

ESTUDO DAS TECNOLOGIAS E DA DISPOSIÇÃO FINAL VISANDO ALTERNATIVAS PARA GESTÃO DO PLÁSTICO GERADO EM ÁREAS URBANAS

ESTUDY OF TECHNOLOGIES AND FINAL DISPOSITION AIMED AT ALTERNATIVES FOR THE MANAGEMENT OF PLASTIC GENERATED IN URBAN AREAS

Rayeli Nunes Gordo Gomes¹

Flavio Lucio Santos de Carvalho²

RESUMO: Desde o início do século passado até os dias atuais, o uso de polímeros tem se tornado progressivamente mais presente na sociedade. O Brasil é o quarto maior produtor de resíduos sólidos, porém recicla apenas 1% do total gerado. Esse cenário se deve não apenas à falta de políticas públicas que promovam a reciclagem, mas também à falta de conscientização da população e à resistência em realizar o descarte adequado desse tipo de material. A gestão de resíduos abrange um conjunto de práticas e estratégias voltadas para o planejamento, supervisão e organização das áreas urbanas, visando melhorar a qualidade de vida da população. O objetivo deste estudo foi de pesquisar a importância da administração de resíduos sólidos plásticos (RSP) no estado do Espírito Santo. A pesquisa busca compreender a situação específica do Espírito Santo, examinar as estratégias adotadas pelo estado para aprimorar a gestão de resíduos e analisar possíveis soluções para a questão. Além disso, busca identificar as tecnologias mais utilizadas para enfrentar essa questão e as inovações tecnológicas implementadas em outros países. Com base nos resultados da pesquisa, será possível avaliar os desafios enfrentados pelo estado e identificar as soluções mais eficazes para esses problemas.

Palavras-chave: Resíduos; Reciclagem; Estratégias; Gestão.

ABSTRACT: From the beginning of the last century to the present day, the use of polymers has become progressively more present in society. Brazil is the fourth largest producer of solid waste, but it recycles only 1% of the total generated. This scenario is due not only to the lack of public policies that promote recycling, but also to the lack of awareness of the population and resistance to the proper disposal of this type of material. Waste management covers a set of practices and strategies aimed at the planning, supervision and organization of urban areas, in order to improve the quality of life of the population. The objective of this study was to research the importance of the administration of solid plastic waste (RSP) in the state of Espírito Santo. The research seeks to understand the specific situation of Espírito Santo, examine the strategies adopted by the state to improve waste management and analyze possible solutions to the issue. In addition, it seeks to identify the most used technologies to address this issue, and the technological innovations implemented in other countries.

¹Unisales – Centro Universitário Salesiano. Vitória/ES, Brasil. Rayeli.gomes@souunisales.com.br.

²Unisales – Centro Universitário Salesiano. Vitória/ES, Brasil. fcarvalho@salesiano.br

Based on the results of the research, it will be possible to evaluate the challenges faced by the state and identify the most effective solutions to these problems.

Keywords: Waste; Recycling; Strategies; Management.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na produção e consumo de plástico tem criado um desafio considerável para a gestão de resíduos sólidos urbanos. A cidade de Espírito Santo, como muitas outras ao redor do mundo, enfrenta dificuldades no descarte de plásticos, um material que, apesar de suas muitas utilidades, causa grande impacto ambiental devido à sua durabilidade e resistência à degradação.

De acordo com estimativas, a produção anual de resíduos sólidos plásticos (RSP) em todo o mundo é de aproximadamente 400 milhões de toneladas, no Brasil um estudo feito pelo Fundo Mundial Para a Natureza, indica que, em média, cada habitante gera 1 kg de resíduos plásticos por semana. O conceito recentemente popularizado de "economia circular" opõe-se à prática de despejo de resíduos sólidos urbanos sem a intenção de recuperar seus materiais constituintes

Com base em estudos, qual é a melhor abordagem para melhorar a gestão do plástico em áreas urbanas, considerando a implementação de tecnologias inovadoras, práticas eficientes de disposição final e políticas públicas adequadas, com foco na redução de descarte inadequado, reutilização e reciclagem, valorização energética, conscientização pública e parcerias colaborativas?

O objetivo principal deste estudo é avaliar estratégias abrangentes para melhorar a gestão do plástico em áreas urbanas, visando mitigar os impactos ambientais e sociais associados à sua produção, consumo e descarte.

Com o propósito de realizar uma revisão da literatura para identificar as principais questões relacionadas à gestão do plástico em áreas urbanas, incluindo desafios, oportunidades e melhores práticas. Investigar tecnologias inovadoras disponíveis para o tratamento e reciclagem de resíduos plásticos, avaliando sua eficiência. Além de estudar os diferentes métodos de disposição final de resíduos plásticos, como aterros sanitários, avaliando seus impactos ambientais e sociais.

A implementação coordenada de tecnologias inovadoras, práticas de disposição final sustentável e políticas públicas eficazes, com foco na redução na fonte, reutilização e reciclagem, valorização energética e conscientização pública, terá como resultado uma redução substancial na quantidade de resíduos plásticos gerados em áreas urbanas, além de minimizar os impactos ambientais e sociais associados ao seu descarte inadequado.

O método que é utilizado de forma mais presente na indústria, e permite que o material seja reciclado em uma matéria-prima secundária que pode ser usada para produzir novos produtos. Na maioria dos casos, ele deve passar por vários procedimentos essenciais, como a coleta, triagem, lavagem e trituração das amostras que foram coletadas de acordo com os requisitos da organização internacional de normalização (ISO) 15270:2008. (Almeida; Soares, 2018).

A adoção de novas soluções tecnológicas como reciclagem química, reciclagem energética e biodegradação controlada possuem grandes expectativas de uma transformação radical futura na gestão de resíduos plásticos, porém não terá grandes impactos na atualidade, pois os custos associados a essas tecnologias são excessivamente elevadas e existe a resistência das comunidades em aderir a novas mudanças, assim como a falta de conscientização sobre questões ambientais.

A gestão eficiente dos detritos plásticos em ambientes urbanos representa um desafio crucial que estamos enfrentando no momento, devido à crescente preocupação com os impactos ambientais, sociais e econômicos relacionados ao descarte inadequado. O estado do Espírito Santo, situado na região Sudeste do Brasil, não escapa dessas dificuldades, lidando com uma variedade de questões ligadas à produção, coleta, tratamento e destinação final de resíduos plásticos.

Assim, este estudo tem como objetivo ressaltar a importância e a necessidade de investigar alternativas para o gerenciamento do plástico em áreas urbanas com foco no Espírito Santo, análise de tecnologias inovadoras e até mesmo substituição dos polímeros que possuem difícil degradação por um polímero biodegradável que é alvo de muitas pesquisas. O tempo médio de degradação desses bioplásticos varia de 6 a 12 meses, enquanto os polímeros sintéticos podem levar de 40 a 50 anos, ou até 200 anos, para se decompor.

Essa pesquisa pode ser de grande importância para a criação de políticas públicas mais eficazes, com foco na diminuição da produção de resíduos, na promoção da reciclagem e na adoção de práticas de descarte finais mais adequadas ao meio ambiente.

A expectativa é que os desfechos dessa investigação auxiliem no entendimento científico nesse campo e ofereçam fundamentos relevantes para a elaboração de políticas e estratégias de administração de resíduos mais eficazes e sustentáveis no estado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PRÁTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

As práticas de gestão de resíduos plásticos têm aumentado de inúmeras formas como resultado da urbanização e industrialização. Os resíduos sólidos plásticos (RSP) é um desafio para os locais devido à alta produção por habitante de resíduos plásticos. “[...] o [Brasil ocupa] 4º lugar como maior produtor de resíduo plástico do mundo – por ano são 11.355.220 milhões de toneladas – ficamos atrás somente dos Estados Unidos, China e Índia [...]” (Coelho, 2019).

Apesar de enormes progressos no contexto do desenvolvimento humano, social, financeiro e ambiental, os sistemas têm-se mantido substancialmente inalterados. As Práticas de gestão de resíduos plásticos é a recolha, processamento e eliminação de material sólido desperdiçado que tenha servido o seu propósito ou que já não seja útil (Gomes; Santos, 2021).

