dos produtos, os quais devem retornar ao ciclo produtivo a fim de minimizar perdas de materiais e energia. [Figura 2] Para isso, devem ser utilizados conceitos de redução, compartilhamento, reutilização, reciclagem e remanufatura, o que envolve estudo do design dos produtos, assim como seu desempenho, aplicação e propriedades, sendo esses alguns dos diversos tópicos que são abordados na Engenharia de Materiais. [8]

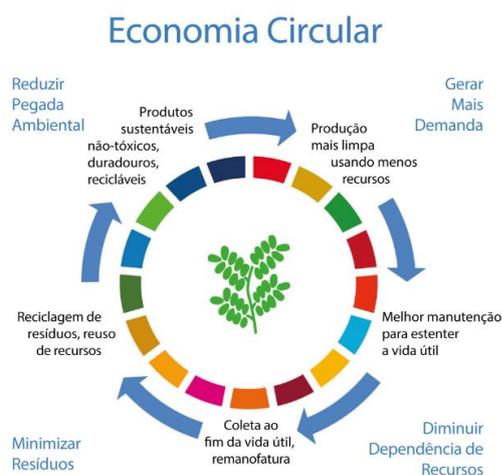


Figura 2: Economia circular [9]

3.2. Engenharia de Materiais

A engenharia de materiais estuda quatro pilares que são fundamentais para o entendimento do comportamento do material e sua aplicação: estrutura, propriedades, processamento e desempenho, utilizando para isso técnicas de caracterização [Figura 3].



Figura 3: Tetraedro da Engenharia de Materiais [10]

O primeiro curso de Engenharia de Materiais foi criado em 1970 na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus São Carlos pela equipe liderada pelo físico e químico Sérgio Mascarenhas de Oliveira. Na mesma década, apenas mais um curso de Engenharia de Materiais foi criado, sendo na Universidade Federal de Campina Grande, mas com o tempo se disseminou e, atualmente (fevereiro de 2023), 63 cursos de graduação em Engenharia de Materiais e correlatos estão autorizados e em atividade no país. [11, 12]

O profissional de Engenharia de Materiais vem ganhando espaço no mercado de trabalho, podendo atuar desde áreas técnicas como pesquisa e desenvolvimento, controle de qualidade até a parte de liderança, com gestão de projetos e/ou empreendedorismo. Além disso, o conhecimento aprofundado de propriedades e ensaios, como propriedades mecânicas, térmicas, reológicas e elétricas, permite melhor interpretação de fichas técnicas de fornecedores, tendo importante papel na indústria de transformação de plástico por fazer interface com produtores de matéria-prima.

Diante da crescente necessidade da sociedade em desenvolver novos materiais economicamente interessantes para suprir as demandas, a importância do engenheiro de materiais é crescente. Diversas tecnologias hoje presentes no cotidiano não seriam possíveis se não fosse o estudo de materiais, como, por exemplo, próteses, dispositivos eletrônicos, aumento da vida útil de alimentos por embalagens inteligentes, materiais leves para indústria aeronáutica etc. Por outro lado, também está cada vez mais evidente a escassez dos recursos naturais e o acúmulo de resíduos, mostrando a urgência de estudos relacionados à destinação e aproveitamento de materiais já existentes, muitas vezes considerados como “lixo” e que vêm sendo acumulados em aterros sanitários. Esse é um assunto que está em pauta em reuniões de governantes globais e ambientalistas, mostrando a importância desse tipo de diálogo. Na graduação de Engenharia de Materiais, algumas das disciplinas já apresentam discussões sobre temas voltados à preocupação com o meio ambiente. Na grade curricular do curso da UFSCar, pode-se encontrar tanto disciplinas obrigatórias como “Materiais e Ambiente” e “Seleção de Materiais”, quanto optativas, como “Reciclagem de Resíduos Sólidos com Ênfase em Polímeros”, que trazem informações importantes para futuros(as) engenheiros(as) quando forem exercer a profissão.

Uma das vertentes da Engenharia de Materiais foca no estudo de materiais poliméricos, os quais ganharam destaque após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) com o desenvolvimento acelerado de polímeros sintéticos. Segundo o Atlas do Plástico, entre 1950 e 2017, foram produzidos 9,2 bilhões de toneladas desse material, sendo equivalente a mais de uma tonelada por pessoa. São mais de 400 milhões de toneladas de plástico produzidas anualmente e eles são aplicados principalmente em embalagens, que representam mais de um terço de toda a produção, seguido pelo setor de construção civil, têxtil, bens de consumo e transportes. [13]

3.2.1. Polímeros

Polímeros são macromoléculas formadas por grande quantidade de unidades de repetição chamadas meros. Eles podem ser oriundos de fontes renováveis ou não, como por exemplo a borracha, que é advinda da seringueira (fonte renovável) ou o petróleo, que é fonte fóssil extingüível (não renovável). [2]

Segundo Jonhatan M. Millical e Seema Agarwal, os polímeros podem ser considerados como necessidade básica dos humanos, uma vez que sua baixa densidade, baixo custo e excelentes estabilidades térmica, química e mecânica, os tornam ideal para diversos tipos de aplicações, substituindo muitas vezes materiais metálicos e cerâmicos. Assim, estão presentes em várias partes do cotidiano, incluindo fibras, filmes, partículas, adesivos, revestimentos, destinos biomédicos, agricultura, embalagens, esportes etc. Dentre essas aplicações, os polímeros mais utilizados são os termoplásticos, os quais são capazes de amolecer e fluir quando sujeitos a aumento de temperatura e pressão, solidificando quando resfriados e, com nova submissão, amolecem e fluem novamente, sendo essa uma transformação física e reversível. [2, 14]

Diante das diversas aplicações, o estudo das estruturas, propriedades, desempenho é fundamental para o entendimento dos polímeros e definição da melhor aplicação dos mesmos na indústria, de modo que demonstre funcionalidade, baixo custo e boa estética, mas também com atenção aos impactos ambientais que pode provocar.

Para melhor identificação, os principais polímeros descartados podem ser identificados por números de acordo com a ABNT NBR 13230 [Figura 4], sendo eles: 1-PET (politereftalato de etileno), 2-PEAD (polietileno de alta densidade), 3-PVC (policloreto de vinila), 4-PEBD (polietileno de baixa densidade), 5-PP (polipropileno), 6-PS (poliestireno) e, por fim, Outros, representado pelo número 7. Os dois materiais predominantemente produzidos são o Polipropileno (PP) e o Polietileno de Baixa densidade (PEBD), ambos muito utilizados para confecção de embalagens de uso único e juntos equivalem a 35% da produção total. [13,15]

Os polímeros apresentam alto volume de produção e uso de curta duração, ao mesmo tempo em que têm longo tempo de vida, demorando para degradar. Assim, pesquisas acerca de polímeros biodegradáveis, plásticos oriundos de matéria-prima renovável, técnicas de remanufatura ou reciclagem e políticas públicas ambientais são de grande importância e estão em destaque.

