

GESTÃO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO SOB UMA PERSPECTIVA DA ECONOMIA CIRCULAR

Natália de Sá Bragança^{1, x} & Ana Lúcia Nazareth Silva²

**1, x Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica (PEA), Universidade
Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, 21941-909, Brasil.**

**2 Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano (IMA), Universidade Federal do
Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, 21941-598, Brasil.**

(Autor de correspondência: nataliabraganca.inea@gmail.com)

RESUMO

O crescimento da geração de resíduos agroindustriais e plásticos pós-consumo tem intensificado desafios ambientais relacionados ao descarte inadequado e ao uso de recursos naturais. Este estudo analisou a viabilidade técnico-ambiental da incorporação de fibra de bananeira e polipropileno reciclado em matriz de polipropileno virgem, utilizando resultados de um estudo de caso previamente desenvolvido, associados à análise da legislação ambiental brasileira e à aplicação da matriz FOFA. Os materiais foram processados em extrusora dupla rosca e caracterizados através de análises mecânicas e de fluidez. Os resultados experimentais mostraram que a incorporação de 50% de polipropileno reciclado e 10% de fibra vegetal aumentou a fluidez dos produtos finais, mas reduziu as propriedades relacionadas à resistência mecânica. Entretanto, os materiais mantiveram potencial para aplicações de menor exigência estrutural. A Matriz FOFA evidenciou oportunidades associadas à economia circular, à valorização de resíduos, bem como desafios relacionados ao desempenho mecânico e à padronização dos materiais.

Palavras-chave: fibra de bananeira; polipropileno reciclado; reaproveitamento de recursos; Matriz FOFA; Legislação ambiental

INTRODUÇÃO

Estima-se que a população global atinja aproximadamente 10 bilhões de pessoas até 2050 (ONU 2022), o que resultará em uma exploração intensa dos recursos naturais e em uma pressão significativa sobre o setor agrícola. A expansão da produção nesse setor tem contribuído para o aumento da geração global de resíduos (Khan et al. 2024). Estima-se que a produção agrícola global recente seja de aproximadamente 7,26 Gt, gerando cerca de 140 Gt de resíduos secos de biomassa vegetal; no Brasil, esse montante é de cerca de 451 Mt (Vaz Junior 2020a). Normalmente eliminados ou incinerados, esses resíduos representam uma ameaça ao meio ambiente e à saúde humana, pois geram gases de efeito estufa e poluição atmosférica (Naik et al. 2023).

Nesse contexto, essa biomassa residual pode ser utilizada como matéria-prima sustentável no sistema de economia circular (Vaz Junior 2020b). Ao serem misturadas a resíduos plásticos para a produção de compósitos, as fibras de bananeira, subproduto da agricultura, conferem valor econômico e diminuem os efeitos ambientais de seu descarte.

Simultaneamente, a produção global de plásticos cresceu de forma significativa nas últimas décadas. No Brasil, esse aumento foi impulsionado, a partir da década de 1950, pelo uso intensivo de resinas termoplásticas sintéticas, em sintonia com a expansão dos setores de embalagens, automotivo, eletrônicos e construção civil, além da rápida urbanização (Andrade et al. 2025). No entanto, Achanta (2026) afirma que a má gestão dessas resinas causa sérios

danos ao meio ambiente e à sociedade, contribuindo de forma significativa para a poluição do solo, da água e do ar, além de liberar toxinas prejudiciais que ameaçam a biodiversidade.

Esse cenário estimula a busca pela sustentabilidade nos processos e produtos das cadeias produtivas (Kour et al. 2023). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil 2010) estabelece a gestão de resíduos no Brasil, definindo a responsabilidade compartilhada. Para os setores de plásticos e agrícola, essa base legal é complementada por regulamentações específicas — como leis federais, decretos e resoluções — que definem os parâmetros para uma gestão ambiental eficaz (Bezerra et al. 2024).