Problema com a eliminação ineficiente de resíduos sólidos conduz à poluição ambiental, além de problemas de saúde e econômico. Os seres humanos, a flora e a

fauna, todos sofrem com o resultado. Todos estão conscientes dos perigos da poluição, segundo a IFMG (2022), aproximadamente 6,3 milhões de toneladas geradas anualmente ainda não são sequer coletadas, sendo descartadas de forma descontrolada, mesmo com a legislação estabelecendo a obrigatoriedade de destinação para tratamento e, em última instância, para aterros sanitários

Um chamado urgente à ação de todas as nações, tanto desenvolvidas quanto em desenvolvimento, em um contexto global. Compreendem que a erradicação da pobreza e de outras privações deve ser acompanhadas de políticas voltadas para a melhoria da saúde e da educação, diminuam as desigualdades, e estimular o crescimento econômico tudo isto enquanto se combate as alterações climáticas e se trabalha para proteger os nossos oceanos e florestas. Tornar as cidades inclusivas, seguras e sustentáveis (Carvalho; Souza, 2020).

Transformar o mundo onde ninguém fica para trás em todos os aspectos do desenvolvimento é o principal objetivo das metas de desenvolvimento sustentável. Embora todos os principais setores estejam contribuindo para a economia e dependam em grande parte da tecnologia, ela tem a obrigação ampla de proteger o meio ambiente (Gomes; Santos, 2021).

2.2. GERAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

O descarte inadequado de resíduos sólidos pode gerar diversas consequências, como alagamentos, aumento da poluição, desperdício de recursos públicos, desvalorização de imóveis, obstrução de vias públicas, prejuízos ao turismo e impactos negativos na saúde pública segundo a Marca Ambiental, 2023.

A produção massiva de plásticos nos últimos anos gerou uma crise global de resíduos, com efeitos significativos no meio ambiente, na saúde pública e na economia. No contexto específico do Espírito Santo, estado brasileiro com uma economia diversificada e uma biodiversidade rica, a geração e caracterização de resíduos plásticos representam um desafio em constante crescimento (Gomes; Silva, 2020).

Ao analisar de forma abrangente essa questão, buscando contribuir para a compreensão do problema e para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de resíduos. A geração de resíduos plásticos é influenciada por diversos fatores, como crescimento no consumo de produtos embalados, a urbanização e o aumento da população, conforme pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que apontou um crescimento populacional de 11,44% no período de 2010 a 2022 na Grande Vitória e um aumento de 24,76% no município da Serra (Folha Vitória, 2023).

Os principais setores responsáveis pela produção de resíduos plásticos incluem o doméstico, o comercial, o industrial e o setor de serviços. Embalagens de alimentos, artigos de higiene pessoal, sacolas plásticas e materiais de construção estão entre os itens mais frequentes encontrados nos resíduos sólidos urbanos (Moraes; Costa, 2018).

Os tipos de plásticos encontrados incluem o Policloreto de Vinila (PVC), Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP), e outros plásticos. A norma

ABNT NBR 13230/2008, intitulada "Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis – identificação e simbologia", aborda os símbolos utilizados para a identificação desses materiais citados conforme figura (1).

Figura 1: Simbologia do Plástico



A análise da composição dos resíduos plásticos também revela a presença de aditivos químicos e contaminantes, os quais podem representar riscos adicionais ao meio ambiente e à saúde pública. Os resíduos plásticos têm diversos impactos ambientais e sociais no Espírito Santo, afetando ecossistemas terrestres e aquáticos, a saúde pública e a economia local (Sousa; Oliveira, 2019).

Pesquisadores de Mônaco formaram a Comissão de Plásticos e Saúde Humana a fim de investigar os efeitos do descarte dos Resíduos Sólidos Plásticos a saúde humana. A contaminação dos ambientes expõe a população a gases tóxicos e compostos que podem provocar nascimentos prematuros, doenças infantis e maior incidência de câncer (Jornal Estado de São Paulo, 2022).

Para lidar com o problema dos resíduos plásticos no Espírito Santo, são necessárias ações integradas em diversas áreas. Isso inclui a implementação de políticas públicas que promovam a redução, reutilização e reciclagem de plásticos, o desenvolvimento de infraestrutura para a gestão de resíduos, a promoção da economia circular e a conscientização ambiental da população (Macedo, Barros, 2020).

Contudo, há desafios significativos a serem superados no Espírito Santo, como a falta de investimentos em infraestrutura, a falta de conscientização pública e a resistência de certos setores da indústria à mudança, segundo informações debatidas no Plenário Judith Leão, pela Comissão Especial de Resíduos Sólidos, faltam investimentos e educação ambiental (Aldescon, 2017).

2.3. TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

O aumento da produção de lixo plástico em todo o mundo tem levado à necessidade urgente de encontrar soluções eficazes para o tratamento e reciclagem. Diante desse

desafio uma solução encontrada no Espírito Santo é a venda desses resíduos plásticos para empresas de reciclagem onde ultrapassam 1,5 milhão de quilos de plásticos comercializados a cada mês (Aguiar, 2023).

Várias tecnologias têm sido criadas e aperfeiçoadas para tratar diferentes tipos de plásticos e resíduos. Neste contexto, iremos explorar os três tipos de reciclagem dos plásticos, destacando seus princípios de funcionamento, vantagens e dificuldades (Lar plásticos, 2020).

A reciclagem mecânica é uma das formas mais utilizadas para o tratamento de resíduos plásticos, consistindo na transformação física dos materiais plásticos em novos produtos. Esse processo geralmente inclui etapas como seleção, trituração, lavagem, secagem e granulação (Cavalett; Ortega, 2019).

Os plásticos reciclados podem ser empregados na produção de uma grande variedade de produtos, como embalagens, tubos, perfis e materiais para construção. Apesar de ser amplamente adotada segundo Trindade (2015, p.57), a reciclagem mecânica enfrenta desafios relacionados à contaminação dos materiais, à qualidade dos produtos reciclados e à viabilidade econômica em alguns casos.

A reciclagem química envolve a decomposição dos polímeros plásticos em seus componentes químicos originais, que podem ser utilizados para produzir novos plásticos ou outros produtos químicos. Existem diversas técnicas de reciclagem química, como Pirólise, Gaseificação, Hidrogenação e Quimólise (Silva, 2019).

A Hidrogenação ocorre quando se utiliza hidrogênio e calor para quebrar os polímeros. Esse processo resulta em uma matéria-prima recuperada que pode ser utilizada em refinarias. Já a Gaseificação envolve a produção de gases de síntese por meio do aquecimento dos plásticos com Ar ou Oxigênio. O gás gerado pode ser utilizado na queima em motores ou turbinas para geração de energia elétrica. Na Pirólise, a ausência de Oxigênio o calor provocam a quebra das moléculas dos plásticos. A Quimólise usa diferentes combinações de química, solventes e calor para a decomposição de polímeros em monômeros. A etapa seguinte consiste no isolamento de materiais contaminados dos monômeros. Após essa etapa os monômeros são realimentados nos processos de produção e utilizado como uma matéria-prima secundária.

A reciclagem energética consiste na incineração controlada de resíduos plásticos para gerar eletricidade ou energia térmica. Essa estratégia ajuda a redução na quantidade de resíduos destinado para aterros sanitários e pode contribuir para a produção de energia renovável. Contudo, a incineração de resíduos plásticos também gera emissões atmosféricas e resíduos sólidos (como cinzas) que precisam ser tratados corretamente para evitar impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública (Almeida; Soares, 2018).