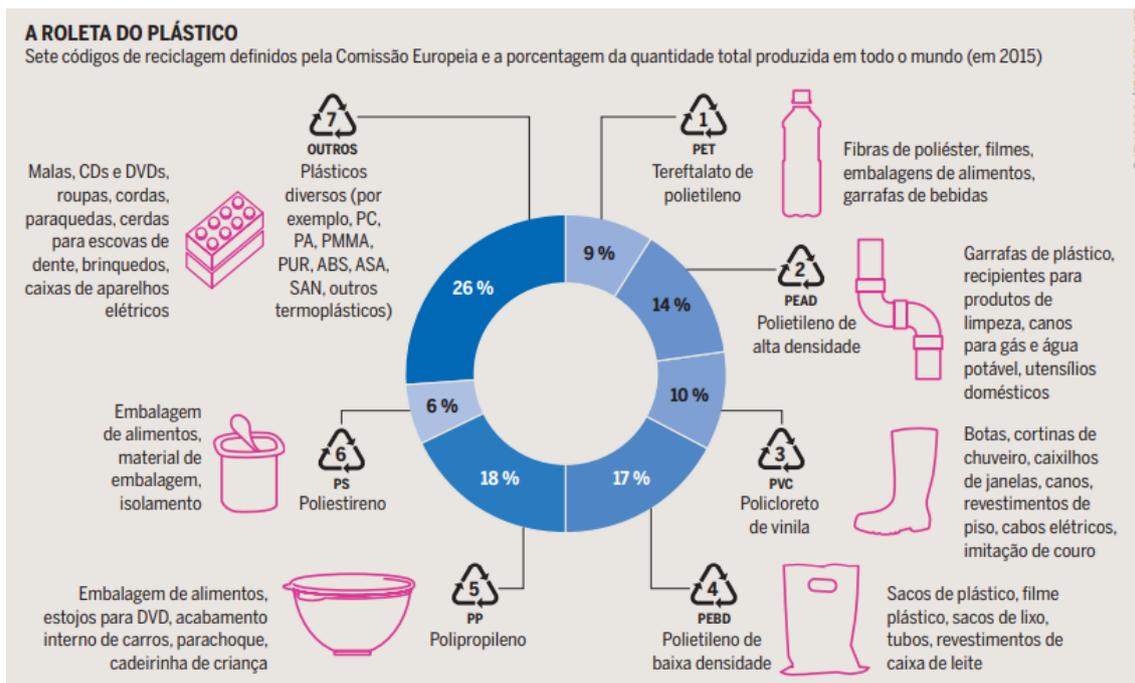


Figura 4: Códigos de reciclagem para polímeros. [13]

Polímeros biodegradáveis são aqueles que apresentam processo de degradação ativada por bactérias, fungos e algas geralmente por meio de ação enzimática, hidrólise e fotólise. Eles podem ser produzidos com matérias-primas de fonte renovável ou não. O processo de biodegradação envolve enzimas dos microrganismos, as quais transformam as macromoléculas poliméricas em segmentos menores, os quais podem ser consumidos e geram, geralmente, CO₂, CH₄, componentes microbianos e outros produtos. Os fungos agem em ambientes aeróbicos realizando biodegradação de polímeros naturais, como amido e celulose. As bactérias podem agir em tanto em ambiente aeróbico quanto anaeróbico. Para que isso ocorra são necessárias condições adequadas de calor, umidade, oxigênio e nutrientes orgânicos e minerais. [17]

Os polímeros biodegradáveis podem ser obtidos por diferentes fontes, como por biomassa, como proteínas, de maneira sintética de biomassa, como o poli(ácido láctico) (PLA), origem fóssil (petróleo), como o poli(ε-caprolactona) (PCL), poli(ácido glicólico) (PGA) ou mesmo obtido por fermentação microbiana, como o poli(hidroxicanoato) (PHAs). Também existem polímeros sintetizados a partir de monômeros das opções anteriormente citadas, como poli(ácido glicólico-ácido láctico) (PGLA). [Figura 5] Esses tipos de polímeros apresentam degradação mais rápida devido a suscetibilidade a ações enzimáticas de microrganismos, uma vez que

apresentam funções orgânicas em suas cadeias alifáticas, como carbonilas, hidroxilas, ésteres e hidroxiácidos. [18] Entretanto, polímeros biodegradáveis ainda enfrentam muitos obstáculos em relação a seu desempenho, demandando pesquisas acadêmicas e investimentos para que esse potencial seja mais bem aproveitado. Alguns exemplos que podem ser citados são a baixa resistência ao impacto e baixa barreira a gás do PLA e baixa rigidez e baixa resistência a abrasão do PHA. [14]

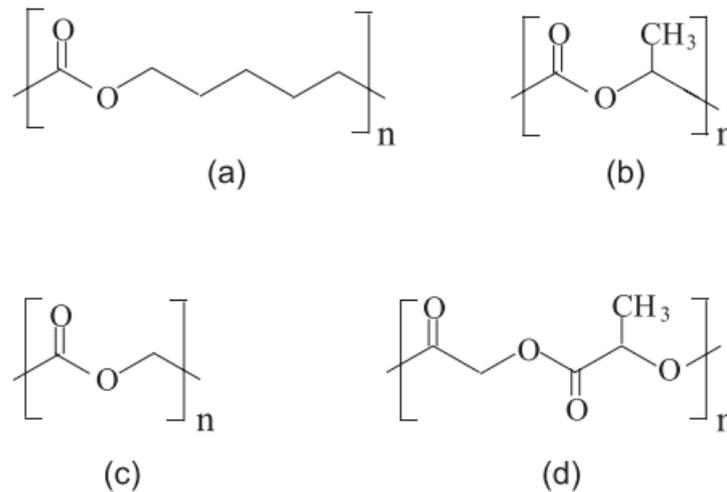


Figura 5: Estrutura química de: a) poli(ε-caprolactona) (PCL); b) poli(ácido láctico) (PLA); c) poli(ácido glicólico) (PGA) e, d) poli(ácido glicólico-láctico) (PGLA) [18]

Bioplásticos de base biológica são oriundos de fontes renováveis, podendo ser produzidos por organismos vivos. No Brasil, a produção desse tipo de material pode ser favorecida devido ao grande potencial e desempenho da agricultura no país, permitindo a produção de polímeros através de amido de batata, beterraba, milho etc. O PLA é um exemplo de polímero que além de ser biodegradável, é um biopolímero, uma vez que é um poliéster oriundo da fermentação bacteriana de glicose extraído do milho. [19]

É importante ressaltar que nem todo plástico de base biológica é biodegradável e nem todo polímero biodegradável tem origem renovável. A Figura 6 e Tabela 2 ilustram a diferença entre esses tipos de materiais apresentando alguns exemplos. Dessa forma, é importante a análise de todo o ciclo de vida do polímero para entender se ele estará em condições adequadas para o objetivo estipulado para ele, como, por exemplo, em ambiente com disponibilidade de oxigênio e luz necessários para biodegradação.

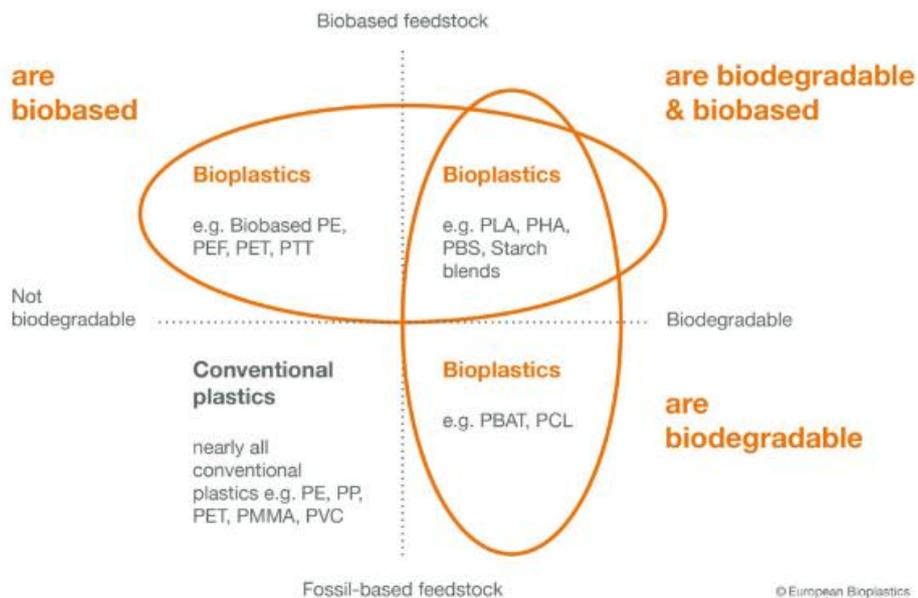


Figura 6: Matriz de polímeros de fonte fóssil ou renovável, biodegradável ou não [20]

Tabela 2: Separação entre polímeros biodegradáveis e biopolímeros [21]

Biopolímero	Empresa	País	Biodegradável	Fonte Renovável
Bio-PE	Braskem	Brasil		X
PLA	NatureWorks	EUA	X	X
	PURAC	Tailândia	X	X
	HiSun	China	X	X
PLA			X	X
Base Amido	Biotec	Alemanha	X	X
	Novamont	Itália	X	X
	Livan	China	X	X
	Rodenburg	Holanda	X	X
	Cereplast	EUA	X	X
	Limagrain	França	X	X
	BIOP	Alemanha	X	X
	Plantic	Áustria	X	X
Base Amido			X	X
PHA	Telles	EUA	X	X
	Tianan	China	X	X
	Tanjin Green	China	X	X
PHA			X	X
Base Celulose	Innovia	Inglaterra	X	X
	Celanese	Inglaterra	X	X
Base Celulose			X	X
PBAT	BASF	Alemanha		X
PTT (1,3 PDO)	DuPont	EUA		X
PA	Arkema	EUA		X

