

Os 3Rs aplicados ao plástico: Uma revisão sobre a Redução, Reutilização e Reciclagem do plástico em tecnologias ambientais

The 3R's applied to plastic: A review on the plastic Reduction, Reuse and Recycling in environmental technologies

Las 3R aplicadas al plástico: Una revisión sobre la Reducción, Reutilización y Reciclaje del plástico en tecnologías ambientales

Adrize Medran Rangel¹

Fernanda Wickboldt Stark²

Patrícia de Borba Pereira³

Eduarda Medran Rangel⁴

Andréa Souza Castro⁵

Resumo

RANGEL, A. M.; STARK, F. W.; PEREIRA, P. de B. RANGEL, E. M. CASTRO, A. S. Os '3Rs' aplicados ao plástico: Uma revisão sobre a Redução, Reutilização e Reciclagem do plástico em tecnologias ambientais. *Rev. C&Trópico*, v. 47, n. 2, p. 127-146, 2023. DOI: [https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2\(2023\)art8](https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2(2023)art8)

Os “3Rs” visam a minimizar o impacto ambiental do plástico, promovendo sua utilização sustentável e evitando seu acúmulo nos ecossistemas. A redução do plástico refere-se à diminuição da quantidade de plástico utilizado o que é importante porque diminui a demanda por novos plásticos, reduzindo assim a extração de recursos naturais e a quantidade de resíduos gerados. A reutilização envolve o uso repetido de produtos plásticos, em vez de descartá-los após o uso único. Isso pode ser feito por meio de diferentes métodos, como o uso de garrafas de água recarregáveis em vez de garrafas descartáveis, a utilização de sacolas de compras reutilizáveis e a adoção de recipientes plásticos duráveis. A reciclagem do plástico é um processo pelo qual os resíduos plásticos são coletados, separados, processados e transformados em novos produtos. A reciclagem ajuda a reduzir a quantidade de plástico que acaba em aterros sanitários, ou no meio ambiente, além de economizar energia e recursos naturais. Existem diferentes tipos de plástico, e cada um requer técnicas específicas de reciclagem. Portanto, é importante separar corretamente

- 1 Mestranda em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pelotas. E-mail: adrizemr@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2679-3152>
- 2 Mestranda no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas. E-mail: fernandawickboldtstark@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-8308-2105>
- 3 Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas. E-mail: pybypy@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0021-0935>
- 4 Gestora e Sanitarista Ambiental, Mestra e Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais; Pós-doutoranda em Ciências Ambientais. E-mail: eduardamrangel@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3334-5091>
- 5 Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professora Associada do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). E-mail: andreascastro@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1989-684X>

os resíduos plásticos para facilitar o processo de reciclagem. No geral, a redução, reutilização e reciclagem do plástico desempenham um papel essencial na promoção da sustentabilidade ambiental. A adoção dessas práticas, juntamente com o desenvolvimento contínuo de tecnologias ambientais, pode ajudar a mitigar os problemas relacionados ao plástico e a promover um futuro mais limpo e saudável. Esse trabalho tem como finalidade revisar na literatura os “3Rs” dos plásticos e suas principais aplicações as tecnologias ambientais.

Palavras-chave: Redução. Reutilização. Reciclagem. Plásticos. Tecnologias Ambientais.

Abstract

RANGEL, A. M.; STARK, F. W.; PEREIRA, P. de B. RANGEL, E. M. CASTRO, A. S. The 3Rs applied to plastic: A review on the plastic Reduction, Reuse and Recycling in environmental technologies. *Rev. C&Trópico*, v. 47, n. 2, p. 127-146, 2023. DOI: [https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2\(2023\)art8](https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2(2023)art8)

The “3Rs” aim to minimize the environmental impact of plastic, promoting its sustainable use and preventing its accumulation in ecosystems. Plastic reduction refers to decreasing the amount of plastic used. Its reduction is important because it decreases the demand for new plastics, thus reducing the extraction of natural resources and the amount of waste generated. Reuse involves using plastic products repeatedly rather than discarding them after a single use. This can be done through different methods such as using refillable water bottles instead of disposable bottles, using reusable shopping bags and adopting durable plastic containers. Plastic recycling is a process by which plastic waste is collected, separated, processed and transformed into new products. Recycling helps reduce the amount of plastic that ends up in landfills or the environment, and saves energy and natural resources. There are different types of plastic, and each requires specific recycling techniques. Therefore, it is important to properly separate plastic waste to facilitate the recycling process. Overall, reducing, reusing and recycling plastic play an essential role in promoting environmental sustainability. Adopting these practices, along with the continued development of environmental technologies, can help mitigate plastic-related issues and promote a cleaner, healthier future. This work aims to review in the literature the „3Rs“ of plastics and their main applications to environmental technologies.

Keywords: Reduction. Reuse. Recycling. Plastics. Environmental Technologies.

Resumen

RANGEL, A. M.; STARK, F. W.; PEREIRA, P. de B. RANGEL, E. M. CASTRO, A. S. Las 3R aplicadas al plástico: Una revisión sobre la Reducción, Reutilización y Reciclaje del plástico en tecnologías ambientales. *Rev. C&Trópico*, v. 47, n. 2, p. 127-146, 2023. DOI: [https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2\(2023\)art8](https://doi.org/10.33148/CETROPv47n2(2023)art8)

Las “3R” pretendem minimizar el impacto ambiental del plástico, promoviendo su uso sostenible y evitando su acumulación en los ecosistemas. La reducción de plástico se refiere a disminuir la cantidad de plástico utilizado. Su reducción es importante porque reduce la demanda de nuevos plásticos, reduciendo así la extracción de recursos naturales y la cantidad de residuos generados. La reutilización implica utilizar repetidamente productos de plástico en lugar de desecharlos después de un solo uso. Esto se puede hacer mediante diferentes métodos, como usar botellas de agua recargables en lugar de botellas desechables, usar bolsas de compras reutilizables y adoptar recipientes de plástico duraderos. El reciclaje de plástico es un proceso mediante el cual los residuos plásticos se recolectan, separan, procesan y transforman en nuevos productos. El reciclaje ayuda a reducir la cantidad de plástico que acaba en los vertederos o en el medio ambiente, además de ahorrar energía y recursos naturales. Existen diferentes tipos de plástico y cada uno requiere técnicas de reciclaje específicas. Por ello, es importante separar correctamente los residuos plásticos para facilitar el proceso de reciclaje. En general, la reducción, la reutilización y el reciclaje del plástico desempeñan un papel esencial en la promoción de la sostenibilidad ambiental. La adopción de estas prácticas, junto con el desarrollo continuo de tecnologías ambientales, puede ayudar a mitigar los problemas relacionados con el plástico y promover un futuro más limpio y saludable. Este trabajo tiene como objetivo revisar las “3R” de los plásticos y sus principales aplicaciones en tecnologías medioambientales en la literatura.