As tecnologias para o tratamento e reciclagem de resíduos plásticos estão em constante evolução à medida que buscamos alternativas mais sustentáveis e eficazes para lidar com esse desafio global. Embora cada abordagem tenha suas próprias vantagens e desafios, é fundamental reconhecer que não há uma solução única para o problema dos resíduos plásticos (Zanin, 2009)

O que se faz necessário é uma abordagem integrada que combine diferentes tecnologias, políticas e práticas para reduzir a produção de resíduos, incentivar a reciclagem e minimizar os impactos ambientais. Por meio de esforços municipais e governamentais podemos trabalhar juntos para construir um futuro mais limpo e sustentável para as próximas gerações “[...] a questão dos resíduos sólidos não passa apenas pelos gestores públicos, mas também pela conscientização da população que desempenha um papel fundamental na gestão de resíduos [...]” (Di-On Ambiental, 2024)

2.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE E IMPACTO

A avaliação de possibilidade e influência é uma ferramenta fundamental para o planejamento e crescimento sustentável de locais urbanos, como é o caso de Espírito Santo. Esta pesquisa investiga a utilização da avaliação de possibilidade e influência na cidade de Espírito Santo, Brasil. Através de uma revisão extensiva da literatura disponível, coleta e análise de dados relevantes, e emprego de metodologias científicas, este estudo busca apresentar perspectivas valiosas sobre os obstáculos e oportunidades enfrentados pela cidade e sugerir soluções viáveis para uma expansão urbana mais sustentável (Pereira; Almeida, 2022).

O Estado do Espírito Santo está lidando com diversos obstáculos ligados ao seu avanço urbano e progresso. Portanto, diversas iniciativas e programas em nível estadual têm evidenciado a preocupação do Estado em tratar os resíduos sólidos como uma questão prioritária e promover a gestão associada. (Seama, 2019)

A avaliação de viabilidade e impacto surge como um recurso essencial para analisar a sustentabilidade de iniciativas e diretrizes urbanas, levando em conta aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos. Esta pesquisa busca investigar de que maneira essa ferramenta pode ser utilizada de modo efetivo no Estado, os plásticos presentes no lixo compõem uma das maiores preocupações em termos de poluição, por causa de suas propriedades intrínsecas, sua persistência, seu aporte crescente com o tempo e sua ampla disseminação do uso (Derraik; Costa, 2007).

As cidades da Grande Vitória estão em constante processo de expansão, e assim enfrentando dificuldades comuns a regiões urbanas em evolução, como crescimento desorganizado, falta de estrutura adequada e poluição. Compreender esses obstáculos é fundamental para a avaliação de viabilidade e repercussão, pois possibilita a identificação de locais prioritários para intervenções e promoção do desenvolvimento sustentável (Gomes; Santos, 2021).

Diversas técnicas podem ser utilizadas para avaliar a viabilidade e as consequências em áreas urbanas, como estudo de custo-benefício, análise ambiental, avaliação de riscos e análise de sustentabilidade. Cada uma destas estratégias fornece um ponto de vista único sobre os obstáculos e possibilidades encontrados no estado, auxiliando na definição de políticas e projetos urbanos com maior eficácia (Pereira; Gomes; Pacheco, 2023).

A avaliação dos possíveis resultados e consequências é uma ferramenta crucial para guiar o desenvolvimento no estado do Espírito Santo e em outros locais no mundo. Ao levar em conta uma variedade de aspectos e pontos de vista, ela auxilia na

identificação de oportunidades para um crescimento sustentável e na minimização dos efeitos negativos do desenvolvimento urbano (Avelino, 2020).

No entanto, é imprescindível ter em mente que a avaliação dos possíveis resultados e consequências é apenas o ponto de partida em um processo contínuo de planejamento e administração urbana, e que a sua eficácia está diretamente ligada à colaboração entre governos, iniciativa privada, sociedade civil e comunidades locais.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada para analisar os métodos de destinação e disposição final de resíduos plásticos no Brasil, com ênfase nas inovações em gestão de resíduos na Grande Vitória, Estado do Espírito Santo, e a comparação com as melhores práticas internacionais. O estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa e exploratória, utilizando fontes secundárias e primárias para coletar e analisar dados sobre o tema.

A metodologia do estudo foi estruturada em várias etapas para oferecer uma análise abrangente sobre a gestão de resíduos plásticos no Brasil. A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica e documental, onde foram consultados livros, artigos acadêmicos, relatórios de organizações ambientais e documentos governamentais a respeito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), logística reversa e reciclagem de plásticos. Além disso, foram investigados relatórios de empresas como a Vale e Coca-Cola, que adotam inovações na gestão de resíduos no Brasil.

Para complementar essa revisão teórica, foi realizada entrevista com profissional da área. Essa entrevista forneceu uma visão prática e atualizada dos desafios enfrentados.

Outra etapa importante do estudo foi a análise comparativa com países líderes em reciclagem. Por meio da revisão de relatórios internacionais e estudos de caso, foi possível identificar as melhores práticas nesses países e comparar com as capacidades de reciclagem no Brasil.

O estudo também incluiu uma análise quantitativa dos dados de reciclagem, com base em fontes oficiais como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos e o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo. Foram analisadas estatísticas sobre a geração, reciclagem e descarte de resíduos plásticos, destacando como a contaminação e a separação inadequada impactam as taxas de reciclagem.

Por fim, a pesquisa também abordou as políticas públicas e legislações sobre a gestão de resíduos, com foco em regulamentações como a logística reversa no Espírito Santo e as iniciativas de economia circular, como o Decreto nº 5683-R, que obriga os fabricantes e comerciantes a assumirem a responsabilidade pela gestão das embalagens pós-consumo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo analisou os diferentes métodos de destinação e disposição final do plástico no Brasil, abordando seus processos. Além das diferentes inovações de gestão de resíduos plásticos atualmente utilizados na Grande Vitória, bem como uma breve

investigação sobre a gestão de resíduos em países que apresentam os melhores índices de reciclagem.

A distinção entre destinação e disposição final é fundamental. De acordo com o Programa Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a destinação de resíduos envolve práticas como reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, além de outras opções aceitas pelos órgãos ambientais. Por outro lado, a disposição final refere-se à forma de disposição organizada dos rejeitos em aterros, seguindo normas operacionais específicas que visam prevenir danos à saúde pública e minimizar impactos ambientais adversos. Os rejeitos são aqueles resíduos sólidos que, após a exploração de todas as alternativas de tratamento e recuperação com tecnologias viáveis economicamente, não apresentam alternativas além da disposição final, que é considerada a última opção a ser utilizada.

A reciclagem mecânica é o principal método utilizado no Brasil para o tratamento de resíduos plásticos, essencial para a gestão de resíduos e a sustentabilidade ambiental. O processo envolve várias etapas: triagem, fragmentação, lavagem, separação, secagem e extrusão. Primeiro, os plásticos são separados por tipo na triagem, depois fragmentados para reduzir seu tamanho. Seguem para lavagem e separação, onde contaminantes são removidos e os plásticos são separados por densidade. A secagem elimina a umidade, e na extrusão, os plásticos são derretidos e transformados em matérias-primas para novos produtos.

Uma opção à reciclagem mecânica do plástico é a reciclagem química, que envolve um processo no qual os resíduos plásticos são transformados em produtos químicos, combustíveis ou matéria-prima para a produção de novos itens. Esse processo é executado por meio de reações químicas que decompõem os polímeros em seus monômeros originais. A reciclagem química pode ser realizada por diferentes métodos, entre os quais se destacam a pirólise, a gaseificação, a quimólise e a hidrogenação. A seguir, será abordado o funcionamento de cada uma dessas etapas.

No processo de pirólise, os resíduos plásticos são inicialmente triturados para facilitar o manuseio e a conversão. Depois, são transportados para um reator, onde, sem a presença de oxigênio, ocorre o aquecimento, promovendo o craqueamento térmico, que é a quebra das moléculas dos polímeros. Isso gera cerca de 10% de carvão, que pode ser utilizado em siderúrgicas. Os materiais resultantes passam por uma condensadora, separando gases dos óleos que podem ser transformados em petróleo sintético. Este óleo pode ser utilizado como biodiesel, apresentando uma alternativa sustentável para motores. Além disso, outra parte do material é submetida a processos de lavagem e filtração, seguido pela compressão, resultando em gás natural sintético, que fica pronto para o consumo.

Na gaseificação, os resíduos sólidos são primeiramente triturados para facilitar o manuseio e a conversão. Após essa etapa, o material triturado é transportado até o reator, onde ocorre o aquecimento. Em seguida, o material passa por um extrator, onde parte da matéria sólida, composta por aproximadamente 10% de cinzas, é separada e descartada.