A utilização de biopolímeros, biodegradáveis ou não, pode ser uma alternativa para empresas que utilizam produtos plásticos, principalmente no caso de embalagens de uso único ou aplicações na agricultura ou medicina. Dentre os principais benefícios, eles permitem economia de recursos fósseis (no caso de origem renovável) e, normalmente, tem “neutralidade de carbono”, ou seja, há um equilíbrio

entre as emissões e absorção de carbono ao longo do ciclo de vida do material. Segundo a associação europeia de bioplásticos, a estimativa é que a produção desses tipos de polímeros quase triplique de 2022 para 2027, indo para aproximadamente 6 milhões de toneladas em 2027, e a principal aplicação é para embalagens flexíveis. Outro ponto relevante é que o maior crescimento de produção deve se dar no continente asiático, aumentando de 41% para 63% até 2027. [Figura 7] [20]



Figura 7: Capacidade de produção global de bioplásticos em 2022 [21]

Um exemplo prático da relevância desse tema é o investimento de US\$ 61 milhões da empresa Braskem na expansão da produção de biopolímeros. A Braskem pretende se tornar uma empresa carbono neutro até 2050 e essa expansão vai aumentar sua produção de eteno verde, o qual é oriundo da cana-de-açúcar e é utilizado para produção do Polietileno de origem renovável. Com esse produto, a estimativa é reduzir a emissão em 920 mil toneladas de CO₂ por ano. Esse tipo de informação foi fornecido por uma Análise do Ciclo de vida, ferramenta que é muito importante para o desenvolvimento sustentável de materiais, sendo também uma atuação da engenharia de materiais. [22]

3.3. Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Dentro dos estudos da Engenharia de Materiais, está a utilização da Análise do Ciclo de Vida (ACV). Essa análise consiste em avaliar os impactos ambientais, incluindo fabricação, logística, utilização e descarte do produto, permitindo

estabelecer melhores materiais e processos que minimizem os impactos.

De acordo com a ISO 14040, a ACV tem quatro etapas: objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação do impacto e interpretação. [23]

- Objetivo e escopo: definição dos limites para o estudo, início e fim do ciclo, nível de profundidade, quantos e quais subsistemas incluir;
- Análise do inventário: quantificação da matéria prima, energia, transporte, emissões, efluentes e resíduos sólidos para que depois sejam avaliados os impactos;
- Avaliação do impacto: relata os resultados de modo que possam ser tomadas conclusões e recomendações a partir deles;
- Interpretação: síntese dos conhecimentos anteriores para tomada de decisão.

A partir dos dados obtidos por uma ACV, são possíveis decisões mais eficientes e sustentáveis, verificando, por exemplo, viabilidade de matéria-prima de origem renovável ou não ou mesmo definido o melhor destino pós consumo, que pode ser um dos tipos de reciclagem existentes: mecânica, química ou energética.

3.4. Reciclagem

Segundo o dicionário de Michaelis, reciclagem consiste na “Coleta e utilização de produtos manufaturados descartados na fabricação de novos produtos, com o objetivo de evitar o desperdício de materiais úteis, preservar as reservas de recursos naturais e diminuir a quantidade de lixo.” Além do processo em si, esse tipo de trabalho depende também da separação adequada dos materiais, coleta, triagem, ou seja, é fundamental que seja feita uma gestão de resíduos previamente. O tipo de reciclagem mais comum é a mecânica, porque apresenta maior facilidade para sua implementação, não necessitando de grandes tecnologias, porém também pode-se encontrar reciclagem química e energética. [24]

A reciclagem mecânica consiste em quatro etapas principais: fragmentação em que o plástico é segmentado de acordo com seu tipo, lavagem e separação, secagem e, por fim, extrusão. Nesta última, o material é submetido a aquecimento para que possa ser remodelado e gerar grânulos de material reciclado, os quais serão utilizados posteriormente por indústria de transformação [25]

A reciclagem energética consiste no aproveitamento do poder calorífico dos

polímeros, assim, por meio da queima gera calor, vapor ou energia. Além disso, é importante a fiscalização com base em normas ambientais para que os gases liberados pela queima sejam filtrados para retirada de poluentes, assim não prejudicando o ar atmosférico. [25]

Por fim, dentre as opções, a reciclagem química é a mais cara e complexa, pois envolve o reprocessamento do polímero para obtenção da sua composição primária (monômero ou misturas de hidrocarbonetos). Nesse processo, depois de coletado e separado o plástico, ele será submetido a hidrogenação, gaseificação, pirólise ou quimólise. No primeiro caso, as cadeias poliméricas precisam ser quebradas por calor e ação de hidrogênio para obtenção de produtos que serão utilizados em refinarias. Na gaseificação, é utilizado oxigênio para gerar a combustão do carbono. A pirólise consiste no aquecimento do polímero sem oxigênio. Por último, a quimólise envolve a utilização de substâncias como metano, água e glicol para quebrar parcial ou totalmente os polímeros em monômeros. [25]

4. Síntese de Dados e Discussão

Pesquisas mostram que a sustentabilidade vem ganhando força dentro de empresas por meio da temática ESG. Segundo pesquisa da Bloomberg, essa filosofia deve atrair mais de US\$ 50 trilhões em investimentos em 2025, mostrando que a tendência é ficar cada vez mais importante e ser colocada em prática. De acordo com Fiona Reynolds, CEO da agência PRI (*Principles for Responsible Investment*), a pauta do ESG ganhou força com a pandemia e as questões sociais têm ganhado destaque dentro das empresas por meio de políticas de apoio à saúde e segurança dos funcionários. Além disso, Fiona diz que as práticas privadas e públicas devem andar juntas para impulsionar esse movimento, que é benéfico para a população e está atrelado a melhores desempenhos financeiros das empresas por proporcionar melhores decisões de negócio. [26]

Para James Alexander, executivo-chefe da Associação de Investimentos e Finanças Sustentáveis do Reino Unido, entre os três pilares do ESG, a parte ambiental deve pesar mais nos próximos anos por conta da crise climática, incluindo discussões sobre alimentação, habitação e empregos, além da emissão de carbono. Uma das ações que deixa isso claro, é a criação da Força-Tarefa para Divulgações Financeiras Ligadas ao Clima, em 2015, o qual garante comunicação de empresas em relação a suas informações de meio ambiente, aumentando a transparência do assunto. [27]

A Pesquisa ESG 2022, realizada pela *Emerging Venture Capital Fellows*, fez um diagnóstico com gestoras de capital de risco para avaliar seus critérios ESG e aplicação deles ao selecionar os investimentos. Segundo a pesquisa, 64% das gestoras utilizam filtros ESG para a seleção e, dentre elas, 40% avaliam a gestão de resíduos sólidos e 33%, a utilização de materiais e embalagens sustentáveis nos potenciais investimentos [Figura 8]. [28]

Diante disso, os polímeros têm apresentado grande foco quando falamos de sustentabilidade, uma vez que ao mesmo tempo que sua estabilidade pode ser muito benéfica para as aplicações, por outro lado, gera preocupações relacionadas a gestão desses resíduos. Considerando o período entre 1950 e 2017, foram reciclados menos de 10% de todo plástico produzido [13]. Os países que mais produzem de lixo plástico no mundo são Estados Unidos, China, Índia e Brasil. [14]



Figura 8: Critérios ambientais monitorados pelas gestoras de capital de risco. [28]

O diagrama da Figura 9 indica os possíveis destinos dos materiais após o uso. O autor mostra o “caminho” do material, desde a matéria-prima, que pode ser de fonte renovável ou finita, até a manufatura e, por fim, sendo descartado. Nesta etapa, a sequência pode ser dada circularmente, indicando, na parte azul, o ciclo técnico, havendo reciclagem, remanufatura, reutilização ou manutenção para aumento do tempo de vida do produto. Na parte verde, no ciclo biológico simboliza os produtos que conseguem fechar o ciclo voltando para a natureza. [29]