Palabras clave: Reducción. Reutilización. Reciclaje. Plásticos. Tecnologías Ambientales.

Data de submissão: 09/10/2023

Data de aceite: 07/11/2023

1. Introdução

Os plásticos tornaram-se essenciais em muitos aspectos da vida moderna, devido a suas propriedades dificilmente encontradas em outros materiais e sua aplicação nas mais variadas atividades como saúde, tecnologia, construção, vestuário entre outras (HORTON, 2022). Muitos produtos plásticos seguem o modelo de economia linear e sua natureza barata favorece o descarte após serem usados uma única vez. Estima-se que 8300 milhões de toneladas métricas de plástico virgem foram produzidas até o momento. Aproximadamente 6300 toneladas métricas de resíduos plásticos foram geradas até 2015. Apenas 9% foram reciclados, 12% foram incinerados e 79% foram acumulados em aterros sanitários ou no ambiente natural (GEYER, JAMBECK e LAW, 2017).

A poluição nos ecossistemas aquáticos por plásticos tem recebido atenção do mundo todo nos últimos anos. Esse tipo de poluição é onipresente em todos os oceanos do mundo. Mais de 5 trilhões de pedaços de plásticos pesando mais de 250.000 toneladas estão flutuando no mar (ERIKSEN et al, 2014). Grande parte dos resíduos plásticos chegam aos oceanos através dos rios. Estima-se que 0,8 milhões de toneladas

de resíduos plásticos entraram nos rios em 2015, afetando cerca de 84% dos rios por área de superfície, globalmente (NYBERG, 2023). Além disso, já foram encontrados traços de plásticos em praias (FELD, SILVA, STRAND, 2022) sedimentos (REINOLD et al, 2021), ecossistemas estuarinos (HOSSAIN et al, 2023; SILVA, SOUZA, 2021) e ar atmosférico (CHOUDHURY et al, 2023). Uma vez espalhados pelos ecossistemas, causam vários tipos de consequências negativas combinadas com efeitos ecológicos e socioeconômicos. Emaranhamento, efeitos toxicológicos por ingestão de plásticos, sufocamento, ingestão de substâncias tóxicas e patogênicas adsorvidas no plástico, introdução de espécies invasoras são alguns das consequências dos plásticos à fauna aquática (THUSHARI; SENEVIRATHNA, 2020). Estudos relatam a presença de plásticos em toda cadeia alimentar marinha, desde peixes, aves, répteis e mamíferos (OMEYER et al, 2023). Muitas dessas espécies marinhas servem como alimento para seres humanos, gerando maior preocupação. Já foi relatado presença de microplástico em placenta humana (RAGUSA et al, 2021). Estudos sobre os efeitos dos plásticos aos organismos humanos estão em desenvolvimento, mas evidências sugerem que os microbiomas intestinais são alterados por micro e nanoplásticos, impactando nos sistemas imunológicos, endócrino e neurológico do corpo (HOSSAIN et al, 2023).

Em 25 de setembro de 2015, as Nações Unidas criaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Dentre os 17 objetivos estabelecidos, assegurar padrões de consumo sustentáveis, conservar e promover o uso sustentável de ecossistemas marinhos e terrestres estão entre eles (KHAJURIA et al, 2022). Muitos países têm tomado medidas para reduzir a poluição por plásticos. A proibição ou tributação de sacolas plásticas é um exemplo disso. Microesferas de plásticos, que dão origem ao microplástico primário, estão sendo proibidas também. A agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA) está propondo uma restrição a todos os microplásticos adicionados intencionalmente em qualquer produto. No entanto, microplásticos secundários (aqueles que se originam de plásticos maiores) dominam a composição de microplásticos no meio ambiente (HORTON, 2022).

Diante dessa problemática, é fundamental que a população, governos, organizações e empresas busquem formas para reduzir, reutilizar e reciclar (3R's) os plásticos. Os 3R's é um conceito difundido para minimizar os impactos do plástico no meio ambiente. Reduzir significa evitar o uso, por exemplo, usar o canudo de aço ao invés do canudo de plástico. A reutilização pode ser realizada por meio da venda, doação ou conserto de itens, por exemplo, reabastecer uma garrafa de bebida ao invés de comprar uma nova. A reciclagem inclui a coleta, separação e processamento de resíduos. Além do plástico, o papel, metal e o vidro também são materiais recicláveis (TING et al, 2020).

O meio ambiente é afetado por uma variedade de problemas resultantes das atividades antrópicas. As soluções para essas questões ambientais podem surgir por meio de pesquisas que se concentram no aproveitamento de resíduos gerados por essas atividades. Este artigo tem como objetivo estudar o conceito dos 3R's aplicados aos plásticos ao longo dos últimos anos e trazer uma reflexão sobre a questão da poluição por plásticos e alternativas para minimizar esse problema. Para isso, são explorados estudos relacionados à redução, reutilização e reciclagem dos plásticos, especialmente no contexto de tecnologias ambientais.

2. Metodologia

Realizou-se uma revisão bibliográfica para identificar artigos pertinentes e atualizados sobre o tema da aplicação do princípio dos 3R's aos resíduos do plástico. Segundo Koller, Couto e Hohendorff (2014) revisão de literatura são textos que esclarecem um determinado problema, resumizam estudos prévios e informam aos leitores o estado em que se encontra determinada área de investigação. Também indica relações, contradições, lacunas e inconsistências na literatura, além de indicar sugestões para resolução de problemas.

Para isso, foram utilizadas as seguintes palavras-chaves “redução de Plásticos”, “Reutilização de Plásticos”, “Reciclagem de Plásticos”, “aplicações” e “tecnologias ambientais”. Com o fim de restringir a pesquisa, foram utilizadas aspas nas seguintes palavras-chaves: redução de plásticos, reutilização de plásticos e reciclagem de plásticos. Além disso, foram buscados apenas artigos de pesquisa, no idioma inglês dos últimos 7 anos (2017 a 2023). Como mecanismos de busca foram utilizados as plataformas Science Direct e o Portal de Periódicos da Capes que disponibiliza acesso a artigos confiáveis e renomados do mundo todo.