O gás gerado, inicialmente chamado de "gás sujo", é encaminhado para um processo de pré-aquecimento. Durante essa fase, o gás é submetido a um processo de limpeza,

que utiliza jatos de água para remover impurezas. Após essa purificação, o gás limpo pode ser utilizado tanto para queima direta quanto para a produção de energia elétrica.

A Quimólise, também chamada de solvólise ou despolimerização, é um processo que decompõe polímeros em monômeros usando reações químicas, solventes e calor, com temperaturas controladas para garantir uma decomposição eficiente. Os solventes facilitam a dissolução dos plásticos e a quebra das ligações químicas, e catalisadores podem ser usados para acelerar as reações, aumentando a produção de monômeros. Após a degradação, os monômeros são filtrados e purificados para remover impurezas. Esses monômeros podem ser reutilizados como matéria-prima secundária, com qualidade semelhante aos monômeros virgens, conforme a British Plastics Federation (BPF).

Na reciclagem por hidrogenação, os resíduos plásticos são primeiro limpos para remover contaminantes e, em seguida, triturados em pequenos pedaços. Esses fragmentos são colocados em um reator, onde são expostos a altas temperaturas, pressões e hidrogênio, o que quebra as cadeias de polímeros em moléculas menores. Esse processo converte os plásticos em hidrocarbonetos líquidos, que podem ser usados como combustíveis ou como matéria-prima para novos plásticos.

Segundo especialistas a reciclagem química possibilitada que o produto originado através dela se torne o mais próximo do plástico virgem por conta da despolimerização dos resíduos, o que traz vantagens a esse processo. No entanto, a reciclagem química apresenta custos mais elevados em comparação à reciclagem mecânica e requer grandes volumes de plástico para ser economicamente viável.

Outro tipo de reciclagem é a energética, que utiliza materiais que não podem ser reciclados mecanicamente ou quimicamente. Entre os materiais aplicáveis nesse processo estão fraldas descartáveis, restos de alimentos, resíduos de madeira, entre outros. Dentre esses, o plástico se destaca como o mais viável, devido ao seu alto poder calorífico, uma vez que é derivado do petróleo. Para se ter uma ideia, 1 kg de plástico possui um poder energético equivalente a 1 kg de diesel. A decomposição térmica desse material ocorre a uma temperatura de aproximadamente 950°C.

Os gases resultantes da combustão são aspirados e utilizados para acionar um conjunto de turbinas geradoras, resultando na transformação em energia elétrica. Além disso, os gases gerados nas caldeiras passam por um processo de tratamento, que inclui lavagens e purificações, convertendo Monóxido de Carbono (CO) em Dióxido de Carbono (CO₂). As cinzas resultantes desse processo podem ser reaproveitadas na construção civil ou em pavimentações.

A Comissão de Meio Ambiente (CMA) realizou uma audiência pública para debater a importância da reciclagem energética em relação a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei 12.305/2010. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Dec. 11.043/2022) determina que, até 2040, o Brasil recicle 50% dos resíduos, por meio da recuperação de materiais recicláveis, do tratamento biológico e da recuperação energética (Mendes, 2024). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU destaca que as Usinas de Reciclagem Energética são as mais eficientes na redução das emissões de gases de efeito estufa originadas pelos resíduos sólidos urbanos. Conforme Mendes (2024) “[...] existem cerca de 3.000 usinas desse tipo em operação no mundo[...], entretanto, no Brasil, existe somente

uma unidade em construção, localizada em Barueri, São Paulo. Segundo informações da eCycle, o país conta apenas com uma Usina de Reciclagem Energética em funcionamento, situada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, conhecida como Usina Verde.

A Dinamarca abriga o projeto pioneiro de reciclagem energética mais avançado do mundo, que teve um custo de meio bilhão de euros e é capaz de queimar 400 mil toneladas de lixo por ano, incluindo material importado de toda a Europa. Por meio desse processo de incineração, a instalação gera eletricidade suficiente para atender mais de 150 mil residências na cidade. O incinerador opera queimando 35 toneladas de resíduos por hora, atingindo temperaturas de até 1.000 °C.

Dos materiais processados, 80% são utilizados como combustível, enquanto os 20% restantes são considerados escórias, que podem ser aproveitadas na construção civil. Para minimizar a emissão de fumaça e substâncias nocivas, a empresa investe em tecnologias de limpeza que ocupam uma área equivalente a dois campos de futebol, incluindo filtros eletrônicos e catalisadores. No entanto, uma preocupação persistente é a emissão de Dióxido de Carbono; essas usinas emitem mais CO₂ do que as empresas de gás natural.

Embora outros estados da região do Brasil já utilizem métodos de reciclagem mecânica, química e reciclagem energética, o Espírito Santo, apesar de estar avançando na gestão de resíduos, ainda não adotou essas tecnologias mais complexas. A reciclagem mecânica é a principal abordagem em uso no estado.

Na Alemanha quase 98% do plástico produzido é recolhido, tornando-a assim líder mundial em reciclagem, logo atrás vem a Finlândia, Croácia, Dinamarca e Suécia. Uma das principais alternativas adotadas nesses países é o sistema de "depósito de retorno", no qual os consumidores devolvem suas garrafas PET e recebem um valor em troca, incentivando a reciclagem. Com esse sistema, esses países conseguem recolher cerca de 90% das garrafas produzidas. Os depósitos de retorno demonstram eficácia, pois retornam 9 a cada 10 garrafas, e o material coletado geralmente está em excelentes condições de limpeza.

Conhecidas internacionalmente como "depósitos de retorno", no Brasil essas máquinas são denominadas "retorna machines". Sua implementação no país teve início por volta de 2015. Conforme a Ambipar Triciclo o funcionamento do sistema é simples: inicialmente, o usuário realiza seu cadastro por meio de um aplicativo. Sempre que utiliza uma retorna machine, o consumidor digita seu CPF e, ao inserir as embalagens na máquina, acumula pontos. Esses pontos podem, posteriormente, serem trocados por benefícios como descontos na conta de luz, recarga de celular, vale-transporte, entre outros. No Rio de Janeiro foram recolhidos cerca de 1,2 milhões de embalagens. No Espírito Santo, desde julho, o Banestes firmou uma parceria com a Ambipar e instalou dez máquinas do modelo inovador de economia circular em locais de grande fluxo de pessoas. As máquinas foram colocadas em pontos estratégicos, como o Clube Álvares Cabral, shoppings e até mesmo na Faculdade Estácio de Sá.

A Coca-Cola está entre os maiores produtores de lixo plástico do mundo, com um portfólio que inclui 200 marcas, como Sprite e Fanta, além de 55 marcas de água mineral. A empresa consome cerca de 3 milhões de toneladas de plástico anualmente, o que representa aproximadamente 200 mil garrafas a cada minuto. Quase metade

desse plástico acaba em incineradores, lixões ou é descartado inadequadamente nas ruas e oceanos.

Um estudo realizado pelo Greenpeace e pelo movimento Break Free From Plastic examinou 187 mil fragmentos de plástico coletados em 269 ações em 42 países. Os resultados mostraram que a marca Coca-Cola, considerada a maior fabricante de refrigerantes do mundo, foi identificada em resíduos plásticos em 40 dos 42 países estudados.

Diante dessa situação, a Coca-Cola anunciou recentemente um compromisso de coletar e reciclar uma garrafa PET para cada garrafa vendida até 2030. Além disso, a empresa está implementando ações no Brasil e na África do Sul para reduzir os resíduos plásticos, como a introdução de garrafas retornáveis, que podem substituir 25 garrafas de uso único. No Brasil, essa iniciativa está permitindo a substituição de 200 milhões de garrafas anualmente.

Outro progresso na economia circular do Espírito Santo é o projeto realizado pela Vale em parceria com a UFES, que resultou na construção de uma fábrica dedicada à produção de um supressor de poeira a partir do plástico PET. Por meio de processos químicos, o plástico é transformado em resina biodegradável, com o objetivo de substituir os materiais atualmente utilizados, como glicerina e celulose. A resina biodegradável é aplicada em pilhas de minérios de ferro e carvão, em vias não pavimentadas e em carregamentos de ferrovias, formando uma película protetora que minimiza a emissão de poeira.