A matriz FOFA (SWOT) apresenta-se como uma ferramenta analítica estratégica para auxiliar no planejamento e na tomada de decisões nesse cenário complexo. A análise conjunta dos fatores internos e externos auxilia na criação de estratégias viáveis, otimizando benefícios e minimizando riscos relacionados ao reaproveitamento desses materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo examina a gestão de resíduos sólidos da agroindústria e das embalagens plásticas pós-consumo, discutindo seus efeitos no meio ambiente e o correspondente arcabouço legal. Foi conduzida uma pesquisa documental da legislação brasileira pertinente, em âmbito federal e estadual, juntamente com um estudo de caso baseado em dados secundários (Bragança 2014) sobre a adição de fibras de bananeira ao polipropileno (PP) virgem e reciclado. A matriz SWOT foi empregada como uma ferramenta estratégica para relacionar o contexto regulatório com os resultados mecânicos, a fim de identificar oportunidades e obstáculos para a tomada de decisões técnico-ambientais nos setores automobilístico e da construção civil.

1. Estudo de caso: caracterização mecânica do compósito

Nesse contexto, o delineamento fatorial 2^2 foi adotado para possibilitar a análise dos efeitos principais e das interações entre variáveis independentes sobre respostas mecânicas e de processabilidade. Assim, os dois fatores principais avaliados foram: (i) teor de fibra de bananeira (0 e 10% m/m) e (ii) teor de PP reciclado (0 e 50% m/m), totalizando quatro formulações experimentais: PP virgem; PP/PP reciclado (50%/50%); PP/fibra (90%/10%); e PP/PP reciclado/fibra (40%/50%/10%). Esse delineamento permitiu avaliar os efeitos individuais e combinados dos fatores estudados (Bragança 2014).

As misturas foram processadas por extrusão dupla rosca e moldagem por injeção, sob condições previamente ajustadas para evitar degradação térmica dos materiais. Posteriormente, os materiais foram submetidos a ensaios de índice de fluidez (MFI), módulo de Young, tensão na força máxima e resistência ao impacto.

A escolha dessas variáveis permitiu integrar parâmetros de processabilidade industrial e desempenho mecânico, considerados fundamentais para avaliar a viabilidade técnica da reinserção de resíduos na cadeia produtiva. O índice de fluidez (MFI) foi adotado como parâmetro de avaliação reológica e de comportamento de processamento, enquanto as propriedades mecânicas forneceram subsídios para análise de desempenho estrutural (Carvalho et al. 2020).

Os dados foram analisados por ANOVA e pelo teste LSD (Least Significant Difference), para avaliação da significância estatística e comparação entre as formulações.

Os resultados técnicos obtidos foram usados posteriormente como referência para a elaboração da matriz SWOT, com a finalidade de relacionar o desempenho mecânico, o cenário regulatório (legislação vigente) e o potencial estratégico de valorização de resíduos plásticos pós-consumo e biomassa agroindustrial residual.

2. Matriz FOFA (SWOT)

A matriz FOFA (SWOT) foi utilizada para analisar aspectos estratégicos ligados à utilização de compostos poliméricos sustentáveis, fabricados a partir de polipropileno virgem, polipropileno reciclado pós-consumo e fibra lignocelulósica de bananeira, levando em conta os dados técnicos, econômicos, ambientais e regulatórios. Sua aplicação é justificada pelo objetivo deste estudo de examinar a possibilidade de integrar resíduos da agroindústria e da indústria plástica pós-consumo como uma alternativa para gestão sustentável sob a ótica da economia circular e valorização de resíduos. O objetivo é identificar fatores importantes que possam apoiar pesquisas futuras e estratégias de aplicação prática (Helms et al. 2010).

Foram descritas sete etapas para a realização da análise. A primeira etapa consistiu na definição do objetivo do estudo, com foco na avaliação estratégica do uso de resíduos poliméricos pós-consumo e fibra de bananeira como matéria-prima para compósitos sustentáveis. Isso foi feito levando em conta sua relação com desempenho técnico, políticas econômicas, critérios ambientais e conformidade com a legislação pertinente.

Na segunda etapa, realizou-se a coleta de informações por meio de revisão de literatura, pesquisa da legislação ambiental pertinente ao caso, análise de documentos, resultados experimentais do estudo de caso técnico secundário (Bragança 2014), consulta a normas regulatórias nacionais e avaliação de critérios técnicos, econômicos e ambientais, de acordo com as orientações e sequência cronológica de Helms et al. (2010), Reissmann et al. (2018) e Fernandes (2021).

Na terceira etapa, os dados coletados foram organizados de acordo com as dimensões da matriz FOFA (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças), o que possibilitou a organização de características internas e externas relacionadas à valorização de resíduos plásticos recicláveis e agroindustriais. Para essa organização, foram empregadas perguntas centrais adaptadas ao contexto desta dissertação, com o objetivo de identificar benefícios técnicos, restrições mecânicas, oportunidades regulatórias, incentivos financeiros e riscos tecnológicos ou de mercado.