No total, foram obtidos 517 artigos de pesquisa sobre o tema. A primeira etapa de seleção consistiu na análise dos títulos dos artigos. Posteriormente, realizou-se a segunda etapa de seleção, na qual foram lidos os resumos dos artigos, com o objetivo de selecionar os temas mais relevantes para a discussão sobre aplicação dos princípios dos 3R's aos plásticos em tecnologias ambientais.

3. Resultados e discussões

3.1. Redução

A redução é a primeira ação para minimizar a poluição por macro e microplásticos nos oceanos. No entanto, trata-se de um desafio extremamente complexo, uma vez que abrange questões culturais, econômicas e sociais. Além disso, requer o envolvimento de toda a sociedade, incluindo órgãos governamentais, indústrias e consumidores em geral. Muitos países assumiram campanhas públicas, programas educacionais, políticas, legislações e regulamentos governamentais para redução no consumo de SUPs (plásticos de uso único) (MATHEW et al, 2023).

Segundo Xanthos e Walker (2017), a implementação de taxas, impostos e proibições de SUPs, baseadas em fontes não-renováveis, devem continuar a ser incentivados. Essas mudanças devem ser apoiadas pelo público e pela comunidade científica, pressionando cada vez mais a indústria do plástico e os governos. Por exemplo, a cobrança de uma pequena taxa por sacola introduzida em 2002 resultou em uma redução de 90% no uso de sacolas SUP na Irlanda, enquanto desfrutava de grande apoio público. A literatura traz muito sobre redução de plásticos aplicados a intervenções políticas, essas intervenções têm como objetivo reduzir o uso de plásticos (sacolas). Governos de todo o mundo têm estratégias para proibição da venda de sacolas, cobrança das mesmas e gerar impostos das lojas que as vendem (Tabela 1). Em 2018, 127

dos 192 países analisados pela UM environment programme, adotaram alguma forma de legislação para regulamentar as sacolas plásticas.

A pandemia pela Covid-19, no entanto, provocou um aumento no consumo de plásticos descartáveis. Serviços de alimentação, por exemplo, ficaram restritos a serviços de entregas. Muitas empresas do setor alimentício já aplicavam algumas estratégias de redução de SUP antes da Covid-19, porém essa pandemia forçou as empresas a restringirem o uso de itens pessoais reutilizáveis e a adotar SUPs novamente (MOLLOY et al, 2022). Além disso, ela desencadeou o aumento repentino na demanda global por equipamentos de proteção individual de uso único (máscaras, luvas e aventais) (PICÓ; BARCELÓ, 2023) o que contribuiu para o aumento na taxa de resíduos plásticos de uso único/pessoa (ALFONSO et al, 2021). As instalações médicas são responsáveis por gerar grandes quantidades de emissões de CO2 devido a dependência de produtos plásticos descartáveis. Os SUPs são preferidos pelos estabelecimentos de saúde, por sua conveniência, esterilidade e garantia de qualidade de uso único. Em contrapartida, o design atual desses produtos e embalagens médicas não considera o ciclo de vida e o destino final do produto, impossibilitando opções de classificação e reciclagem (RAMOS et al, 2023).

Apesar do amplo uso de plásticos descartáveis, Chin et al., (2020) mostraram em seu estudo que o vírus SARS-CoV-2 provou ser viável em uma variedade de materiais/superfícies (metal, papelão, plástico, têxteis). Assim, SUPs devem ser reduzidos, sendo substituídos por alternativas reutilizáveis de baixo carbono sempre que possível. Por exemplo, os sacos de plástico ou de tecido reutilizável devem ser preferidos ao embalar mantimentos (incluindo sacos de papel), mesmo quando não existem taxas ou proibições. As alternativas incluem embalagens plásticas 100% reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis já disponíveis no mercado. Outros exemplos incluem o uso de EPIs reutilizáveis pelo público em geral, em vez de descarte após um único uso. No caso do SARS-CoV-2 ou de outros patógenos altamente transmissíveis, o uso de higiene e esterilização adequadas poderia mitigar as preocupações sobre embalagens reutilizáveis e EPIs.

A praticidade, custo acessível e segurança higiênica das embalagens plásticas impulsionam seu uso, contudo, também ocasiona aumento de resíduos sólidos para municípios gerenciarem e disporem da forma correta. Quando descartadas incorretamente, seu destino pode ser os mares e oceanos, causando diversos problemas ambientais.

O *ecodesign* é a abordagem sistemática de *design* de produtos que visa reduzir impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida, promovendo uma economia circular por meio de princípios de design sustentável (RIESENER et al., 2023). O *ecodesign* pode abordar o princípio dos 3Rs como no estudo realizado por Vázquez, Castilho e Barbosa (2022). Os autores avaliaram frascos plásticos rígidos de Shampoo e comprovaram o superdimensionamento e grande quantidade de material utilizado nas tampas apenas para fins estéticos. Como estratégia de *ecodesign*, recomendou-se o uso de um único material para toda embalagem, sendo o HDPE o mais apropriado para fabricar todas partes, pois é reciclável e tem baixo custo.

Outra maneira de redução de plásticos envolve o uso de biopolímeros, que são polímeros à base de plantas, animais, bactérias e biomassa de diversas atividades. Pesquisas envolvendo biopolímeros estão cada vez mais em evidência como alternativa

aos plásticos de fontes não-renováveis. Ao contrário dos plásticos, os biopolímeros são fontes renováveis e são biodegradáveis em um curto período, o que ajudaria a preservar os ecossistemas e a saúde dos seres humanos (BABAREMU, 2023).

Tabela 1 – Medidas políticas aplicadas à redução de plásticos

País	Ano da proibição	Quadro político
Alemanha	1991	Legislação aprovada para garantir que as lojas de varejo que fornecem sacolas plásticas paguem um imposto ou taxa. (Clean Up Clean Up Australia, 2015, Earth Policy Institute, 2014).
Dinamarca	1994	Foi aprovada uma legislação que obriga os fabricantes de sacos de plástico a pagar impostos com base no peso dos sacos de plástico. As lojas de varejo conseguem repassar o custo do imposto para os consumidores. (Ritch et al., 2009).
Irlanda	2002	A legislação foi aprovada para criar uma taxa para a venda de sacolas plásticas em lojas de varejo. Os sacos de plástico destinados à reutilização estão isentos da taxa. (Earth Policy Institute, 2014).
África do Sul	2002/ 2003	A legislação aprovada para proibir sacolas plásticas < 30 µm de espessura. Os sacos de plástico > 30 µm foram sujeitos à imposição de uma taxa. A aplicação da proibição dos sacos de plástico tem sido deficiente. A aceitação da taxa pelos consumidores tem visto altos níveis de consumo continuarem (Dikgang et al., 2012)
Índia	2002/ 2005	Legislação aprovada em 2002 para proibir sacos < 20 µm de espessura. Seguiu-se, em 2005, a proibição de sacos < 50 µm. Em 2016, o estado de Karnataka introduziu uma proibição completa das sacolas plásticas. Proibições foram implementadas para evitar que as sacolas entupam os sistemas municipais de drenagem, especialmente na temporada de monções. Proibições também foram implementadas para evitar que as vacas sagradas do país ingerirem sacos plásticos ao comer alimentos dentro de sacolas, o que pode causar mortalidade (Clean Up Australia, 2015).
China	2008	A legislação foi aprovada para proibir lojas, supermercados e pontos de venda de fornecer gratuitamente sacolas plásticas com < de 25 µm de espessura. Para os sacos > 25 µm, foi instituída uma taxa. (Block, 2013).