O processo inicia-se com a trituração do PET, resultando em pequenos flocos. Em seguida, o material é micronizado para que seja transformado os flocos em pó e, posteriormente, submetido a uma reação química, transformando-se em resina, que se converte em um supressor concentrado. Após essa etapa, o supressor é diluído e pode ser utilizado em aplicações industriais conforme mostra na figura 2.

Figura 2 Processo de transformação do plástico em resina biodegradável



Fonte: A gazeta (2023)

A Vale informou que a fábrica possui capacidade para processar mensalmente até 70 toneladas de plástico. O supressor de poeira tem o potencial de utilizar mais de um milhão de garrafas PET mensalmente, e para alcançar esse objetivo, a empresa estabelece parcerias com catadores de materiais recicláveis. Além das garrafas PET transparentes e verdes, é importante ressaltar que a resina também pode incorporar outros materiais que seriam descartados em aterros sanitários, incluindo garrafas de diferentes cores, como as pretas de energético, e bandejas de ovos, bolos e uvas.

Outra forma de reciclagem do plástico foi a que seu José Toso Maciel, de 71 anos, e gerente de uma empresa de reciclagem de caixas localizada em Cariacica. Ele adquire caixas danificadas de produtos como cerveja, refrigerante e hortifrutigranjeiros, que seriam descartados como RSU e as transforma em novas embalagens. Para compor o plástico utilizado, ele também incorpora 10% de tampinhas de garrafa.

Estudos revelam que a previsão é de que 20% do petróleo em 2050 seja para a produção do plástico e mundialmente, só 2% dos plásticos usados farão a volta completa do círculo. Esse ciclo completo refere-se a logística reversa que é uma das principais estratégias da economia circular. De acordo com o PNRS, a logística reversa é o processo de coletar e devolver os resíduos sólidos ao setor empresarial para o aproveitamento ou destinação final ambientalmente adequados (figura 3).

Figura 3 Ciclo da Logística Reversa de Embalagens na Economia Circular



Fonte: Instituto de Logística Reversa

No Espírito Santo, o governador assinou o Decreto nº 5683-R, que regulamenta e define as diretrizes para a estruturação e implementação dos sistemas de logística reversa de embalagens em geral. De acordo com o Diário Oficial de 2024, Edição N26.214, art. 3 (Brasil, 2024, p. 2- 3) no estado do Espírito Santo, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos que geram embalagens como resíduos após o uso pelo consumidor são obrigados a estruturar, implementar e operar sistemas de logística reversa de embalagens, de forma independente dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além de garantir a sustentabilidade econômico-financeira da logística reversa.

Na Grande Vitória, há empresas especializadas no gerenciamento de resíduos. As empresas que precisam fazer o descarte de materiais entram em contato com essas gerenciadoras para que estas se encarreguem do recolhimento e da destinação final dos materiais, que podem ser encaminhados para aterros sanitários ou para empresas especializadas em reciclagem. Uma das gerenciadoras consultadas informou que realiza, em média, o recolhimento de 50 kg de plástico por mês. No entanto, a principal dificuldade enfrentada é que muitas empresas não separam os resíduos de maneira adequada, o que compromete o processo de gerenciamento. Além disso, outro obstáculo encontrado ocorre na etapa final de descarte, pois, frequentemente, os resíduos são classificados como contaminados, o que torna mais fácil e econômico encaminhá-los para aterros sanitários, em vez de direcioná-los para a reciclagem.

Após discutir as diferentes formas de reciclagem, é essencial abordar a questão da disposição final do plástico. Embora a reciclagem seja uma alternativa viável, nem todo plástico é reciclável, e uma parte significativa acaba sendo descartada inadequadamente. Portanto, compreender as opções de disposição final é crucial para minimizar os impactos ambientais e promover uma gestão eficiente dos resíduos.

plásticos. Neste contexto, é importante analisar as práticas atuais de disposição final e seus impactos no meio ambiente.

No Espírito Santo, é possível identificar dois tipos de disposição final de resíduos: as adequadas e as inadequadas. Os aterros comuns, frequentemente referidos como lixões, representam um exemplo de disposição final inadequada, uma vez que não há tratamento do solo e não são oferecidas proteções adequadas à saúde pública ou ao meio ambiente. Por outro lado, os aterros controlados também apresentam falhas na proteção do solo; no entanto, sua principal característica distintiva é a prática de recobrimento diário com material inerte. É importante observar que, embora esse aterro apresente melhoria em relação aos lixões, ainda não se considera adequado.

Os aterros sanitários são construídos com medidas para evitar a contaminação do da água, do solo e do ar. Localizados longe da população e fontes de água, eles são cercados por árvores para reduzir odores e dispersão de materiais leves. Contam com uma camada de solo impermeável que impede a poluição das águas subterrâneas e do solo, além de sistemas de drenagem para coletar e tratar o chorume, transformando-o em água de reuso. Esses sistemas também capturam gases poluentes como o metano, que são tratados antes de serem liberados. O lixo é compactado e coberto com terra, prevenindo a exposição e a presença de animais transmissores de doenças.

Na Marca Ambiental, os gases poluentes gerados pela decomposição de resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário são tratados e convertidos em biogás, uma fonte de energia renovável. A geração de energia limpa ocorre por meio da captação do biogás em poços específicos do aterro. Esse gás é coletado através de uma rede de tubulação e direcionado para a planta industrial, onde é submetido a um processo central de tratamento que elimina impurezas e umidade. Após o tratamento, o biogás está apto para ser enviado aos motores, onde a energia é gerada e inserida na rede da concessionária EDP.

Utilizando motores a combustão de alto desempenho e tecnologia de ponta, o biogás é queimado para produzir eletricidade. A queima controlada do Metano resulta em sua conversão em CO_2 , o que é fundamental para a diminuição do efeito estufa, considerando que a capacidade de retenção de calor do CO_2 é 23 vezes inferior à do Metano.

A geração de energia renovável a partir do biogás representa uma tecnologia moderna no Brasil. A colaboração da Marca Ambiental e a Liberum Energia culminou na criação da primeira usina termelétrica movida a biogás do Espírito Santo, que atualmente possui uma capacidade instalada de 3 MW, com previsão de expansão para 5 MW, fornecendo energia elétrica para os consumidores capixabas por meio do modelo de Geração Distribuída.

De acordo com a plataforma da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática, o Brasil conta atualmente com 49 projetos de recuperação de biogás registrados. (A gazeta, 2021)

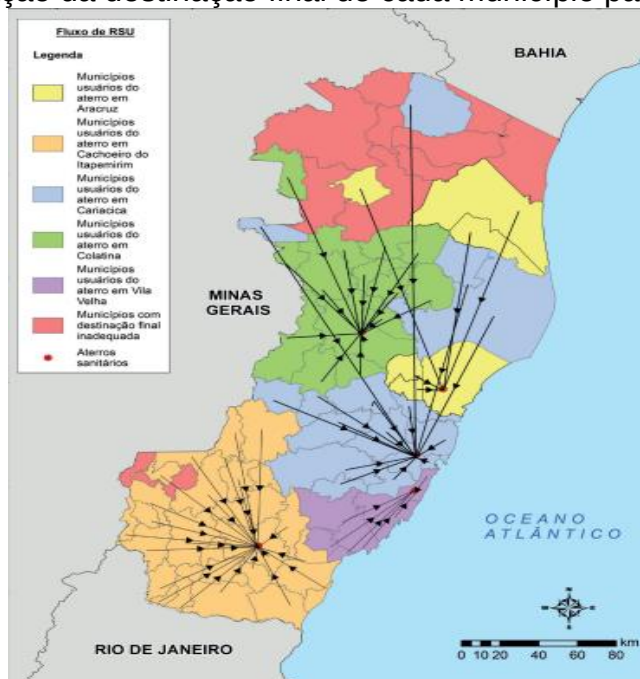
Nos países da União Europeia, a existência de lixões não é considerada uma alternativa viável, e o aterro sanitário é tratado como a última opção para a destinação de resíduos. Nesses países, a prioridade é a redução na geração de resíduos. Se

essa medida não for suficiente, as etapas subsequentes incluem a reciclagem, a compostagem ou a reciclagem energética. Somente quando essas opções se tornam inviáveis é que os materiais são encaminhados para os aterros. Por exemplo, na Alemanha, apenas 1% dos resíduos gerados é destinado a aterros sanitários.