A quarta etapa consistiu no posicionamento das informações consolidadas na matriz FOFA para definição de metas estratégicas derivadas das interações entre forças, fraquezas, oportunidades e ameaças (FO, FA, FR/O e FR/A). As interações estratégicas consideraram: (i) potencialização de forças para ampliar oportunidades; (ii) utilização de forças para mitigar ameaças; (iii) superação de fraquezas por meio do aproveitamento de oportunidades; e (iv) desenvolvimento de estratégias defensivas para reduzir vulnerabilidades e riscos. Para reduzir redundâncias, informações semelhantes foram agrupadas por temas centrais, tornando a análise mais objetiva e aplicável à gestão integrada de resíduos sólidos.

A quinta etapa consistiu na organização das metas estratégicas em critérios operacionais, econômicos e ambientais, de acordo com a adaptação dos parâmetros de Reissmann et al. (2018).

Na sexta etapa, as metas estratégicas foram priorizadas com base na frequência de recorrência dos critérios operacionais, econômicos e ambientais associados. Isso possibilitou a identificação das dimensões que tiveram maior relevância estratégica no contexto analisado.

Por fim, a sétima etapa consistiu na consolidação interpretativa dos resultados e na identificação dos aspectos estratégicos com maior importância para a valorização sustentável dos resíduos analisados.

O estudo utilizou dados experimentais secundários de uma pesquisa anterior, sem repetir o experimento, empregando a matriz FOFA como instrumento estratégico para interpretar os resultados considerando a legislação ambiental e a gestão sustentável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Legislação ambiental aplicada ao reaproveitamento de resíduos

A proteção ambiental foi definida como uma obrigação do Estado e da sociedade pela Constituição Federal de 1988, servindo como fundamento para a construção do arcabouço jurídico ambiental brasileiro (Bezerra et al. 2024). Visando o uso racional dos recursos naturais, a Lei nº 6.938/1981 representou um marco estruturante ao trazer definições, princípios, objetivos e instrumentos de gestão por meio do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Esses mecanismos foram fortalecidos pela Carta Magna de 1988 e complementados pela Lei nº 9.605/1998, que ampliou o sistema de penalidades administrativas e criminais para comportamentos prejudiciais ao meio ambiente (Raimi et al. 2023).

Posteriormente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabeleceu mecanismos para reciclagem, logística reversa e responsabilidade compartilhada, tornando-se referência para a transição em direção a modelos de economia circular (Fernandes 2021; Aguirre Rodríguez et al. 2024).

Em resumo, o ordenamento jurídico brasileiro possui, nos âmbitos federal e estadual, leis, decretos e resoluções de destaque no gerenciamento de resíduos. Entre os principais instrumentos aplicáveis ao contexto agroindustrial e plástico, sobressaem-se as Leis nº 6.938/1981, nº 12.305/2010 (regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022), nº 9.605/1998, nº 7.802/1989 (Lei dos Agrotóxicos) e nº 14.260/2021 (Incentivo à Reciclagem). Somam-se a esse cenário o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Decreto nº 11.043/2022), a Estratégia Nacional de Economia Circular (Decreto nº 12.082/2024) e, na esfera estadual, o Decreto nº 48.354/2023, voltado à logística reversa. Além de regular a destinação apropriada, esse conjunto de normas oferece suporte jurídico para estratégias de reaproveitamento industrial e valorização de resíduos poliméricos e biomassa. Essa consolidação demonstra uma clara transição de uma postura corretiva para uma estratégia focada na prevenção, circularidade e inovação sustentável.

2. Estudo de caso

Como etapa da pesquisa, utilizaram-se, como base de evidência empírica secundária, os resultados do estudo de caso técnico previamente desenvolvido para mapeamento da caracterização mecânica de compósitos de polipropileno com insumos da indústria de reciclagem e fibras naturais, previamente desenvolvido pela autora como estudo de caso técnico (Bragança 2014).

As variáveis utilizadas no estudo de caso (fibra e PP reciclado) aproximaram o experimento dos princípios da economia circular (Decreto nº 12.082/2024) e da responsabilidade compartilhada previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), bem como dos instrumentos de incentivo à reciclagem e fortalecimento de cadeias circulares previstos na Lei nº 14.260/2021.