Argentina (Buenos Aires)	2012/ 2017	Na Argentina, a província de Buenos Aires implementou a proibição de sacolas plásticas em supermercados em 2012 e a proibição total de sacolas plásticas em supermercados e hipermercados, a partir de 1º de janeiro de 2017 (Paya, 2016).
---	---------------	--

Fonte: Adaptado Xanthos e Walker (2017)

3.2. Reutilização

A reutilização refere-se à utilização repetida de uma embalagem plástica, sem necessitar de um novo processo de transformação, o que geralmente requer consumo adicional de energia. A reutilização de embalagens e recipientes pode reduzir significativamente o desperdício de plástico. Muitos estudos, porém, demonstram a dificuldade de adoção dessa atitude e que poucas pessoas estão dispostas a reutilizar embalagens plásticas (GREENWOODA et al, 2021; BAIRD et al, 2022; XUEQING et al, 2023).

A reutilização de embalagens plásticas pode ser realizada para outros fins, como aplicação para diferentes soluções de problemas ambientais. Shi et al., (2022) fizeram a reutilização direta de restos de plástico eletrônico do monitor e teclado do computador para direcionar o crescimento e diferenciação de células-tronco. Os E-plásticos (plásticos eletrônicos computacional) foram retirados de componentes de computador descartados, como placa difusora de luz (poliacrilatos), folha prismática (tereftalato de polietileno) e teclados (acrilonitrila butadienoestireno) foram limpos, esterilizados e sistematicamente caracterizados para determinar a identidade dos plásticos, constituintes químicos, características da superfície e características de lixiviação. A análise multiparamétrica revelou que todos os E-plásticos podem preservar o fenótipo das células-tronco e manter o crescimento celular por 2 semanas, rivalizando com o desempenho das placas tratadas com a cultura de tecidos comerciais como cultura de células-plásticos. As descobertas dos autores apontam para a possibilidade real de utilizar plásticos de computador descartados como um material para programar o destino das células-tronco sem processamento adicional nem modificação bioquímica, fornecendo assim uma opção inovadora de segunda vida para E-plásticos de computadores pessoais.

Os autores Clancy, Wade e Young (2023) analisaram o potencial de reutilização de pratos de cultura de plástico e, posteriormente, propuseram métodos para mitigar o desperdício de plástico de uso único em laboratórios de pesquisa de biologia. Os autores testaram a eficácia da água sanitária e do álcool etílico na esterilização de pratos usados e, em seguida, a viabilidade de lavar e reutilizar o plástico para cultivar *Xenopus laevis* (embriões) submetidos a várias manipulações. Limpar e reutilizar o plástico de laboratório não afetou o desenvolvimento ou a sobrevivência de *X. laevis*, indicando que esses métodos de limpeza não afetam adversamente o resultado experimental e podem ser usados para esterilizar o plástico antes de reutilizá-lo ou reciclá-lo. Por fim, realizamos uma pesquisa em vários laboratórios de ciências da vida para estimar a redução de resíduos e a economia associada à reciclagem de plásticos descartáveis.

A padronização desses procedimentos permitiria que os laboratórios de pesquisa se beneficiassem economicamente ao praticar um consumo ambientalmente consciente. Dada a capacidade de reutilizar pratos, os autores descobriram que fazer isso apenas uma vez pode economizar até US\$ 12.000 e 63 kg de resíduos por ano, coletivamente, nos laboratórios de pesquisa pesquisados. O emprego desses métodos reduzirá ainda mais a pegada de carbono dos laboratórios de pesquisa, reduzindo o transporte e a produção. Assim, este estudo atua como um método para mitigar o uso de plástico, considerando a necessidade econômica de usar plásticos.

A reutilização de plásticos pode ser aplicada para melhorar a resistência e como um reforço para solos expansivos em pavimentação. Oljira (2022) estudou a utilização de tiras de plástico na construção subleito para solos classificados como argiloso expansivo. Descobriu-se com esse trabalho, que à medida que a porcentagem de adição de tiras de plástico aumentava os valores de ondulações livre do solo diminuem, ou seja, leva a uma redução no potencial de expansão do solo.

Em um estudo conduzido por Fang et al. (2020), plásticos coletados através de uma campanha de limpeza dos oceanos foram reutilizados para compor a estrutura de barcos. Cerca de 6,5 metros cúbicos contendo plásticos duros foram encaminhados para uma empresa especializada em análise de composição de resíduos, com o intuito de higienizar e classificar os plásticos em diferentes tipos (EPIs, PET e assim por diante). Os autores utilizaram uma linha de base para o estudo de um barco construído em laminação direta. O ciclo de vida do barco com material plástico reutilizado foi comparado ao de um convencional, constatando-se que seu impacto ambiental é maior que barcos convencionais por necessitar de processos mais intensivos em materiais e energia. Isso é muito comum tanto na reutilização como na reciclagem de materiais plásticos. Além disso, o aumento dos custos e misturas de diferentes tipos de plásticos nos resíduos são fatores que impossibilitam a economia circular desses materiais. No entanto, adaptar processos para integrar materiais reutilizáveis e recicláveis é necessário para sistemas de produção mais sustentáveis e circulares.

3.3. Reciclagem

A reciclagem do plástico é classificada em quatro tipos: reprocessamento mecânico em um produto com atributos iguais, reprocessamento mecânico em bens com propriedades menores, recuperação de ingredientes químicos e recuperação de constituintes químicos (recuperação de energia) (SUNDARAM et al., 2023).