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos de 2019, por meio de entrevistas realizadas com as prefeituras do estado do Espírito Santo, revelou que 13% delas destinam seus resíduos sólidos urbanos de forma inadequada. Em contrapartida, 87% dos municípios afirmaram encaminhar seus resíduos para aterros sanitários. Aqueles que utilizam aterros localizados em outros municípios percorrem, em média, uma distância de 53 km até o ponto de destinação. Para facilitar esse processo, esses municípios implementam a etapa de transbordo, que funciona como uma fase intermediária. Durante essa etapa, os resíduos coletados são transferidos para veículos de maior capacidade, aumentando a eficiência da frota de coleta e reduzindo os custos relacionados ao transporte até a destinação final.

No estado do Espírito Santo, existem apenas cinco aterros sanitários (figura 4). A limitação no número de aterros disponíveis destaca a importância de um planejamento eficiente na gestão dos resíduos, para garantir que todos os municípios possam destinar seus resíduos de maneira adequada e sustentável.

Figura 4 Localização da destinação final de cada município para Aterro Sanitário

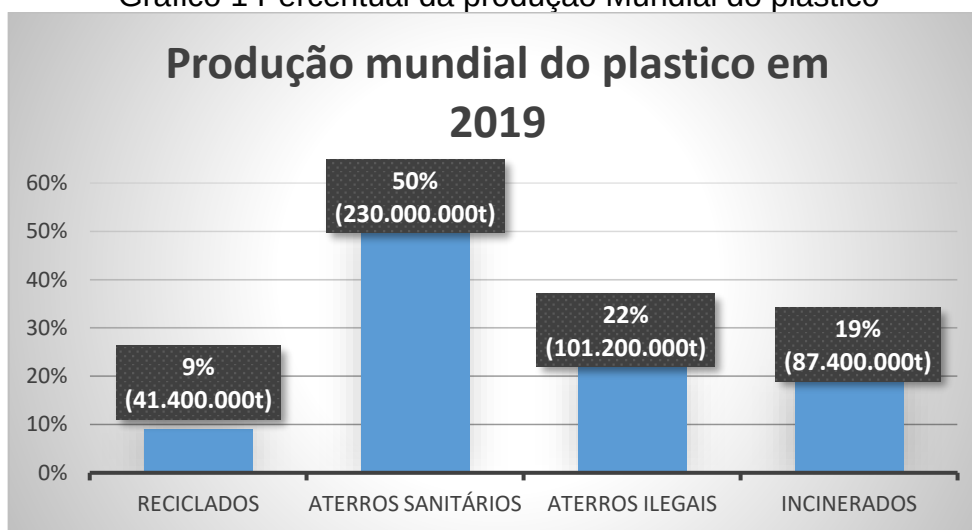


Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2019

A reciclagem ainda representa uma parcela muito pequena do destino do plástico, evidenciando a necessidade de melhorias significativas em práticas de reaproveitamento e manejo sustentável. O alto percentual de plástico descartado em aterros e aterros ilegais demonstra uma gestão ineficiente e potencialmente prejudicial ao meio ambiente.

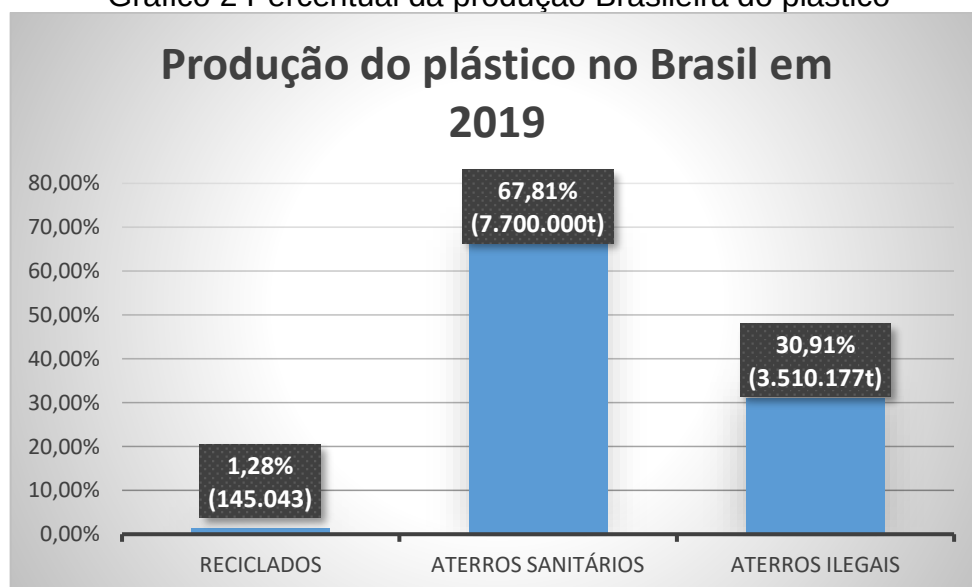
No Brasil a reciclagem é ainda mais limitada (1,28%) do que a média mundial (9%). Embora o percentual de plástico descartado em aterros sanitários no Brasil (67,81%) seja maior do que a média global (50%), a quantidade destinada a aterros ilegais (30,91%) é também significativamente mais alta do que a média mundial (22%), conforme podemos analisar nos gráficos 1 e 2. Isso reflete uma gestão de resíduos menos eficiente no Brasil, com desafios mais acentuados no reaproveitamento e controle ambiental.

Gráfico 1 Percentual da produção Mundial do plástico



Fonte: Fundo Mundial para a Natureza

Gráfico 2 Percentual da produção Brasileira do plástico



Fonte: Fundo Mundial para a Natureza

No Espírito Santo, a produção total de resíduos sólidos atinge 117 mil toneladas por mês. Desses, aproximadamente 17% são compostos por resíduos plásticos. No entanto, uma parte significativa desses plásticos não pode ser reciclada devido à

contaminação, o que leva esses materiais a serem enviados para aterros sanitários. A reciclagem de plásticos, portanto, é um desafio importante, especialmente quando se considera que muitos desses resíduos poderiam ser reaproveitados se fossem descartados de maneira correta.

A conscientização da população é o primeiro e mais crucial passo para o sucesso de programas de reciclagem e para a redução de resíduos destinados a aterros, ruas e lixões a céu aberto. Para que a reciclagem seja eficaz, é necessário um esforço contínuo de educação e informação, pois muitas pessoas ainda não compreendem as melhores práticas de descarte ou desconhecem os benefícios ambientais e econômicos da reciclagem. Em países com altos índices de reciclagem, como Alemanha, Suíça e Japão, o processo de conscientização da população é constantemente reforçado por campanhas publicitárias, que orientam a maneira correta de separar e descartar os resíduos.

A educação para o descarte correto deve começar dentro das casas, onde é importante lavar os materiais que contenham resíduos de alimentos ou outros contaminantes antes de separá-los nas lixeiras apropriadas. Nas ruas, a coleta seletiva deve ser eficiente para evitar a mistura de materiais recicláveis com resíduos orgânicos ou não recicláveis. Além disso, políticas públicas rigorosas desempenham um papel fundamental nesses países, onde o não cumprimento das normas de descarte pode resultar em multas, estimulando a população a adotar hábitos mais sustentáveis.

O plástico não é, por si só, um vilão do meio ambiente, mas sim um material valioso e útil em diversos setores, como indústria, medicina, alimentação e transporte, devido à sua versatilidade e baixo custo. O problema reside no uso excessivo e no descarte inadequado desse material, especialmente em produtos descartáveis, que, embora usados brevemente, permanecem no meio ambiente por centenas de anos se não forem reciclados corretamente.

A falta de conscientização sobre os impactos ambientais do plástico e o uso irresponsável de materiais descartáveis agravam a situação. A educação ambiental e a promoção de hábitos sustentáveis, como a reciclagem e a reutilização, são fundamentais para mudar esse cenário. Além disso, políticas públicas eficientes, como sistemas de coleta seletiva, infraestrutura para reciclagem e normas rigorosas de descarte, são essenciais para fechar o ciclo do plástico de maneira sustentável.