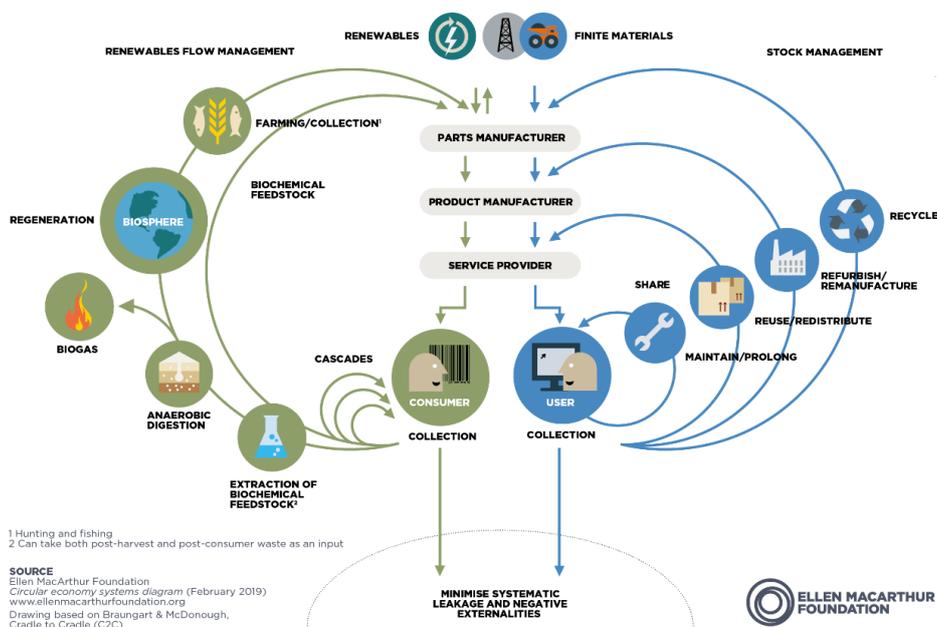


Figura 9: Possíveis destino dos materiais. [29]

A reciclagem é uma das opções de destino dos materiais com efeitos econômicos e ambientais positivos, estando relacionada a minimização da exploração dos recursos, uma vez que permite a reinserção do material na cadeia produtiva, redução da poluição do solo, água e ar por diminuir o descarte em aterros sanitários e a geração de gases de decomposição dos materiais, redução do custo de produção e geração de renda devido a criação de postos de trabalho ao longo do processo de reciclagem [30]. Assim, diante do cenário ESG, ela promove maior relação das empresas com práticas sustentáveis e é vantajoso por ser mensurável e rastreável [31]. Entretanto, a média global de reciclagem ainda é de apenas 9%, e no Brasil a média é ainda menor, sendo que do total de resíduo plástico, anualmente apenas 1,28% é reciclado, o que corresponde a 145 mil toneladas de 11,3 milhões de toneladas de resíduo plástico produzidos. [13]

Desse modo, empresas estão cada vez mais desenvolvendo projetos para incluir a economia circular em seus modelos de negócio, já que permite o retorno do material para o ciclo produtivo, colaborando com a gestão dos resíduos e com uso de materiais e processos mais sustentáveis. Um exemplo é a empresa brasileira Boomera, pertencente ao Grupo Ambipar, que criou a metodologia “CircularPack”, trabalhando desde a coleta com cooperativas de catadores, até a transformação do resíduo em nova linha de produtos através da Engenharia de Materiais. Para isso, a Boomera trabalha com o engajamento e conscientização para depois estudar o mercado avaliando o melhor destino para o material. Então, com conhecimentos da ciência dos materiais, são feitos estudos em relação aos processos, formulações, o design e a transformação, colocando a economia circular em prática. [32] A metodologia já recebeu reconhecimentos do Fórum Econômico Mundial e da Fundação Schwab e conseguiu captar mais 146 mil toneladas de resíduos que iriam para aterros e lixões, além de beneficiar mais de 8 mil cooperados de cooperativas de catadores. [33]

Segundo uma pesquisa da consultoria Walk The Talk by La Maison, A Natura, Unilever e Ypê são as empresas mais associadas ao ESG de acordo com as 4421 pessoas entrevistadas, de 16 a 64 anos, nas cinco regiões do Brasil. Todas as três apresentam iniciativas acerca da reciclagem, contribuindo para consolidar a importância desse processo. [34]

A Natura apresenta sua visão de sustentabilidade 2050 em seu site para consulta pública. Uma das ações presentes no relatório aborda a “redução do uso de

materiais em suas embalagens, utilização progressiva de materiais de origem reciclada pós-consumo e/ou renovável e reciclabilidade máxima.” Outra ambição da empresa é a utilização mínima de 74% de material reciclável na massa total das embalagens. [35]

A Unilever criou em 2021 a Unilever Compass, plano de ESG da companhia que pretende reformular a cadeia de valor visando a sustentabilidade. Dentre as ações, a empresa pretende utilizar 100% de plástico reutilizável, reciclável ou compostável em suas embalagens até 2025, reduzir a utilização de plástico virgem em 50% até 2025, incluindo uma redução absoluta de 100000 toneladas e coletar e processar mais plástico do que vendem até 2025. [36]

Assim como as anteriores, a empresa Ypê apresenta informações disponíveis para o público em que ela se compromete com o ESG. Segundo informações da companhia, desde 2006 é utilizado PET reciclado na produção e, hoje, mais de 70% do material utilizado na produção de embalagens de PET são reciclados ou pós consumo; 98% das embalagens são recicláveis. [37]

Pensando na economia circular, projetistas dos produtos devem se preocupar com o destino do material. Assim, uma das alternativas é utilizar o mesmo polímero para diferentes produtos afim de facilitar a reciclagem. Além disso, deve ser encorajada a utilização de materiais reciclados no ciclo produtivo. [14]

Conhecimentos da Engenharia de Materiais são fundamentais nessa temática. São necessárias informações sobre propriedades dos materiais, execução e interpretação de ensaios para validação do material reciclado. A empresa GlobalPet foi fundada em 1999 por engenheiros de materiais e é um exemplo de empreendedorismo no ramo de reciclagem. Ela é responsável por revalorizar o resíduo por meio de quatro principais etapas: moagem e seleção, lavagem, extrusão e pós-condensação [Figura 10]. [38]

Outro tópico que chama a atenção nesse tema é a dificuldade para a cadeia de reciclagem, pois a coleta seletiva e legislações acerca dos resíduos sólidos ainda não são efetivos. Além disso, segundo o Anuário da Reciclagem de 2021, há mais de 1800 cooperativas e associações de catadores no Brasil e 22% dos materiais comercializados por essas organizações são plásticos, o que tem potencial de redução de mais de 70 mil toneladas de CO₂. Entretanto, esses trabalhadores enfrentam problemas com regulamentação da profissão [Figura 11]. Portanto, o(a) engenheiro(a) também deve estar atento às políticas públicas e legislações para

garantir maior eficiência do processo como um todo. [39]