O estudo de Camargo e Saron (2020) traz a despolimerização química pós-consumo de plásticos de polietileno e polipropileno, que é um método de reciclagem que produz os monômeros iniciais que podem ser posteriormente repolimerizados em polímeros de alta qualidade ou pequenas moléculas inovadoras que podem ser usadas como blocos de construção de alto valor agregado para criar materiais poliméricos exclusivos ou outros produtos químicos com o mínimo de resíduos. A tecnologia gera um esquema industrial rentável e sustentável, com alto desempenho do produto. Isso superaria a limitação da reciclagem mecânica. Devido à alta estabilidade dos materiais poliméricos, no entanto, condições forçadas são geralmente necessárias, tais

como assistência por micro-ondas (SHARMA et al., 2015), condições supercríticas (YANG et al., 2002) ou o uso de catalisadores (CHUJO; KOBAYASHI; YAMASHITA, 1989) para melhorar a eficiência das reações de despolimerização. Os materiais que passaram por pesquisas para despolimerização incluem o grupo dos poliésteres (PET, PLA, PHB), poliamidas (PA-6 e PA-12), poliolefinas (PE e PI), poliuretanos (PU), polimetilmetacrilato (PMMA), poliestireno (PS) e policarbonato (PC) (MACDONALD; SHAVER, 2016).

No trabalho de Khair e Matsana (2021), a produção de plástico *downgrade* (plásticos de qualidade inferior) recicla resíduos em plásticos usando processos como separação, triagem, embalagem, lavagem, trituração e mistura, mantendo sua estrutura química. Na produção de plástico *downgrade*, cada tipo de resíduo plástico separado é dissolvido em altas temperaturas e, em seguida, regenerado como plástico reutilizável *downgrade*.

Compósitos são materiais que resultam da combinação de dois ou mais componentes diferentes, com propriedades distintas, com a finalidade de melhorar o desempenho do material. O objetivo do estudo de Sezgin et al. (2021) foi produzir materiais compósitos de alto valor agregado, combinando resíduos têxteis e de embalagens de dois setores diferentes (tampas de garrafa de polipropileno e polietileno). Os resultados indicam que os painéis compostos à base de têxteis desenvolvidos são aplicáveis como materiais de suporte comercial e oferecem melhores propriedades de isolamento térmico e acústico. O material compósito desenvolvido proporciona perda de transmissão sonora de até 8 dB, e melhora a resistência térmica em até 0,11 m².K/W. Obande et al (2023), demonstrou o potencial de reciclagem de alto valor e baixas temperaturas de compostos acrílicos reforçados com resina líquida. Esse compósito apresentou uma resistência a flexão até 13% maior em relação a referência utilizada, fornecendo informações sobre o desempenho e limites de aplicabilidade para realização de projetos ambientais e benefícios econômicos na cadeia de valor de compósitos.

Uma membrana de aerogel foi desenvolvida a partir de resíduos plásticos de polietileno (PE), através de processos de intumescimento, extração por solvente seguido por liofilização. O aerogel hidrofóbico produzido exibiu propriedades ultraleves com superfícies rugosas e porosas, que favoreceram a seletividade da separação água/óleo apresentando eficiência de 98,75%. Além disso, a membrana apresentou boa capacidade, durabilidade e separação de emulsões em ambientes hostis, incluindo ácido, alcali e sal concentrado (GAN et al, 2022).

Gao et al (2022) elaborou uma nova estratégia para reciclagem de resíduos de polietileno tereftalato (PET) na preparação de produtos aerogel de alto valor. O aerogel de PET pode suportar altas temperaturas de até 1300°C, diferente da alta inflamabilidade do PET bruto. Além disso, não prende fogo e nem libera fumaça. Isso se deve às redes de fosfato de polialumínio e ligações de hidrogênio que são formadas com sucesso na estrutura do aerogel de PET com introdução de Al(H₂PO₄)₃ que promove excelente resistência ao fogo e resistência a compressão de 29,1Mpa.

Os materiais plásticos reciclados estão sendo cada vez mais utilizados e adaptados para aplicações na construção civil. Estudos recentes combinaram resíduos de plástico e areia para produzir materiais compósitos Waste Plastic Binder (WPB). Este estudo explorou as propriedades de engenharia de resíduos de plástico e pó de pedra

para o desenvolvimento sustentável de infraestrutura. Foi empregado o tipo de plástico tereftalato de polietileno (PET), que foi fundido e misturado com pó de madeira (PM) em diferentes composições de 1:0, 1:1, 1:2 e 1:3 respectivamente. As descobertas mostraram que o P&PM 1:3 tem o maior valor de resistência à compressão de 20,1 MPa, e que atende ao requisito mínimo do American Concrete Institute e da norma sul-africana de 17 MPa para concreto estrutural leve aplicável para construções de passarelas, paredes e estruturas de retenção de água (BABATUNDE et al., 2022).

A produção de tijolos plásticos com fim de construção social em locais deslocados foi o estudo de Haque e Islam (2021). As amostras de tijolos plásticos utilizando garrafas PET, cimento e areia fina obtiveram uma resistência à compressão (máx. 4,46 N/mm² e 3,60 N/mm² para amostras de 28 e 14 dias, respectivamente) e os estudos sugerem que, a utilização do procedimento de reciclagem para construir abrigos em campos deslocados em vez de bambu e folhas de plástico, são uma forma sustentável de apoiar os refugiados Rohingya com abrigos seguros, juntamente com a mitigação dos resíduos plásticos do país e da degradação responsável por eles. Esta mistura manual de cimento e areia acompanhada de resíduos de garrafas de plástico provou ser uma solução de construção ecológica e de baixo custo contra os riscos ambientais.

Hama e Hilal (2017) substituíram parcialmente agregados finos de areia por agregados de resíduos plásticos de diversos tamanhos (finos, grossos e mistos) para produção de concreto autoadensável. Os autores concluíram que o concreto autoadensável com resíduos plásticos é facilmente produzido com uma resistência à compressão superior a 35MPa. No entanto, o uso de resíduos plásticos resultou em uma diminuição da resistência à compressão e a utilização de resíduos plásticos grossos diminui mais a resistência à compressão que resíduos de plásticos finos

Materiais de pavimentação podem ser alternativas para aplicação de componentes recicláveis de plásticos. Em um estudo recente, Owen et al (2023) adotou uma estratégia inovadora para reduzir a poluição plástica, embalagens mistas de uso único da família das poliolefinas (coloridos, pretos e transparentes), desenvolvendo compósitos de valor agregado a partir de resíduos plásticos industriais reforçados com fibras de náilon recicladas. O compósito produzido apresentou excelentes propriedades mecânicas, indicando características únicas que são adequadas para ladrilhos de pavimentação.