A reciclagem do plástico pode reduzir significativamente seu impacto ambiental, transformando resíduos em novos recursos e gerando oportunidades econômicas, como empregos na indústria de reciclagem. Assim, o plástico, se gerido corretamente, pode ser um aliado na busca por um amanhã mais sustentável. A mudança depende da conscientização social e de políticas públicas eficazes, garantindo que o plástico seja reciclado e reutilizado de maneira responsável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo aborda a gestão de resíduos plásticos no Brasil, com foco nas inovações implementadas na Grande Vitória e uma análise comparativa com países líderes em

reciclagem. Apesar de avanços como a adoção da reciclagem mecânica e tecnologias como as "retorna machines", o Brasil ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de eficiência na separação e processamento dos resíduos plásticos, o que dificulta uma gestão eficaz e abrangente.

Uma das alternativas discutidas é a reciclagem energética, que converte plásticos em energia elétrica por meio da decomposição térmica. No entanto, a infraestrutura de reciclagem energética no Brasil não é usual já que é existente uma usina em operação e outra em construção. Além disso, um desafio significativo é que, para essas usinas continuarem funcionando de forma eficiente, a produção de resíduos precisa se manter em níveis elevados, o que não é sustentável a longo prazo, pois não é desejável depender do aumento constante de resíduos para gerar energia.

Iniciativas de economia circular também estão em andamento, como o projeto desenvolvido pela Vale em parceria com a UFES, que transforma plástico PET em resina biodegradável. Essas parcerias demonstram o potencial de inovação dentro da gestão de resíduos, mas ainda enfrentam obstáculos, como a separação inadequada dos plásticos, que muitas vezes acabam contaminados, dificultando a reciclagem e contribuindo para o aumento da quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários.

A taxa de reciclagem de plásticos no Brasil ainda é muito baixa, com apenas 1,28% dos plásticos reciclados, consideravelmente abaixo da média global de 9%. Para melhorar essa situação, é essencial a implementação de políticas públicas mais eficazes, como sistemas de coleta seletiva, campanhas educativas e incentivos ao reaproveitamento de materiais. A transformação do plástico em novos recursos requer um esforço colaborativo entre sociedade, governo e empresas, com foco na sustentabilidade e na redução dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Verônica. **Reciclagem que vira bons negócios no ES**. Tribuna online. Vitória, 13 mar. 2023. Disponível em:

<<https://tribunaonline.com.br/economia/reciclagem-que-vira-bons-negocios-no-es-136279?home=esp%C3%ADrito+santo>>. Acesso em 30 out 2024.

Ambipar Triciclo e Banestes instalam retornas no Espírito Santo. Ambipar Group. Espírito Santo. Disponível em: <<https://triciclo.eco.br/project/ambipar-triciclo-e-banestes-instalam-retornas-no-espírito-santo/>>. Acesso em: 22 set. 2024.

ALDESCON, Aldo. **Resíduos sólidos: em média apenas 1,5% é reciclado no ES**. Assembleia Legislativa Espírito Santo. 2017. Disponível em: <<https://www.al.es.gov.br/Noticia/2017/12/33907/residuos-solidos-em-media-apenas-15-e-reciclado-no-es.html>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ALMEIDA, A. E.; SOARES, S. R. **Impactos ambientais da gestão de resíduos de polietileno: uma comparação de avaliação do ciclo de vida da reciclagem, incineração e aterro**. Revista de Produção Mais Limpa, 175, 692-703. 2018.

AMBIENTAL, Marca. **Lixo vira energia limpa e conta de luz fica até 15% mais barata**. Espírito Santo, 05 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/especial-publicitario/marcaambiental/lixo-vira-energia-limpa-e-contade-luz-fica-ate-15-mais-barata-0421>>. Acesso em: 09 set 2024.

As empresas que mais produzem lixo plástico no mundo. Época Negócios. 09 Out 2018. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2018/10/empresas-que-mais-produzem-lixo-plastico-no-mundo.html>>. Acesso em 02 out. 2024.

A importância da conscientização da população na gestão de resíduos. Di-On Ambiental. São Paulo, 22 abr 2024. Disponível em: <<https://www.dionambiental.com.br/a-importancia-da-conscientizacao-da-populacao-na-gestao-de-residuos/>>. Acesso em: 20 maio 2024.

AVELINO, Guilherme Monteiro. **A reciclagem química como alternativa ao tratamento de resíduos plásticos no Brasil**. 2020.

Diário Oficial. **Secretaria de Estado de Meio Ambiente**. Decreto nº 5.683-R, de 2024. Disponível em: <<https://seama.es.gov.br/Media/Seama/Documentos/Decreto%205683-R%20de%202024.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2024.

CARVALHO, J. M. F., & SOUZA, M. A. **A economia circular como estratégia para a gestão de resíduos plásticos: estudos de caso em municípios brasileiros**. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, 9(1), 45-62. 2020.

CAVALETT, O; ORTEGA, E. **Avaliação da gestão de resíduos plásticos na cidade de São Paulo através da análise de fluxo de materiais**. Recursos, Conservação e Reciclagem, 145, 463-475. 2019.

Censo 2022: quase metade da população do ES vive na Grande Vitória. Folha Vitória, 07 dez 2023. Disponível em:

<<https://www.folhavoria.com.br/economia/noticia/12/2023/censo-2022-quase-metade-da-populacao-do-es-vive-na-grande-vitoria>>. Acesso em 18 abr. 2024.

Chemical Recycling 101. BPF. Disponível em:

<<https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx>>. Acesso em: 04 out. 2024.

COELHO, Tatiana. **Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%**. GOV. 03 dez. 2019. Disponível em:

<<https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1>>. Acesso em 05 maio 2024.

Como se dá a reciclagem dos plásticos? Lar Plásticos. São Paulo, 11 fev. 2020.

Disponível em: <<https://www.larplasticos.com.br/ultimas-noticias/como-se-da-a-reciclagem-de-plasticos/#:~:text=Basicamente%2C%20a%20reciclagem%20dos%20pl%C3%A1sticos,prima%20gera%20um%20novo%20produto>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

Depolymerisation: breaking it down to basic building blocks. Cefic. Belgium.

Disponível em: <<https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/chemical-recycling-via-depolymerisation-to-monomer/#:~:text=The%20depolymerisation%20process%20%E2%80%93%20often%20referred,the%20monomers%20to%20remove%20them>>. Acesso em 04 out. 2024.

Desafios da gestão do resíduo plástico. Marca Ambiental. Espírito Santo, 16 maio 2019. Disponível em: <<https://marcaambiental.com.br/desafios-da-gestao-do-residuo-plastico/>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

EXPÓSITO, Nicolle. **Plástico: de solução a problema em um século**. Assembleia Legislativa do Espírito Santo. Vitória, 30 jan. 2020. Disponível em:

<<https://www.al.es.gov.br/Noticia/2020/01/38603/plastico-de-solucao-a-problema-em-um-seculo.html>>. Acesso em: 20 out 2024.

GOMES, R. F., SANTOS, V. R. **Impactos ambientais dos resíduos plásticos e a responsabilidade compartilhada: o caso de São Paulo**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 10(1), 76-90. 2021.

GOMES, T. P., & SILVA, A. C. **Economia circular e gestão de resíduos plásticos no Brasil: desafios e perspectivas**. Cidades e Sociedade Sustentáveis, 55, 102054. 2020.

IDEAL, Canal. **Como se faz a reciclagem de materiais plásticos**. YouTube, 14 out. 2021. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=uMZJUcWAKbE>>. Acesso em: 14 set 2024.

IFMG. **Projetos de inovação tecnológica**. Ministério da Educação. 2022. Disponível em: <https://suap.ifmg.edu.br/contratos/visualizar_arquivo/32455/>. Acesso em: 04 maio 2024.

MACEDO, K. R., & BARROS, R. T. **Inovação tecnológica na gestão de resíduos plásticos: um estudo sobre logística reversa no Brasil**. Revista de Gestão Ambiental, 264, 110409. 2020.

MAGNA, Silvia. **Reaproveitamento do plástico em debate**. Assembleia Legislativa do Espírito Santo. Vitória, 18 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.al.es.gov.br/Noticia/2020/02/38825/reaproveitamento-do-plastico-em-debate.html>>. Acesso em: 30 out. 2024.