A consolidação dos resultados demonstrou que a incorporação de PP reciclado promoveu aumento expressivo da processabilidade, evidenciado pela elevação do MFI. O polipropileno virgem apresentou MFI médio de 1,76 g/10 min, enquanto a formulação contendo 50% de reciclado atingiu 4,08 g/10 min, indicando redução da viscosidade e maior facilidade de processamento industrial. A formulação ternária (PP virgem + PP reciclado + fibra de bananeira) apresentou o maior valor de MFI (4,72 g/10 min), sugerindo interação entre degradação prévia do reciclado e reorganização estrutural provocada pela presença fibrosa. Esse comportamento é coerente com estudos que associam o reproprocessamento polimérico ao aumento de fluidez (Saikrishnan et al. 2020).

Em contrapartida, as propriedades mecânicas sofreram reduções proporcionais à substituição de matéria-prima virgem. A tensão na força máxima reduziu de 33,61 MPa (PP

puro) para 30,46 MPa (PP reciclado) e 24,08 MPa (mistura ternária), enquanto o módulo de Young reduziu de 1483 MPa para 1218 MPa na formulação mais sustentável. A resistência ao impacto também apresentou decréscimo, especialmente com a presença de fibra vegetal, resultado frequentemente associado à limitada adesão interfacial entre fibras naturais e matrizes poliméricas. Ainda assim, as reduções observadas não inviabilizam tecnicamente o uso desses materiais em aplicações não nobres, especialmente na indústria automotiva, em plásticos que imitam madeira, na construção civil e em equipamentos esportivos (Khalid et al. 2021).

Do ponto de vista estatístico, a ANOVA confirmou significância dos fatores “teor de reciclado” e “teor de fibra” para praticamente todas as variáveis de resposta ($p < 0,05$), demonstrando robustez metodológica para utilização dos dados como base de tomada de decisão estratégica. Para o MFI, tanto o reciclado quanto a fibra foram significativos, incluindo interação entre os fatores ($p = 0,037$), indicando que a processabilidade depende do comportamento combinado das variáveis. Para as propriedades mecânicas, os efeitos principais foram dominantes, especialmente a fibra vegetal, que exerceu maior impacto negativo sobre a resistência e a tensão máxima. Os testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Lilliefors) e homocedasticidade (Cochran-Bartlett e Levene) conferiram validação e confiança estatística ao conjunto experimental.

A partir dos dados experimentais, pode-se inferir que:

(1) Viabilidade ambiental: a substituição parcial de PP virgem por reciclado e fibra reduz a demanda por recursos fósseis, favorece o reaproveitamento de resíduos pós-consumo e resíduos agrícolas e está alinhada à Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/2010), ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares (Decreto nº 11.043/2022) e à Estratégia Nacional de Economia Circular (Decreto nº 12.082/2024) (Brasil 2010; Brasil 2022b; Brasil 2024).

(2) Viabilidade tecnológica: embora haja perdas mecânicas, o desempenho permanece compatível com cadeias produtivas menos exigentes, sugerindo reposicionamento no mercado em segmentos de menor valor agregado.

(3) Viabilidade estratégica dependente de inovação: limitações mecânicas indicam a necessidade de melhorias futuras, como novas técnicas de tratamento das fibras e maior padronização do material reciclado.

3. Potenciais aplicações dos compósitos desenvolvidos.

Os compósitos ternários (PP virgem + PP reciclado + fibra de bananeira) desenvolvidos neste estudo visam aplicações de forte apelo sustentável, como a madeira plástica para a construção civil. Os resultados indicam que o material atende a demandas que exigem leveza e durabilidade, mas sem esforços mecânicos críticos. Na literatura, compósitos semelhantes são apontados como alternativas viáveis à madeira convencional na produção de painéis, móveis urbanos, divisórias e componentes semiestruturais (Biswal et al. 2012; Vardhini et al. 2018), promovendo a valorização de resíduos agrícolas dentro da economia circular.