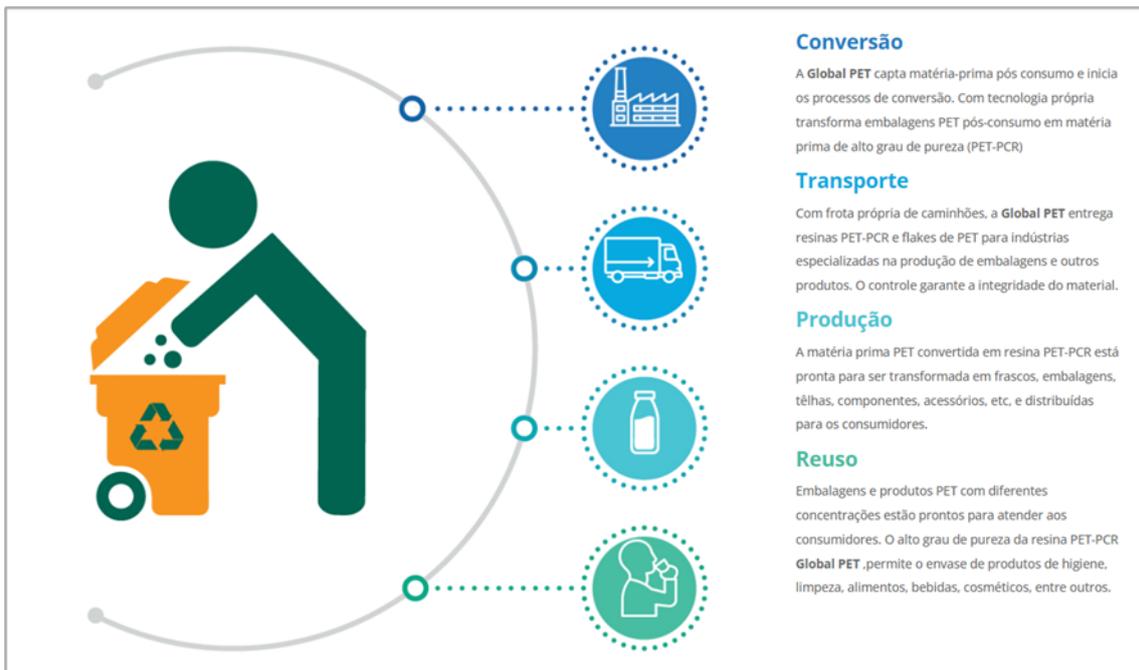


Figura 10: Procedimento adotado na empresa GlobalPet [38]



Figura 11: Profissional Catador de Material Reciclável [40]

É importante ressaltar também que outra dificuldade é a presença crescente de aditivos nos materiais, os quais atuam como obstáculo para uma reciclagem mais eficiente, pois eles podem prejudicar as propriedades a cada ciclo térmico. Assim como os aditivos, a presença de multicamadas em embalagens estão cada vez mais

comuns devido às boas propriedades que apresentam, como baixa permeabilidade a gases, estabilidade mecânica e design atrativo, entretanto, a diversidade de materiais presentes exige uma separação antes da reciclagem, o que também dificulta esse processo. [14]

A realização de pesquisas científicas, análise e divulgação do conhecimento contribui significativamente para melhor uso dos materiais e seu destino. Uma das ferramentas utilizadas por engenheiros é a Análise do Ciclo de vida (ACV), a qual ajuda na definição do melhor material, processo e destino do produto visando a sustentabilidade. Utilizando como exemplo um trabalho de ACV de comparação entre copos descartáveis de Polipropileno (PP) e de papel realizado pela ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico) e a Braskem, pode-se avaliar quais as consequências da seleção de materiais para esse caso. O relatório revelou que o copo plástico é mais leve, utiliza menos água na produção, é 100% reciclável. Ambas as opções, apresentam maior parte dos impactos nas etapas de produção da matéria-prima e seu beneficiamento. Esse tipo de ferramenta permite o gerenciamento de riscos e mapeamento de oportunidades para desenvolvimento de novos materiais. [41]

A ACV é influenciada por fatores regionais e econômicos. Assim, para fazer a uma correta análise é importante definir pressupostos específicos e deixá-los claro para que em futuras comparações os parâmetros sejam os mesmos. Dessa forma, apesar de ser definida por norma, as possibilidades para a análise geram falta de padronização dos resultados, o que é visto como uma limitação da metodologia. [42]

Com ACV é possível comparar os impactos ambientais de diferentes polímeros. Há uma crescente demanda por novos materiais em todo o mundo e diante das exigências do mercado ESG, cresce a procura por polímeros com menores prejuízos ao meio ambiente. Pesquisas com esse tema focam em polímeros biodegradáveis e de origem renovável. Eles são frequentemente desenvolvidos com o objetivo de substituir produtos plásticos feitos de matéria-prima de origem fóssil e que são de uso único, como embalagens (sacolas, proteção para comidas etc.), produtos higiênicos, bens consumíveis e para agricultura. Porém a utilização de informações nos produtos alegando que são “sustentáveis”, “verdes” ou “*eco-friendly*” deve ser lida com atenção, pois muitas empresas utilizam esses termos com foco nas vendas, mas não há conhecimento suficiente sobre maneira de descarte e condições de degradação para que seja realmente eficiente a troca do material em prol do meio

ambiente.

De acordo com Iroegbu et al. [16], é importante que seja falado sobre responsabilidade ambiental desde a infância, sendo fundamental incorporar a educação plástica nos currículos nacionais. Essa poderia ser uma das soluções para a desconexão entre o conhecimento científico e popular, disseminando informações básicas sobre a poluição plástica da rotina da população. O incentivo a esse diálogo promove maior suporte dos habitantes em relação a políticas públicas ambientais em prol da diminuição dessa problemática. Além disso, a formação de crianças com esse tipo de informação propicia maior reflexão diante da ciência responsável no futuro, ou seja, a utilização da ciência em prol do desenvolvimento e bem-estar da população considerando riscos sociais e ambientais para assim, evitar “a engenharia da nossa própria destruição”.

5. Entrevistas

Em meio a tantas inovações, os desafios da área de sustentabilidade são crescentes. Engenheiros e Engenheiras de Materiais foram entrevistados sobre o papel dessa área de conhecimento dentro de empresas no Brasil. No total, foram feitas 14 entrevistas com homens e mulheres de diferentes idades, cargos e empresas, sendo desde estagiários e analistas até gerentes e CEOs. Os entrevistados foram selecionados de modo que 100% deles tivessem o curso de Engenharia de Materiais como formação, independente da universidade, e todos trabalhassem ou já tivessem trabalhado com temas como reciclagem, polímeros biodegradáveis, pesquisa e desenvolvimento, caracterização ou liderança de times voltados a sustentabilidade.

A partir das entrevistas, foi possível perceber que é unânime a opinião sobre a relevância da engenharia de materiais na trajetória profissional. O tetraedro da Engenharia de Materiais foi frequentemente citado. Os conceitos sobre a estrutura e propriedades de polímeros e a capacidade de interpretação de ensaios é importante tanto para desenvolvimento de novos materiais e seleção de polímeros mais sustentáveis para o produto, quanto para facilitar a comunicação com fornecedores, permitindo uma linguagem técnica que deixe claro os requisitos para determinada aplicação.

A capacidade analítica foi também ressaltada como um dos aspectos mais importantes na carreira do(a) engenheiro(a). É preciso entender amplamente os impactos em todo o ciclo de vida do material e ter senso crítico para avaliar novos produtos e maquinários. Por exemplo, quando em vista de um novo aditivo prometendo biodegradação, deve-se levar em consideração qual o ambiente de descarte e como será o comportamento do consumidor com esse material. Alguns dos conteúdos básicos mais citados como essenciais na rotina de trabalho foram sobre processamento, caracterização, aditivação de polímeros e correlação entre estrutura química e desempenho. Assim, ficou claro que esse tipo de graduação é fundamental como base de conhecimento, porém, também foi dito que, pela experiência dos entrevistados, não foram aprendidos conceitos de sustentabilidade de maneira teórica na universidade e alguns tópicos mais práticos deveriam ser explorados, como utilização de equipamentos e softwares, aulas mais práticas de interpretação de ensaios e noções básicas de análise econômica de seleção de

materiais. Isso pode ser explicado pelo ano de graduação dos entrevistados, pois mais da metade entrou na universidade antes de 2010 e, aos poucos, conceitos de sustentabilidade estão sendo adicionados a grade curricular dos cursos de Engenharia de Materiais, mas antigamente era significativamente menor esse tipo de discussão em aula [Figura 12].



Figura 12: Quantidade de entrevistados por ano de entrada na graduação [Fonte: De autoria própria]

Os entrevistados desenvolveram a maioria dos conhecimentos por meio da prática e experiência diária nas empresas. Outras formas de estudo foram por meio de cursos livres *online*, como os disponíveis no site da Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), o conteúdo presente no site da Fundação Ellen MacArthur, leitura de artigos e participação de feiras ou congressos relacionados a polímeros e/ou práticas sustentáveis. Para atuação na área de sustentabilidade alguns conhecimentos considerados como complementares foram sobre empreendedorismo, novos modelos de negócio para economia circular, gestão de projetos, design circular e, por fim, desenvolvimento de comunicação e entendimento da maneira de consumo por meio de estudos de marketing.