MARCA, Grupo. **Tratamento de chorume da CTR Marca Ambiental**. YouTube, 03 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Facq17cPwL4>>. Acesso em: 16 out. 2024.

MARINHO, Thereza. **Fábrica que produz controle ambiental à base de plástico PET começa a funcionar no ES**. UFES. Vitória, 14 jun. 2024. Disponível em: <<https://www.ufes.br/conteudo/fabrica-que-produz-controle-ambiental-base-de-plastico-pet-comeca-funcionar-no-es>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

MENDES, Cesar. **Produção de energia a partir do lixo: Comissão de Meio Ambiente debate tema estratégico para o Brasil**. Senado Federal. 24 maio 2024. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2024/05/24/producao-de-energia-a-partir-do-lixo-comissao-de-meio-ambiente-debate-tema-estrategico-para-o-brasil#:~:text=3.000%20usinas%20desse%20tipo%20operam,no%20estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo>>. Acesso em 23 out 2024.

MONTEIRO, Alessandra da Rocha Duailibe. **Contribuição da reciclagem química de resíduos plásticos para o desenvolvimento sustentável**. 2018.

MORAES, M. M., & COSTA, M. F. **Estratégias para redução de resíduos plásticos em áreas urbanas do Brasil: um estudo de caso no Rio de Janeiro**. Gestão de Resíduos e Pesquisa, 36(9), 828-838. 2018.

MUNIZ, R.N. **Gaseificação animação**. YouTube, 10 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=O8VsQq9cePE>>. Acesso em: 02 out. 2024.

OLIVEIRA, L. R. S., SANTOS, E. P. **Gestão de resíduos plásticos em cidades brasileiras: uma revisão das políticas públicas e iniciativas privadas**. Revista de Estudos Ambientais, 21(2), 132-149. 2019.

O Que é Hidrogenação?. Alquimia. São Paulo. Disponível em: <https://www.alquimiaprodutosquimicos.com.br/o-que-e-hidrogenacao/>. Acesso em 27 set. 2024

O que é Logística Reversa de Embalagens pós-consumo?. Ilog. Curitiba, 04 fev. 2022. Disponível em: <<https://ilogpr.com.br/o-que-e-logistica-reversa-de-embalagens-pos-consumo/>>. Acesso em: 18 out. 2024.

O que é reciclagem energética?. Univasf. Petrolina, 26 set 2018. Disponível em: <<https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/o-que-e-reciclagem-energetica>>. Acesso em: 10 out. 2024.

ORLANDI, Leticia. **Como a garrafa pet vai reduzir poluição industrial em Vitória.** A gazeta. Vitória, 30 out. 2023. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/meio-ambiente/como-a-garrafa-pet-vai-reduzir-poluicao-industrial-em-vitoria-1023>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

PARADA, Isadora. **Reciclagem do plástico - da separação até a fabricação dos polímeros.** YouTube, 31 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qJwSLrcLPvw>>. Acesso em: 23 set 2024.

PEREIRA, Lyne Sussuarana; GOMES, Thiago Santiago; PACHECO, Elen Beatriz Acordi Vasques. **Métodos de alocação de impactos ambientais para avaliação do ciclo de vida na reciclagem de resíduos plásticos.** Peer Review, v. 5, n. 19, p. 303-324, 2023.

Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo. SEAMA. Vitoria, 2019. Disponível em: <<https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Residuos%20Solidos/0%20-%20PLANO%20ESTADUAL%20DE%20RES%20C3%84DUOS%20S%20C3%93LIDOS%20-%20VERS%20C3%83O%20COMPLETA.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2024.

Quais são os perigos do plástico para o corpo humano?. Estadão Summit Saúde. 05 out. 2022. Disponível em: <<https://summitsaude.estadao.com.br/saude-humanizada/quais-sao-os-perigos-do-plastico-para-o-corpo-humano/>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

Reciclagem de plásticos: como se dá e no que se transformam?. Univasf. Petrolina, 08 out. 2018. Disponível em: <[https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/reciclagem-de-plasticos-como-se-da-e-no-que-se-transformam#:~:text=3\)%20Reciclagem%20Energ%C3%A9tica,poder%20calor%C3%ADfico%20armazenado%20nos%20pl%C3%A1sticos](https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/reciclagem-de-plasticos-como-se-da-e-no-que-se-transformam#:~:text=3)%20Reciclagem%20Energ%C3%A9tica,poder%20calor%C3%ADfico%20armazenado%20nos%20pl%C3%A1sticos)>. Acesso em: 10 out. 2024.

Reciclagem química: o que você precisa saber sobre isso. Mundo do plástico. 19 set. 2019. Disponível em: <[Reciclagem química: o que você precisa saber sobre isso \(plasticobrasil.com.br\)](https://plasticobrasil.com.br)>. Acesso em: 20 jun. 2024.

RENOVÁVEIS, EcoSolar Energias. **Usina de pirólise - usina de tratamento de resíduos urbanos.** YouTube, 20 set. 2018. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=rGlwQBfQTIQ>>. Acesso em: 29 set. 2024

Tempo de decomposição dos resíduos sólidos: saiba quais são e a importância de reciclá-los! Marca Ambiental. Cariacica, 05 maio 2023. Disponível em: <<https://marcaambiental.com.br/tempo-de-decomposicao-dos-residuos-solidos-saiba-quais-sao-e-a-importancia-de-recicla-los/#:~:text=Desde%20alagamentos%20ao%20aumento%20da,descarte%20incorret%20de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos.>>>. Acesso em: 24 maio 2024.

TETE, Gleyson. **Destinação de resíduos sólidos é desafio para municípios.**

Assembleia Legislativa Espírito Santo. Espírito Santo, 20 maio 2021. Disponível em:

<<https://www.al.es.gov.br/Noticia/2021/05/41032/destinacao-de-residuos-solidos-e-desafio-para-municipios.html>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

TRINDADE, K.; KUHN, I. N. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UMA EMPRESA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO EM IJUÍ/RS.** Salão do Conhecimento, 57, 2015.

Disponível em:

<<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/5193>>. Acesso em: 2 nov 2024.

SEAMA. **Diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no espírito santo.**

Plano Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2019. Disponível em:

<<https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Residuos%20Solidos/11%20-%20DIAGN%C3%93STICO%20SOBRE%20A%20GEST%C3%83O%20DOS%20RES%20S%C3%8DDUOS%20S%C3%93LIDOS%20NO%20ESP%C3%8DRITO%20SANTO%20-%20VERS%C3%83O%20COMPLETA.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, J. L. F. **"Reciclagem de resíduos plásticos urbanos no Brasil: desafios e oportunidades."** Gestão de resíduos, 97, 82-90. 2019.

SOUSA, V. P., & OLIVEIRA, L. M. **Políticas públicas para a gestão de resíduos plásticos no Brasil: Uma análise crítica.** Revista de Administração Pública, 53(4), 803-825. 2019.

SUSTENTÁVEIS, Soluções Triciclo. **Ambipar Triciclo - Matéria Retorna Machine IFES - Rio TV Câmara.** YouTube, 06 maio 2024. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=Wg8-IWtZPmc>>. Acesso em: 22 set 2024.

SUSTENTÁVEL, Info. **Aterro sanitário x lixão.** YouTube, 09 fev. 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jt8KHxjmXZA>>. Acesso em: 05 set. 2024.

Você sabe a diferença entre destinação e disposição final? Vertown. Belo Horizonte. Disponível em: < [https://www.vertown.com/blog/diferenca-destinacao-disposicao-](https://www.vertown.com/blog/diferenca-destinacao-disposicao-final/#:~:text=Incinera%C3%A7%C3%A3o,volume%20e%20a%20sua%20toxicidade)

final/#:~:text=Incinera%C3%A7%C3%A3o,volume%20e%20a%20sua%20toxicidade>. Acesso em: 23 out. 2024.

ZANIN, M., and MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. São Carlos: EdUFSCar, 2009, 144 p. ISBN 978-85-7600-360-1. Disponível em: <<https://doi.org/10.7476/9788576003601>>. Acesso em: 20 maio 2024.