Além da construção civil, o setor automotivo investiga o uso dessas estruturas em acabamentos internos, painéis e isolamentos acústicos, priorizando a redução de peso e o menor impacto ambiental (Sankar et al. 2020; Dua et al. 2023). No entanto, devido às limitações mecânicas típicas dos materiais lignocelulósicos, a aplicação desses novos compósitos deve se concentrar em elementos de baixa responsabilidade estrutural e esforços moderados (Kusić et al. 2020). Respeitando esses limites operacionais, o material se consolida como uma alternativa ecológica e economicamente vantajosa para o mercado de utilidades e perfis comerciais (Sankar et al. 2020).

4. Matriz FOFA (SWOT): Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças

A matriz FOFA permitiu integrar resultados experimentais, análise legislativa e revisão bibliográfica para avaliar o potencial estratégico da valorização conjunta de resíduos plásticos pós-consumo e fibra de bananeira. A consolidação dessas informações permitiu classificar os principais atributos em Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças, posteriormente utilizados para a derivação de metas estratégicas.

A análise da conexão entre atributos permitiu estabelecer metas estratégicas centrais, como: (1) potencializar ganhos ambientais e regulatórios para ampliar a competitividade; (2) investir em inovação tecnológica para superar fragilidades mecânicas; (3) fortalecer a logística reversa e a padronização de insumos; e (4) reduzir as vulnerabilidades econômicas para maior inserção no mercado.

A frequência de recorrência dos critérios permitiu priorizar dimensões estratégicas centrais da análise. Nesse contexto, a priorização das metas demonstrou que os critérios mais recorrentes foram viabilidade técnica, competitividade econômica, consumo de recursos naturais não renováveis e emissões de poluentes, evidenciando que o sucesso da tecnologia depende do equilíbrio entre desempenho funcional, ganhos ambientais e viabilidade comercial. Os resultados indicaram que a principal vantagem estratégica reside na capacidade de integrar gestão de resíduos sólidos, inovação em materiais sustentáveis e conformidade legal, enquanto os maiores desafios concentram-se na perda relativa de desempenho mecânico e nos custos de aprimoramento tecnológico.

As metas derivadas foram organizadas em critérios operacionais (OP - viabilidade técnica e processabilidade), econômicos (EC - custos, competitividade e potencial de mercado) e ambientais (AMB - redução de emissões, consumo de recursos e valorização de resíduos), permitindo uma priorização estruturada.

A aplicação da matriz FOFA demonstrou, conforme tabela 1, que compósitos de PP reciclado e fibra de bananeira apresentam elevado potencial como alternativa estratégica para a valorização de resíduos sólidos, sobretudo por favorecerem a economia circular, a redução parcial da dependência de recursos fósseis e a criação de novos nichos sustentáveis. Contudo, sua consolidação depende de avanços em compatibilização, melhoria das propriedades mecânicas, padronização produtiva e fortalecimento institucional. Assim, o estudo evidencia que a valorização sustentável de resíduos não depende exclusivamente do desempenho técnico, mas da convergência entre inovação, regulação, competitividade e políticas públicas integradas.

Tabela 1: matriz FOFA (SWOT). Fonte: Elaboração própria (2026).

FORÇAS	FRAQUEZAS
Aumento da processabilidade (elevação do MFI) com uso de PP reciclado	Redução de propriedades mecânicas (impacto, tensão máxima e módulo)
Valorização simultânea de resíduos plásticos e agroindustriais	Baixa adesão fibra-matriz
Redução parcial do uso de matéria-prima fóssil virgem	Necessidade de compatibilização e tratamento de fibras
Alinhamento com PNRS, Planares, logística reversa e economia circular	Variabilidade e necessidade de padronização dos resíduos
Potencial de aplicação em setores menos exigentes (construção civil, madeira plástica, bens não estruturais)	Limitação para mercados de alto desempenho
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Expansão de mercados sustentáveis	Concorrência com polímeros convencionais
Incentivos regulatórios e políticas públicas ambientais	Resistência mercadológica

Fortalecimento da logística reversa e bioeconomia
Valorização econômica de resíduos agroindustriais
Desenvolvimento de compósitos verdes competitivos

Custos adicionais de inovação
Oscilação na qualidade e oferta de resíduos
Dependência de incentivos econômicos

No contexto de tomada de decisão e viabilidade industrial, o cruzamento dos elementos da matriz FOFA direciona o foco para a engenharia de processos e custos. A força técnica da alta fluidez do compósito ternário (MFI de 4,72 g/10 min) atua reduzindo o consumo de energia dos equipamentos de moldagem, servindo como forte justificativa econômica para diminuir a ameaça de concorrência com polímeros virgens. Entretanto, para que a escala produtiva seja viável, o tomador de decisão deve gerenciar a fraqueza da queda nas propriedades mecânicas (redução do Módulo de Young para 1218 MPa), direcionando este material exclusivamente para o mercado de bens de grande volume sem função estrutural, como perfis de madeira plástica ou acabamentos automotivos, onde o design da peça compense a perda de rigidez (Kusić et al. 2020; Khalid et al. 2021). Tal estratégia mitiga riscos operacionais e foca em produtos de menor exigência técnica.