No estudo de Bae, Oh, Pedrycz e Fu (2018), a incorporação de resíduos plásticos no asfalto resultou em aumento da resistência a trincas e derrapagens do pavimento. O uso de resíduos plásticos como modificadores nas misturas asfálticas melhora significativamente a rigidez e o desempenho da resistência à estrofe. Tal incremento no desempenho do asfalto modificado por resíduos plásticos pode ser atribuído à maior resistência da matriz causada pela incorporação do resíduo plástico. Além disso, observou-se redução significativa do ruído do tráfego no caso dos resíduos plásticos incorporados ao asfalto. Também é relatado que os resíduos plásticos podem ser empregados como um potencial substituto para madeira, blocos e tijolos usando o processamento de moldagem.

Além de suas diversas aplicações, os materiais plásticos têm a capacidade de serem transformados em combustíveis através de processos como a pirólise e a degradação térmica.

Gopinath e Devan (2020) desenvolveram uma técnica para transformar resíduos plásticos em óleo de pirólise, um combustível renovável. Esse processo envolve a utilização de um reator de pirólise, um separador de óleo e um condensador para realizar a pirolise dos resíduos plásticos a altas temperaturas. O óleo produzido é condensado no condensador e, em seguida, é separado por um separador de óleo. No estudo de Shaha et al., 2020, a produção de RPF (combustível plástico de lixo) recicla resíduos plásticos para combustível reutilizável por britagem e paletização. Cada tipo de plástico residual é triturado, em seguida, o plástico triturado é paletizado como combustível reutilizável.

Figura 1: Esquema 3R's para minimizar impacto ambiental do plástico



Fonte: Elaborado pelos Autores

A reciclagem do plástico pode ser tratada por diversas vias, como reciclagem mecânica, térmica ou química, cada uma originada em diferentes tipos de materiais reciclados. Cada abordagem oferece uma maneira única e valiosa de lidar com os resíduos, transformando em compósitos de valor agregado e reduzindo o impacto ambiental desse material tão difundido no planeta.

4. Conclusão

Nesta revisão, foram são apresentadas alternativas tecnológicas atuais que visam reduzir, reutilizar e reciclar plásticos no geral, mas especialmente plásticos de uso único, para minimizar o impacto do seu consumo desenfreado e do seu descarte no

meio ambiente. Para reduzir o uso de plásticos, políticas públicas como legislações reguladoras e aplicação de taxas em embalagens de uso único são fundamentais. Além disso, é necessário realizar pesquisas de design e ciclo de vida dos produtos plásticos, bem como o desenvolvimento de novos plásticos renováveis e biodegradáveis produzidos a partir de biopolímeros.

É importante fomentar a conscientização de reutilização de embalagens duráveis para evitar o desperdício de materiais plásticos. Reutilizar o material plástico sem necessitar transformá-lo por processos mecânicos, térmicos ou químicos seria o ideal, porém para atingir os objetivos e eficiência de materiais a reciclagem ainda é mais amplamente difundida.

Os materiais recicláveis são caracterizados por sua notável durabilidade e resistência, permitindo a formação de compósitos com inúmeras aplicações nos setores de tecnologias de construção, remoção de poluentes, pavimentação e produção energética. Para isso, o contínuo desenvolvimento de estudos e estratégias são necessários visando à redução do consumo de energia na produção e o aprimoramento das propriedades físico-químicas e mecânicas dos materiais a base de reciclados.

Referências

ALFONSO, M. B. et al. Assessing threats, regulations, and strategies to abate plastic pollution in LAC beaches during COVID-19 pandemic. *Ocean & Coastal Management*, v. 208, p. 105613, jul. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105613>

ALLEN, Robert D.; JAMES, Martin I.. Chemical Recycling of PET. *Acs Symposium Series*, p. 61-80, 2 nov. 2021. *American Chemical Society*. <http://dx.doi.org/10.1021/bk-2021-1391.ch004>

BABAREMU, K.; OLADIJO, O. P.; AKINLABI, E. Biopolymers: A suitable REPLACEMENT for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, jan. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.01.001>

BABATUNDE, Y.; MWERO, J.; MUTUKU, R.; JIMOH, Y.; OGUNTAYO, D. Influence of material composition on the morphology and engineering properties of waste plastic binder composite for construction purposes. *Heliyon*, v. 8, n. 10, p. 1207, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11207>

BAE, Jong-Soo; OH, Sung-Kwun; PEDRYCZ, Witold; FU, Zunwei. Design of fuzzy radial basis function neural network classifier based on information data preprocessing for recycling black plastic wastes: comparative studies of atr ft-ir and raman spectroscopy. *Applied Intelligence*, v. 49, n. 3, p. 929-949, 11 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10489-018-1300-5>

BAIRD, H. M.; MEADE, K.; WEBB, T. L. This has already been used! A paradigm to measure the point at which people become unwilling to use reusable containers. **Journal of Cleaner Production**, v. 363, p. 132321, ago. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132321>

BLOCK B. China reports 66-percent drop in plastic bag use. Retrieved from <http://www.worldwatch.org/node/6167> (2013).

CAMARGO, Rayane Veloso de; SARON, Clodoaldo. Mechanical–Chemical Recycling of Low-Density Polyethylene Waste with Polypropylene. **Journal Of Polymers And The Environment**, v. 28, n. 3, p. 794-802, 23 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-019-01642-5>

CHIN, A.W.H.; OLIVEIRA, J.T.S.; PERERA, M.R.A.; HUI, K.P.Y.; YEN, H.-L.; OLIVEIRA, M.C.W.; OLIVEIRA, M.; POON, L.L.M. Stability of SARS-CoV-2 under different environmental conditions. **Microbe Lancet**, 1 (2020), p. e10. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)

CHOUDHURY, A. et al. Atmospheric microplastic and nanoplastic: The toxicological paradigm on the cellular system. v. 259, p. 115018–115018, 1 jul. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115018>

CHUJO, Yoshiki; KOBAYASHI, Hisaaki; YAMASHITA, Yuya. Synthesis of aromatic dicarboxyl-terminated poly(methyl methacrylate) macromonomers. **Journal Of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry**, v. 27, n. 6, p. 2007-2014, maio 1989. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pola.1989.080270621>

CLANCY, Maggie; WADE, Isabel S.; YOUNG, John J. Facile methods for reusing laboratory plastic in developmental biology experiments. **Differentiation**, v. 130, p. 1-6, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diff.2022.11.001>

CLEAN UP AUSTRALIA. Report on Actions to Reduce Circulation of Single-use Plastic Bags Around the World: August 2015. (Retrieved from Australia).