A partir de conversa com engenheiras de materiais trabalhando com a produção de resinas, ficou claro que é importante levar em consideração a distinção entre polímeros considerados commodities (polímeros com baixo custo, propriedades mecânicas inferiores, alta produção) e polímeros de engenharia, uma vez que estes

últimos apresentam requisitos técnicos mais avançados sendo mais difícil a realização de pesquisas com polímeros reciclados ou biopolímeros para substituição desse tipo de material. Além disso, é importante ressaltar, que a maioria dos planos de sustentabilidade de empresas não apresentam planos para grande utilização de polímeros biodegradáveis e não foram encontrados profissionais atuantes nessa temática em empresas para participarem das entrevistas. Percebe-se, assim que este tipo de área de pesquisa é mais presente em ambientes acadêmicos e ainda não ocupa grande espaço no corporativo, apesar de ainda possuir muito a agregar em relação a sustentabilidade. Desse modo, considerando resinas de uso geral, assuntos predominantes nesse segmento industrial são voltados a aprimoramento de propriedades de materiais recicláveis, venda de material de origem renovável e métodos de otimizar o processo para economia de energia.

A maioria das pessoas entrevistadas tinha contato direto ou indireto com o ramo de embalagens, as quais geralmente são feitas de polímeros de uso geral (*commodities*). Isso se deve ao grande destino de polímeros para essa aplicação e à essencialidade de discussões sustentáveis em empresas dessa área, uma vez que geralmente é um produto de uso único, apresentando um curto ciclo de vida e baixíssima densidade, o que ocasiona grande volume de material descartado de forma incorreta e se deslocando para a natureza por meio de ventos e chuvas. Segundo o último relatório divulgado da ABIPLAST em 2021 [Figura 13], o setor de alimentos é o segundo maior consumidor de transformados plásticos apesar de possuir um ciclo de vida de até um ano. Outros segmentos também com esse ciclo curto são os de bebidas, perfume, higiene e limpeza, alguns dos quais utilizam embalagens primárias, secundárias e terciárias, ou seja, para proteção, comercialização e transporte em grande escala. [43]

Um ponto levantado por alguns entrevistados foi que muitas das políticas do Brasil em relação a sustentabilidade são baseadas ou inspiradas em práticas de países do continente europeu. Na União Europeia já existe uma meta estabelecendo que até 2030 todas as embalagens sejam reutilizáveis ou recicláveis, além de exigir uma redução drástica dos resíduos das embalagens [44]. Desse modo, fica evidente a importância da reciclagem, assim como foi visto em destaque nas metas de grandes empresas para os próximos anos. Um exemplo é a troca de garrafas PET coloridas por transparentes para maior reciclabilidade. Isso eleva o valor de venda do produto pós consumo, já o uso é muito mais limitado após o reprocessamento desse material

com cor, sendo destinado a outras aplicações, como confecção de fios de cor escura, enquanto a transparente é convertida mais facilmente novamente em garrafas, o chamado *bottle-to-bottle*, apresentando maior valor de mercado. Várias empresas já levam isso em consideração, como no caso da Sprite, cuja garrafa foi alterada de verde para transparente, e, assim, é vendida por um valor 35% maior do que as coloridas no Sudeste Asiático. [45]

SETORES CONSUMIDORES DE TRANSFORMADOS PLÁSTICOS EM VALOR DE CONSUMO (2019)⁴

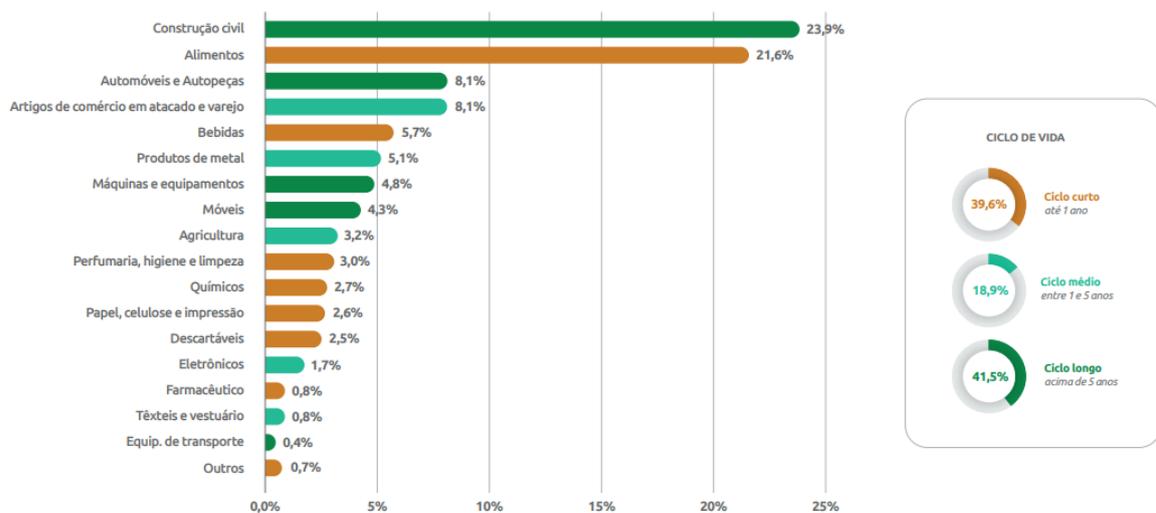


Figura 13: Setores Consumidores de Transformados plásticos em valor de consumo (2019) [43]

Ainda relacionado a aumentar a reciclabilidade do produto, um desafio frequentemente falado pelos profissionais nas entrevistas foi sobre a mudança de embalagens multicamadas para monomateriais, o que proporciona que o produto seja reciclável. Esse tem sido um grande foco de áreas de pesquisa dentro das empresas e demanda delas em relação aos seus fornecedores. Embalagens multicamadas permitem melhor desempenho em relação a permeação de gases, o que aumenta significativamente o prazo de validade dos alimentos, ajuda na capacidade de impressão e melhor resistência mecânica também. [13] Porém, a presença de mais de um tipo de material dificulta muito o processo de reciclagem. Pesquisadores estudam formas de separação das camadas eficiente, porém, de acordo com as entrevistas realizadas, a maior tendência é a diminuição do uso desse tipo de material desde que não prejudique a entrega do produto para o cliente, por isso é necessário grande conhecimento de Engenharia de Materiais para a tomada de decisões.

A partir do entendimento do ciclo de vida do produto, também é possível a aplicação da Engenharia de Materiais agregada a conhecimentos de Design Circular, assunto que um dos entrevistados indicou como sendo um dos mais relevantes para a formação. Mais da metade dos custos e dos impactos ambientais relacionados ao produto podem ser previstos durante a fase de projeto. Desse modo, um olhar mais analítico e profundo sobre a seleção de materiais e design é fundamental para um material mais sustentável. Algumas estratégias incluem a expansão da vida útil do produto e suas partes permitindo a reutilização e aplicação útil. Isso pode ser feito por seis perspectivas [46]:

- Definir o produto como um serviço proporcionando a opção de aluguel ao invés de compra;
- Melhor a experiência do cliente com o produto com inteligência incorporada;
- Permitir reparos e manutenções no produto antes que ele seja descartado;
- Melhorar a seleção de polímeros para garantir durabilidade do material, mantendo o produto funcional por maior tempo;
- Facilitar a coleta, reutilização e reciclagem do produto;
- Permitir a separação do produto em mais peças que possam ser utilizadas separadamente.