Por outro lado, a transferência do material do laboratório para as fábricas exige a superação da fraqueza da instabilidade dos insumos e da baixa adesão interfacial fibra-matriz, que, sob risco de rejeição do mercado (ameaça), demanda investimentos em etapas prévias de triagem dos plásticos e tratamento químico ou compatibilização das fibras vegetais (Mulla et al. 2024; Rubiano-Navarrete et al. 2024). Embora essas etapas gerem custos iniciais de inovação, o investimento encontra viabilidade financeira ao transformar oportunidades regulatórias em vantagens econômicas. Ao alinhar a produção aos incentivos da Lei nº 14.260/2021 e às metas de logística reversa da PNRS, as empresas transformam o compósito em uma solução de alto apelo para indústrias e construtoras que buscam conformidade com as exigências de ESG e economia circular (Aguirre Rodríguez et al. 2024; Rubiano-Navarrete et al. 2024).

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a união de polipropileno reciclado pós-consumo e fibra de bananeira a uma matriz polimérica virgem é viável para a valorização de resíduos dentro da economia circular, reduzindo a dependência de fontes fósseis e atendendo à legislação brasileira. Apesar de o compósito proporcionar benefícios reais em termos de sustentabilidade e facilidade de processamento, as perdas mecânicas limitam seu uso a peças de menor exigência técnica e sem função estrutural. A análise SWOT deixou claro que levar esse material do laboratório para o mercado exige equilibrar custo, desempenho e adequação regulatória. Torna-se evidente que o sucesso dessa tecnologia depende da superação de desafios como a padronização dos resíduos e a adesão interfacial do compósito. Para resolver essas questões e expandir o uso da madeira plástica para novos nichos comerciais, estudos mais aprofundados e detalhados já estão em andamento.

REFERÊNCIAS

Achanta PRD, Gupta H, Chourasia R, Grover N, Whig P (2026) Environmental impacts of plastic waste disposal: innovative approaches. In: Kulkarni S, Trois C, Editores. Sustainable Solutions for Environmental Pollution. Elsevier. pp. 225-246.

Aguirre Rodríguez EC, Al-Qudah S, Al-Sheyab M, Al-Radaideh T (2024) Reverse logistics and the circular economy: a study before and after the implementation of the National Solid Waste Policy in Brazil. *Recycling* 9: 64.

Andrade FN, Araujo FV (2025) An analysis of the legal and management aspects of plastic waste in Brazil. *Sustainable Futures* 10: 101120.

Bezerra CG, Bezerra PG, Bezerra Neto FC, Moreira LAR, Araújo LNC, Batista JC, Araujo JMBG (2024) Uma análise das normativas vigentes para a redução de impactos ambientais na gestão da agroindústria. *Cuadernos de Educación y Desarrollo* 16: e5023.

Biswal M, Mohanty S, Nayak S (2012) Banana fiber-reinforced polypropylene nanocomposites: effect of fiber treatment on mechanical, thermal, and dynamic-mechanical properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 25: 765-790.

Bragança NS (2014) Caracterização mecânica, térmica, morfológica e reológica de compósitos de polipropileno com insumos da indústria de reciclagem e fibras naturais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói.

Brasil (1981) Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF.

Brasil (1988) Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

Brasil (1989) Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre agrotóxicos e resíduos de embalagens. Brasília, DF.

Brasil (1998) Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente. Brasília, DF.

Brasil (1999) Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Brasília, DF.

Brasil (2001) Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Brasília, DF.

Brasil (2007) Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF.

Brasil (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF.

Brasil (2021) Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Institui incentivos à reciclagem. Brasília, DF.

Brasil (2022a) Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF.

Brasil (2022b) Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF.

Brasil (2024) Decreto nº 12.082, de 27 de junho de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Brasília, DF.