DE CAMARGO, R.V., SARON, C. Mechanical-Chemical Recycling of Low Density Polyethylene Waste with Polypropylene. **J Polym Environ** 28, 794–802 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01642-5>

DIKGANG, Johane; LEIMAN, Anthony; VISSER, Martine. Analysis of the plastic-bag levy in South Africa. Resources, Conservation And Recycling, v. 66, p. 59-65, set. 2012. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.009>

E SILVA, P. H. S.; DE SOUSA, F. D. B. Microplastic pollution of Patos Lagoon, south of Brazil. *Environmental Challenges*, v. 4, p. 100076, ago. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100076>

EARTH POLICY INSTITUTE. Plastic bag regulations worldwide. Retrieved from: http://www.earth-policy.org/data_center/C26 (2014).

ERIKSEN M, LEBRETON LC, CARSON HS, THIEL M, MOORE CJ, BORERRO JC, GALGANI F, RYAN PG, REISSER J. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One*. 2014 Dec 10;9(12):e111913. doi: 10.1371/journal.pone.0111913

FANG, Q.; DESPEISSE, M.; CHEN, X. Environmental Impact Assessment of Boatbuilding Process with Ocean Plastic. *Procedia Cirp*, v. 90, p. 274-279, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.080>.

FELD, L.; DA SILVA, V. H.; STRAND, J. Characterization of foamed plastic litter on Danish reference beaches – Pollution assessment and multivariate exploratory analysis. *Marine Pollution Bulletin*, v. 180, p. 113774, jul. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113774>

GAN, L. et al. A recyclable and regenerated aerogel membrane derived from waste plastic for emulsion separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, n. 5, p. 108221–108221, 1 out. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108221>

GAO, B. et al. A new strategy to chemically transform waste PET plastic into aerogel with high fire resistance and mechanical strength. *Polymer*, v. 254, p. 125074, jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.125074>

GAY M. New York City council approves 5-cent fee on plastic bags. Retrieved from <http://www.wsj.com/articles/new-york-city-council-approves-5-cent-fee-on-plastic-bags-1462485699> (2016).

GEYER R, JAMBECK JR, LAW KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017 Jul 19; 3(7):e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782

GOPINATH, S.; DEVAN, P. Optimization and prediction of reaction parameters of plastic pyrolysis oil production using the taguchi method Will. *J.Chem. chem. Eng.*103. Doi: 10.30492/IJCCE.2020.33965

GREENWOODA, S. C. et al. Many Happy Returns: Combining insights from the environmental and behavioural sciences to understand what is required to make reusable packaging mainstream. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 1688–1702, 1 jul. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.022>

HAMA, Sheelan M.; HILAL, Nahla N. Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal Of Sustainable Built Environment*, v. 6, n. 2, p. 299-308, dez. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.01.001>

HAQUE, M. S.; ISLAM, S. Effectiveness of waste plastic bottles as construction material in Rohingya displacement camps. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 3, p. 100110, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100110>

HORTON, A. Plastic pollution: When do we know enough? *Journal of Hazardous Materials*, v. 422, p. 126885, 15 jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126885>

HOSSAIN, M. B. et al. Microplastics in surface water from a mighty subtropical estuary: First observations on occurrence, characterization, and contamination assessment. *Environmental Research*, v. 226, p. 115594–115594, 1 jun. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115594>

HUNT, Robert G.; SELLERS, Jere D.; FRANKLIN, William E.. Resource and environmental profile analysis: a life cycle environmental assessment for products and procedures. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 12, n. 3, p. 245-269, set. 1992. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0195-9255\(92\)90020-x](http://dx.doi.org/10.1016/0195-9255(92)90020-x)

KHAIR, F; MATSANA, J. Sustainable plastic waste management strategy: optimization of plastic manufacturing plant waste (gas and product transition). Iop Conference Series: *Materials Science and Engineering*, v. 1041, n. 1, p. 012043, 1 jan. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1041/1/012043>

KHAJURIA, A. et al. Accelerating circular economy solutions to achieve the 2030 agenda for sustainable development goals. *Circular Economy*, v. 1, n. 1, p. 100001, jun. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cec.2022.100001>

KOLLER, SH; COUTO, MCPP; HOHENDORFF, J.V. *Métodos de pesquisa: manual de produção científica*. Porto Alegre: Penso; 2014

LUO, Yuqing; SELVAM, Esun; VLACHOS, Dionisios G.; IERAPETRITOU, Marianthi. Economic and Environmental Benefits of Modular Microwave-Assisted Polyethylene Terephthalate Depolymerization. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 11, n. 10, p. 4209-4218, 23 fev. 2023. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c07203>.

MACDONALD, Jarret P.; SHAVER, Michael P. An aromatic/aliphatic polyester prepared via ring-opening polymerisation and its remarkably selective and cyclable depolymerisation to monomer. *Polymer Chemistry*, v. 7, n. 3, p. 553-559, 2016. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c5py01606a>.

MATHEW, A. et al. A systematic literature review of voluntary behaviour change approaches in single use plastic reduction. *Journal of Environmental Management*, v. 336, p. 117582, jun. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117582>.

MIAO, X.; MAGNIER, L.; MUGGE, R. Switching to reuse? An exploration of consumers' perceptions and behaviour towards reusable packaging systems. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 193, p. 106972, 1 jun. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106972>

MITRANO, Denise M.; WAGNER, Martin. A sustainable future for plastics considering material safety and preserved value. *Nature Reviews Materials*, v. 7, n. 2, p. 71-73, 13 dez. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41578-021-00406-9>

MOLLOY, S.; VARKEY, P.; WALKER, T. R. Opportunities for single-use plastic reduction in the food service sector during COVID-19. *Sustainable Production and Consumption*, v. 30, fev. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.023>

NYBERG, B. et al. Leaving a plastic legacy: Current and future scenarios for mismanaged plastic waste in rivers. *Science of The Total Environment*, v. 869, p. 161821, abr. 2023. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161821>

OBANDE, W. et al. Thermal reshaping as a route for reuse of end-of-life glass fibre-reinforced acrylic composites. *Composites Part B: Engineering*, v. 257, p. 110662–110662, 1 maio 2023. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110662>

OLJIRA, S. A. Utilizing solid plastic wastes in subgrade pavement layers to reduce plastic environmental pollution. *Cleaner Engineering and Technology*, p. 100438, fev. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100438>

OMEYER, L. C. M. et al. Interactions between marine megafauna and plastic pollution in Southeast Asia. *Science of The Total Environment*, v. 874, p. 162502, 20 maio 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162502>