Outra estratégia está relacionada a redução de material na produção, reduzindo o peso do produto. Para isso é necessário entendimento de comportamento do material no molde, se for o caso, e do desempenho final, avaliando as propriedades por meio de modelagem em softwares ou ensaios práticos. Um exemplo é o desenvolvimento de um novo material para a garrafa da Coca-Cola na Índia em 2016, na qual utilizam um terço a menos de plástico do que anteriormente (considerando a garrafa padrão da Índia) e a chamaram de *ASSP- Affordable Small Sparkling Package*, ou seja, uma embalagem acessível e pequena com barreira a gases. Eles adicionaram uma barreira fina para evitar a permeação do gás do refrigerante e, com isso, prolongaram a vida útil em cinco meses ou mais e permitiram a redução do uso de plástico na produção em até 40%. Eles afirmam que esse design não afeta a reciclabilidade e reduz os custos do produto. [47] Desse modo, unindo os tópicos abordados anteriormente, vê-se o princípio dos “3Rs”, conceito que muitas vezes é

comentado até em escolas e incentiva o consumo consciente por meio da Redução, Reutilização e Reciclagem;

Algumas pessoas também comentaram que a empresa em que trabalham mantém contato com cooperativas e recicladores para entendimento dos problemas enfrentados para esse processo pós consumo. Isso reforça o papel das empresas como responsáveis pelos seus resíduos, podendo assim adaptar as fases iniciais de design do produto para que, no descarte, o ciclo se feche. Também é comum o contato com outras empresas para troca de experiências em relação ao papel corporativo no âmbito de resíduos sólidos. Esse tipo de prática é conhecido como “*benchmarking*” e é extremamente importante para divulgação de informações técnicas e confiáveis sobre materiais poliméricos. A Fundação Ellen MacArthur é um exemplo dessa colaboração, uma vez que representa um conjunto de empresas comprometidas com a Economia Circular, funcionando como uma rede de contatos entre empresas, políticos, universidades, organizações filantrópicas e líderes.

Outro ponto de atuação da profissão é na atenção a resíduos perigosos e aditivos que possam trazer danos ao meio ambiente. Um exemplo é a realização de pesquisas com Policloreto de Vinila (PVC) e a substituição do plastificante dioctil ftalato (DOP) em sua composição, visando soluções para evitar prejuízos para a saúde humana, uma vez que os ftalatos apresentam preocupações em relação a toxicidade e já foram até proibidos na União Europeia em usos como cosméticos, por exemplo. Para isso, pesquisadores devem ter entendimento de diversos conceitos de materiais, como funcionamento de aditivos, comportamento do PVC no processamento e caracterizações mecânicas e térmicas para análise dos resultados, possibilitando uma conclusão de qual a eficiência do produto. [48]

Por fim, uma das perguntas feitas nas entrevistas foi em relação ao papel dos Engenheiros de Materiais no sentido de divulgação de informações corretas acerca dos materiais, uma vez que a desinformação é evidente na atualidade. Grandes polêmicas envolvem os polímeros, sendo que há aqueles que demonizam esse tipo de material, atribuindo a ele apenas opiniões negativas, e há também aqueles que não tem a percepção da importância de discussões acerca da responsabilidade humana no descarte de resíduos e conseqüente poluição plástica e os males que pode causar. Esse tópico gerou diferentes opiniões entre os entrevistados, ficando separados entre pessoas que acreditam sim que essa é uma responsabilidade dos profissionais da engenharia de materiais, uma vez que outras pessoas não tem

conhecimento necessário para falar com clareza sobre aspectos técnicos, e outras pessoas que elencam essa tarefa para profissionais do marketing, os quais tem contato mais direto com os clientes e a imagem da empresa e do produto. Porém, é de comum acordo que essas funções devem ser atreladas para que o consumidor final tenha informações sobre descarte e correta utilização do produto a partir de comprovações científicas, mas que seja totalmente didática.

6. Conclusões e Considerações Finais

O papel das empresas de implantar cultura e processos em prol da sustentabilidade está cada vez maior e a tendência é que as metas fiquem mais desafiadoras com o tempo, impulsionadas por legislações e demanda dos *stakeholders* (em português, “partes interessadas”). Fica claro que o foco em solucionar problemas em relação a gestão de resíduos e materiais mais sustentáveis causa impacto positivo no desempenho financeiro das empresas e imagem positiva diante dos consumidores conscientes.

Profissionais da Engenharia de Materiais com foco em sustentabilidade estão mais voltados para empresas de embalagens feitas de plásticos de uso geral e/ou que utilizam esse tipo de produto. Plásticos de engenharia com altos requisitos técnicos ainda não abrem espaço suficiente para substituição do material ou mesmo utilização de plástico reciclado em decorrência das altas exigências de suas aplicações, porém isso pode ser uma oportunidade para desenvolvimento de novas pesquisas que proporcionem solução para esse tópico.

Com foco nas embalagens, os principais projetos que estão sendo discutidos no ambiente corporativo são relacionados a reciclabilidade dos produtos e design circular. Assim, um objetivo fundamental de grandes empresas a curto e médio prazo é utilizar embalagens monomateriais e evitar aditivos que prejudiquem o valor de mercado pós consumo. Em relação ao design circular, diversos caminhos podem ser traçados visando os 3Rs da sustentabilidade: definição do produto como serviço e permitir reparos e manutenções visando reutilização, melhorar seleção de materiais garantindo durabilidade e reciclabilidade, facilitar a coleta e permitir a separação do produto em mais peças que possam ser usadas individualmente.

É importante ressaltar que outra solução muito discutida em relação a produtos de uso único é a utilização de polímeros biodegradáveis e/ou de fonte renovável e apesar de ser um recurso que deve ser muito explorado com o passar do tempo, ainda não está tão presente nos planos de sustentabilidade de grandes empresas devido a custos mais elevados e propriedades ainda em estudos acadêmicos.

Por fim, fica evidente a importância de conhecimentos de Engenharia de Materiais como uma base sólida diante de desafios cotidianos no ambiente corporativo, como análise de informações técnicas, visão ampla sobre estrutura,

processamento e propriedades e comunicação facilitada com fornecedores e clientes. Neste último tópico é importante ressaltar que o diálogo de maneira didática a partir de informações confiáveis da ciência dos materiais, pode proporcionar utilização e descarte mais adequados dos produtos e, conseqüentemente, ajudar na circularidade.

O presente trabalho elaborado pode possuir uma seqüência a ser desenvolvida em anos posteriores a fim de comparação dos assuntos discutidos na temática de sustentabilidade. Também é sugerida a comparação da atuação da Engenharia de Materiais com outras profissões ou mesmo aprofundamento em um dos tópicos elencados como principais soluções atuais procuradas pelas empresas visando um caráter ESG. Outra possibilidade é a expansão da argumentação por meio de entrevistas, buscando mais pessoas de empresas que trabalhem com polímeros biodegradáveis ou de origem renovável, produtoras de resinas, como a Braskem, ou mesmo com foco em outros produtos plásticos para além das embalagens.

7. Referências

- [1] O que é Desenvolvimento Sustentável. Dicionário Ambiental. ((o)) eco, Rio de Janeiro, ago. 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28588-o-que-e-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 20/12/2022.
- [2] CANEVAROLO JR, S. V. Ciência dos polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição. Artiber editora, São Paulo, 2002. Acesso em 20/12/2022
- [3] PEREIRA, Carlo. O ESG é uma preocupação que está tirando seu sono? Calma, nada mudou. Exame, Out. 2020. Disponível em: <https://exame.com/colunistas/carlo-pereira/esg-o-que-e-como-adotar-e-qual-e-a-relacao-com-a-sustentabilidade/>. Acesso em: 10/12/2022.
- [4] ALPEROWITCH, F. Por que devemos levar realmente a sério os princípios de ESG? Isto é Dinheiro. 26//07/19. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/por-que-devemos-levar-realmente-a-serio-os-principios-de-esg/>>. Acesso em: 10/03/2023
- [5] Li, T.-T.; Wang, K.; Sueyoshi, T.; Wang, D.D. ESG: Research Progress and Future Prospects. Sustainability 2021, 13, 11663. <https://doi.org/10.3390/su132111663>
- [6] Notas de aula. Curso ESG, o que todo profissional deve saber. Instituto Brasileiro de Sustentabilidade. Acesso em: 20/12/2022
- [7] AUGUSTO, Edna Hercules. Eco inovação em materiais poliméricos: direcionadores e barreiras de pesquisas voltadas à eco inovação no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações e Sistemas Públicos. 2022.
- [8] JUGEND, D.; BEZERRA, B. S.; SOUZA R. G. Economia Circular: uma Rota Para a Sustentabilidade. São Paulo – SP: Editora Almedina, 2022.

[9] VICKERS, Emma. Economia Circular. Green Building Council. 2019. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/economia-circular/>>. Acesso em 29/03/2023

[10] PAES, André Luís Gomes et al. Statistical Evaluation of test Data for the Determination of Plastic Anisotropy in Aluminum samples. Unisantia Science and Technology, v. 8, n. 1, p. 29-38, 2019.