Carvalho MS, Azevedo JB, Barbosa JDV (2020) Effect of the melt flow index of an HDPE matrix on the properties of composites with wood particles. *Polymer Testing* 90: 106678.

Dua S, Khatri H, Naveen J, Jawaid M, Jayakrishna K, Norrrahim MNF, Rashedi A (2023) Potential of natural fiber based polymeric composites for cleaner automotive component production: a comprehensive review. *Journal of Materials Research and Technology* 25: 4420-4463.

Fernandes RAF (2021) Avaliação técnica, econômica e ambiental do uso do ZNIBU como regenerador de resíduo de borracha através de matriz FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Helms MM, Nixon J (2010) Exploring SWOT analysis: where are we now? A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management* 3: 215-251.

Bismail AS (2026) Thermal properties of banana fiber-reinforced polymer composites. In: Jawaid M, Editor ES. *Banana fibres and their composites*. Cambridge: Woodhead Publishing. pp. 241-251.

Khalid MY, Al Rashid A, S M, Zia MA, Saaed M, Ali I, Ali MA (2021) Natural fiber reinforced composites: sustainable materials for emerging applications. *Results in Engineering* 11: 100263.

Khan MN, Sial T, Ali A, Wahid F (2024) *Impact of Agricultural Wastes on Environment and Possible Management Strategies*. Cham: Springer.

Kour R, Kour N, Sharma S, Singh S, Kumar A, Sharma S (2023) Persistence and remote sensing of agri-food wastes in the environment: current state and perspectives. *Chemosphere* 317: 137877.

Kusić D, Božić U, Monzón M, Paz R, Bordón P (2020) Caracterização térmica e mecânica de compósitos reforçados com fibra de banana para sua aplicação em moldagem por injeção. *Materials* 13: 3581.

Mulla AM, Munagala CK, Kesari AK, Raju LY, Nagar H, Behara DK, Aniya V (2024) Durable polymer composites preparation with oxy-delignified banana fiber for automotive parts: a study on mechanical and thermal properties. *Industrial Crops and Products* 222: 119942.

Naik B, Kumar V, Bhatia AK, Singh S, Ranga P (2023) Agro-industrial waste: a cost-effective and eco-friendly substrate to produce amylase. *Food Production, Processing and Nutrition* 5: 30.

Organização das Nações Unidas (2022) *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. New York: United Nations.

Raimi MO, Sawyerr HO, Ezekwe CI (2023) Environmental impact assessment practices of the Federative Republic of Brazil: a comprehensive review. *Environmental Challenges* 13: 100746.

Reissmann D, Thrän D, Bezama A (2018) Techno-economic and environmental suitability criteria of hydrothermal processes for treating biogenic residues: a SWOT analysis approach. *Journal of Cleaner Production* 200: 293-304.

Rio de Janeiro (Estado) (2023) Decreto nº 48.354, de 2 de fevereiro de 2023. Institui o Regulamento Geral de Logística Reversa do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Rubiano-Navarrete AF, Rodríguez Sandoval P, Torres Pérez Y, Gómez-Pachón EY (2024) Effect of fiber loading on green composites of recycled HDPE reinforced with banana short fiber: physical, mechanical and morphological properties. *Polymers* 16: 3299.

Saikrishnan S, Jubinville D, Tzoganakis C, Mekonnen TH (2020) Thermo-mechanical degradation of polypropylene (PP) and low-density polyethylene (LDPE) blends exposed to simulated recycling. *Polymer Degradation and Stability* 182: 109390.

Sankar VVA, Suresh P, Arun Kumar V, Dhanasekar S, Harissh Kumar E, Nandhakumar R (2020) Experimental research into the mechanical behaviour of banana fibre reinforced PP composite material. *Materials Today: Proceedings* 33: 3097-3101.

Vardhini KJ, Murugan R, Ramamoorthy S (2018) Effect of alkali and enzymatic treatments of banana fibre on properties of banana/polypropylene composites. *Journal of Industrial Textiles* 47: 2045-2064.

Vaz Junior S (2020a) Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia. Disponível: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1126255>. Acessado em 1 de março de 2026.

Vaz Junior S (2020b) Bioeconomia em progresso: resíduos da agroindústria. Brasília, DF: Embrapa. Disponível: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/bioeconomia-em-progresso-residuos-da-agroindustria>. Acessado em 3 de março de 2026.