OWEN, M.M.; ACHUKWU, E.O.; ROMLI, A. Z.; ABDULLAH, A. H. B.; RAMLEE, M. H.; SHUIB, S. B. Thermal and mechanical characterization of composite materials from industrial plastic wastes and recycled nylon fibers for floor paving tiles application. *Waste Management*, v. 166, p. 25-34, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.038>

PAYA C. An Integrated System of Waste Management in a Developing Country Case Study: Santiago de Cali, Colombia(2016). Retrieved from: <http://hdl.handle.net/10012/10271>

PICÓ, Y.; DAMIÀ BARCELÓ. Microplastics and other emerging contaminants in the environment after COVID-19 pandemic: The need of global reconnaissance studies. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 33, p. 100468-100468, 1 jun. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100468>

QI FANG, M. D.; CHEN, X. Environmental Impact Assessment of Boatbuilding Process with Ocean Plastic. **Procedia CIRP**, v. 90, p. 274–279, 1 jan. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.080>

RAGUSA, A. et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment International**, v. 146, n. 106274, p. 106274, 1 jan. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>

RAMOS, T. et al. Reducing plastic in the operating theatre: Towards a more circular economy for medical products and packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 383, p. 135379, jan. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135379>

REINOLD, S. et al. An annual study on plastic accumulation in surface water and sediment cores from the coastline of Tenerife (Canary Island, Spain). **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 113072, dez. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113072>

RIESENER, M; KHUN, M; HELLWIG, F; SCHUH, J. Design for Circularity – Identification of Fields of Action for Ecodesign for the Circular Economy. **Procedia CIRP**, v. 116, p. 137–142, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.024> RITCH, Elaine; BRENNAN, Carol; MACLEOD, Calum. Plastic bag politics: modifying consumer behaviour for sustainable development. **International Journal Of Consumer Studies**, v. 33, n. 2, p. 168-174, mar. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1470-6431.2009.00749.x>

SEZGIN, Hande; KUCUKALI-OZTURK, Merve; BERKALP, Omer Berk; YALCIN-ENIS, Ipek. Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes. **Journal Of Cleaner Production**, v. 304, p. 127132, jul. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127132>

SHAHA, Aditya Pankaj; SINGAMSETTI, Mohan Sai; TRIPATHY, B. K.; SRIVASTAVA, Gautam; BILAL, Muhammad; NKENYEREYE, Lewis. Performance Prediction and Interpretation of a Refuse Plastic Fuel Fired Boiler. **Ieee Access**, v. 8, p. 117467-117482, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.3004156>

SHARMA, Pratibha; LOCHAB, Bimlesh; KUMAR, Devendra; ROY, Prasun Kumar. Sustainable Bis-benzoxazines from Cardanol and PET-Derived Terephthalamides. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 4, n. 3, p. 1085-1093, 28 dez. 2015. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01153>

SHI, Pujiang; TAN, Chiew Kei; WU, Zhuoran; GABRIEL, Jean-Christophe P.; SRINIVASAN, Madhavi; LEE, Jong-Min; TAY, Chor Yong. Direct reuse of electronic plastic scraps from computer monitor and keyboard to direct stem cell growth and differentiation. *Science Of The Total Environment*, v. 807, p. 151085, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151085>

SOUSA, Andreia F.; PATRÍCIO, Rafael; TERZOPOULOU, Zoi; BIKIARIS, Dimitrios N.; STERN, Tobias; WENGER, Julia; LOOS, Katja; LOTTI, Nadia; SIRACUSA, Valentina; SZYMZYK, Anna. Recommendations for replacing PET on packaging, fiber, and film materials with biobased counterparts. *Green Chemistry*, v. 23, n. 22, p. 8795-8820, 2021. <http://dx.doi.org/10.1039/d1gc02082j>

SUNDARAM, Jayavelu; MUNIAMUTHU, Sumathy; RAJKUMAR, C.; PRAKASH, J. Udaya; KUMAR, V.s. Hema; GANESAN, S.. Scope of waste plastic to reuse in India – A review. *Materials Today: Proceedings*, p. 1, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.156>

THUSHARI, G. G. N.; SENEVIRATHNA, J. D. M. Plastic Pollution in the Marine Environment. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04709, ago. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

T'ING, L. C. et al. Determinants of 3Rs behaviour in plastic usage: A study among Malaysians. *Heliyon*, v. 6, n. 12, p. e05805, 1 dez. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05805>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Legal limits on Single-Use Plastics and Microplastics: A Global Review of National Laws and Regulations. 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/legal-limitssingle-use-plastics-and-microplastics-global-review-national>. Acesso em: 20 de jul. de 2023.

VAZQUEZ, Y. V.; CASTILLO, L. A.; BARBOSA, S. E. Rethinking of toiletries rigid bottles for recycling improvement. *Journal of Environmental Management*, v. 311, p. 114839, jun. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114839>

XANTHOS, Dirk; WALKER, Tony R. International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): a review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 118, n. 1-2, p. 17-26, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>

YANG, Yong; LU, Yijun; XIANG, Hongwei; XU, Yuanyuan; LI, Yongwang. Study on methanolytic depolymerization of PET with supercritical methanol for chemical recycling. *Polymer Degradation And Stability*, v. 75, n. 1, p. 185-191, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0141-3910\(01\)00217-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0141-3910(01)00217-8). plastic to reuse in

India – A review. *Materials Today: Proceedings*, p. 1, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.156>

THUSHARI, G. G. N.; SENEVIRATHNA, J. D. M. Plastic Pollution in the Marine Environment. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04709, ago. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

T'ING, L. C. et al. Determinants of 3Rs behaviour in plastic usage: A study among Malaysians. *Heliyon*, v. 6, n. 12, p. e05805, 1 dez. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05805>

UNITED NATIONS ENVIROMENT PROGRAMME. Legal limits on Single-Use Plastics and Microplastics: A Global Review of National Laws and Regulations. 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/legal-limitssingle-use-plastics-and-microplastics-global-review-national>. Acesso em: 20 de jul. de 2023.

VAZQUEZ, Y. V.; CASTILLO, L. A.; BARBOSA, S. E. Rethinking of toiletries rigid bottles for recycling improvement. *Journal of Environmental Management*, v. 311, p. 114839, jun. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114839>

XANTHOS, Dirk; WALKER, Tony R. International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): a review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 118, n. 1-2, p. 17-26, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>

YANG, Yong; LU, Yijun; XIANG, Hongwei; XU, Yuanyuan; LI, Yongwang. Study on methanolytic depolymerization of PET with supercritical methanol for chemical recycling. *Polymer Degradation And Stability*, v. 75, n. 1, p. 185-191, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0141-3910\(01\)00217-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0141-3910(01)00217-8)