[11] SAVIGNANO, Verónica. Um aniversário da Engenharia de Materiais no Brasil: 40 anos do DEMa da UFSCar. [S. l.], 2012. Disponível em: <<https://www.sbpmat.org.br/pt/um-aniversario-da-engenharia-de-materiais-no-brasil-40-anos-do-dema-da-ufscar/>>. Acesso em: 24/11/2022.

[12] Dados e-MEC. Disponível em <https://emec.mec.gov.br/>. Acesso em 15/02/2023.

[13] ZAMORA, Andrea Maltchik et al. Atlas do Plástico. Fundação Heinrich Boll Stiftung, p. 2020-11, 2020. Disponível em: <<https://br.boell.org/sites/default/files/2020-11/Atlas%20do%20PI%C3%A1stico%20-%20vers%C3%A3o%20digital%20-%2030%20de%20novembro%20de%202020.pdf>>. Acesso em 15/02/2023

[14] MILLICAN, Jonathan M.; AGARWAL, Seema. Plastic pollution: a material problem?. Macromolecules, v. 54, n. 10, p. 4455-4469, 2021.

[15] Tipos de plásticos. Disponível em: <<http://www.sindioplast.org.br/tipos-de-plasticos>>. Acesso em 23/12/2022

[16] IROEGBU, Austine Ofondu Chinomso et al. Plastic pollution: a perspective on matters arising: challenges and opportunities. ACS 33mega, v. 6, n. 30, p. 19343-19355, 2021.

[17] ARAÚJO, B. A.; FREITAS, L. S. de; SARMENTO, K. K. F. .; BEZERRA, V. R.; LIMA, C. A. P. de; MEDEIROS, K. M. de . The application of biodegradable polymers as a sustainable alternative. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e49010918248, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.18248. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18248>. Acesso em: 29/03/2023.

[18] FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Química Nova*, v. 29, p. 811-816, 2006.

[19] BORSCHIVER, Suzana; ALMEIDA, Luiz FM; ROITMAN, Tamar. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. *Polímeros*, v. 18, p. 256-261, 2008.

[20] Bioplásticos. Europeans Bioplastics. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>>. Acesso em 28/02/2023

[21] BELLOLI, Rodrigo. Polietileno Verde do Etanol da Cana-de-açúcar Brasileira: Biopolímero de classe mundial. 2010. Trabalho de Conclusão de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Química. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35204>>. Acesso em 29/03/2023

[22] Catálogo PE Verde. Braskem. Março/2022 Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-investe-us-61-milhoes-na-expansao-da-producao-de-biopolimeros>>. Acesso em 28/02/2023

[23] BRANDALISE, L. T.; FLOR BERTOLINI, G. R. Matriz de Classificação de Produtos Ecologicamente Corretos com Base na Análise do Ciclo de Vida do Produto. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 01–16, 2015. DOI: 10.48075/comsus.v1i1.11459. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/11459>. Acesso em: 29 mar. 2023.

[24] Reciclagem. Dicionário Michaelis. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=reciclagem>>. Acesso em: 20/12/2022

[25] Saiba como funcionam os 3 tipos de reciclagem do plástico. Mundo do Plástico. 04/04/2017. Disponível em: <<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/>>. Acesso

em 29/03/2023.

[26] Uma das maiores referências em ESG, Fiona Reynolds fala sobre o futuro dos investimentos responsáveis. Expert XP, Mar. 2021. Disponível em: <<https://conteudos.xpi.com.br/expert-esg/o-futuro-dos-investimentos-responsaveis/>>. Acesso em: 10/12/2022.

[27] SIMÕES, Rogério. ESG deve atrair US\$ 53 tri em investimentos em 2025, estima Bloomberg. Folha de S. Paulo, Mai. 2021. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2021/05/esg-deve-atrair-us-53-tri-em-investimentos-em-2025-estima-bloomberg.shtml>>. Acesso em: 10/12/2022.

[28] Pesquisa ESG 2022. Emerging Venture Capital fellows. Disponível em: <https://www.emergingvcfellows.com/reportesg>. Acesso em: 23/12/2022

[29] O diagrama de borboleta: visualizando a economia circular. Ellen MacArthur Foundation. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-diagrama-de-borboleta>>. Acesso em: 23/03/2023

[30] ANCAT. Anuário da Reciclagem 2017–2018. Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais: Brasília, Brasil, 2019.

[31] ESG Na Prática: A Reciclagem Como Ferramenta Para Atingir Metas De Sustentabilidade. Valora. Disponível em: <<https://valorareciclaveis.com.br/esg-na-pratica-metas-de-sustentabilidade/>>. Acesso em 22/12/2022

[32] Boomera. Disponível em: <<https://boomera.com.br/>>. Acesso em 05/01/2023.

[33] Economia circular: Boomera entra em ranking mundial de principais instituições de impacto ambiental. BrandVoice. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesesg/2022/05/brandvoice-ambipar-boomera-e-uma-das-10-principais-instituicoes-de-impacto-ambiental-no-ranking-mundial-com-certificacao-b-corp/>>. Acesso em 05/01/2023.

- [34] MATSUE, C. Estudo mostra quais são as empresas campeãs em ESG do Brasil na opinião de consumidores. Valor Investe. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://valorinveste.globo.com/mercados/renda-variavel/empresas/noticia/2022/06/15/estudo-mostra-quais-sao-as-empresas-campeas-em-esg-do-brasil-na-opiniao-de-consumidores.ghtml>>. Acesso em 10/01/2023
- [35] Sustentabilidade. Natura, 2023. Disponível em: <<https://www.natura.com.br/sustentabilidade>>. Acesso em 10/01/2023
- [36] The Unilever Compass for Sustainable Growth. Unilever. Disponível em: <<https://www.unilever.com.br/planet-and-society/>>. Acesso em 10/01/2023
- [37] Impacto positivo. Ypê. Disponível em: <<https://ypedia.com.br/sustentabilidade/impacto-positivo/>>. Acesso em 11/01/2022
- [38] História. GlobalPET. Disponível em: <<https://www.globalpetsa.com.br/historia/>>. Acesso em: 10/01/2023
- [39] ANCAT e Instituto Pragma. Anuário da Reciclagem 2021. Disponível em: <<https://www.mncr.org.br/biblioteca>>. Acesso em 29/03/2023
- [40] SUNDRÉ, L. Aplicativo “Cataki” aumenta renda de catadores de materiais recicláveis. Brasil de Fato. São Paulo. 16/01/2020. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2020/01/16/aplicativo-aumenta-renda-de-catadores-de-materiais-reciclaveis>>. Acesso em 23/03/2023.
- [41] Avaliação de ciclo de vida. Picplast. Disponível em: <<https://www.picplast.com.br/avaliacao-de-ciclo-de-vida>>. Acesso em: 03/01/2022
- [42] ANTELAVA, Ana et al. Plastic solid waste (PSW) in the context of life cycle assessment (LCA) and sustainable management. Environmental Management, v. 64, n. 2, p. 230-244, 2019.

[43] Tabela de Uso de Bens e Serviços e Pesquisa Industrial Anual – Produto/IBGE –
Elaboração: ABIPLAST. Perfil 2021.

[44] Recycling in Europe. Plastics Recyclers Europe. Disponível em:
<<https://www.plasticsrecyclers.eu/plastic-recycling/in-europe/>>. Acesso em
27/02/2023

[45] Sprite. Ellen Macarthur Foundation. Disponível em:
<<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/sprite>>. Acesso em
27/02/2023

[46] MARKEVIČIŪTĒ, Zita; VARŽINSKAS, Visvaldas. Smart material choice: the
importance of circular design strategy applications for bio-based food packaging
preproduction and end-of-life life cycle stages. Sustainability, v. 14, n. 10, p. 6366,
2022.

[47] Lighter Bottle, Longer Use. The Coca Cola-Company. 2018. Disponível em:
<<https://www.coca-colacompany.com/news/lighter-bottle-longer-use>>. Acesso em:
27/02/2023.

[48] DALAGNOL, Rafael Domingos; FRANCISQUETTI, Edson Luiz; SANTANA, Ruth
Marlene Campomanes. Avaliação de plastificante polimérico alternativo ao dioctil
ftalato nas propriedades do PVC submetido ao envelhecimento acelerado.
In: Congresso Brasileiro de Polímeros. 2019: Bento Gonçalves, RS.