Requisitos de sustentabilidade para o projeto de produtos poliméricos produzidos a partir de processo de injeção

Sustainability requirements for the design of polymeric products produced through the injection molding process

Ana Clara Souto de Souza, graduanda, Universidade Federal de Juiz de Fora

anaclara.souto@estudante.ufjf.br

Lia Paletta Benatti, Dr.ª, Universidade Federal de Juiz de Fora

lia.paletta@ufjf.br

André Carvalho Mol Silva, Dr. Universidade Federal de Juiz de Fora

andremol@gmail.com

Número da sessão temática da submissão – [2]

Resumo

O presente estudo tem como objetivo investigar e propor estratégias sustentáveis para o processo de injeção de polímeros termoplásticos, visando reduzir impactos ambientais e promover a circularidade dos materiais. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura sobre os princípios de sustentabilidade aplicados ao design de produtos poliméricos, os desafios ambientais e regulatórios do setor e as inovações tecnológicas voltadas para a redução de resíduos e otimização do processo produtivo. A pesquisa destaca a importância da seleção de materiais sustentáveis, como biopolímeros e polímeros biodegradáveis, além da adoção de moldes híbridos e sistemas de gestão ambiental para minimizar desperdícios e emissões de carbono. Conclui-se que a transição para práticas mais sustentáveis na injeção de polímeros é essencial para alinhar a produção industrial às demandas ambientais e sociais, promovendo uma abordagem mais responsável e eficiente na utilização dos recursos.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Injeção de polímeros; Economia circular; Inovação tecnológica

Abstract

The present study aims to investigate and propose sustainable strategies for the thermoplastic polymer injection process, with the goal of reducing environmental impacts and promoting material circularity. To achieve this, a literature review was conducted on the principles of sustainability applied to polymeric product design, the environmental and regulatory challenges faced by the industry, and technological innovations aimed at waste reduction and production process optimization. The research emphasizes the importance of selecting sustainable materials, such as biopolymers and biodegradable polymers, as well as adopting hybrid molds and environmental management systems to minimize waste and carbon emissions. It is concluded that transitioning to more sustainable practices in polymer injection is essential to align industrial production with environmental and social demands, fostering a more responsible and efficient approach to resource utilization.

Keywords: *Sustainability; Polymer injection; Circular economy; Technological innovation.*

1. Introdução

Os polímeros são um dos materiais mais versáteis e amplamente utilizados no mundo contemporâneo, desempenhando um papel crucial em diversos setores, como saúde, alimentação, transporte e tecnologia. Sua leveza, durabilidade e capacidade de ser moldado em diferentes formas os tornaram indispensáveis para inúmeras aplicações no dia a dia. "Desde o advento dos plásticos, há mais de um século, eles se tornaram parte da composição de uma infinidade de produtos fabricados para uso do ser humano" (Bortolatto, 2021, p. 16). O plástico desempenha um papel de onipresença na sociedade, desde embalagens até componentes essenciais em dispositivos médicos e eletrônicos. Na medicina, por exemplo, o plástico é utilizado em equipamentos descartáveis, próteses e embalagens estéreis, garantindo segurança e higiene. Na indústria alimentícia, é um material que ajuda a reduzir o desperdício ao prolongar a vida útil dos produtos e facilita o transporte em larga escala. Além disso, o plástico é fundamental em setores de alta tecnologia, como a produção de veículos, *smartphones* e até mesmo painéis solares, demonstrando sua importância para o desenvolvimento econômico e tecnológico.

Segundo Andrady e Neal (2009), os polímeros termoplásticos oferecem uma versatilidade de uso incomparável em uma ampla faixa de temperaturas operacionais. Eles têm uma alta relação resistência-peso, rigidez e tenacidade, ductilidade, resistência à corrosão, bio inércia, alto isolamento térmico/elétrico, não toxicidade e excelente durabilidade a um custo de vida útil relativamente baixo em comparação com materiais concorrentes; portanto, os plásticos são muito eficientes em termos de recursos. Com o crescimento da indústria de injeção de polímeros, a sustentabilidade vem se tornando cada vez mais necessária devido ao impacto do material e de seus resíduos no meio ambiente e para a sociedade.

> [...] o plástico, na sua grande maioria fóssil, é não só responsável pela emissão de dióxido de carbono, que promove o aquecimento global e por sua vez as alterações climáticas, mas também inúmeros efeitos nocivos para os diversos ecossistemas do nosso planeta e para a saúde humana (Teles, 2020, p. 14).

Até que surjam outros materiais que possam competir com os polímeros em critérios econômicos e industriais, e que os substituam de forma benéfica para o meio ambiente, as indústrias de injeção de polímeros devem seguir critérios de sustentabilidade para amenizar os impactos causados pelo plástico e seus detritos. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo investigar e propor estratégias sustentáveis para o processo de injeção de polímeros termoplásticos, visando reduzir os impactos ambientais e promover a circularidade do material. Através de análises teóricas, busca-se compreender melhor as possibilidades de aplicação da sustentabilidade nas indústrias, contribuindo para a transição para uma economia mais sustentável e responsável.

2. Metodologia

O levantamento de informações que sustenta o desenvolvimento deste trabalho envolve a integração dos conceitos de sustentabilidade com as tecnologias aplicadas à produção de produtos poliméricos, com destaque para o processo de injeção. Essa abordagem centraliza três grandes eixos temáticos: a análise do processo de injeção de polímeros, a aplicação dos

princípios de sustentabilidade no design de produtos e os desafios ambientais e regulatórios no uso de polímeros. A busca por soluções sustentáveis no design de produtos poliméricos envolve não apenas a eficiência no uso de recursos, mas também a minimização de impactos ambientais, o que é particularmente relevante no contexto atual de crescente conscientização ecológica e regulamentações cada vez mais rigorosas.

3. Injeção de Polímeros Termoplásticos

A injeção de polímeros é uma das tecnologias de fabricação mais avançadas e amplamente utilizadas para processos de produção de baixo custo e alta confiabilidade. Segundo Chanda (2018), o processo se baseia na capacidade dos materiais termoplásticos de serem amolecidos pelo calor, passando por um cilindro aquecido, injetados sob pressão na cavidade do molde e endurecidos quando resfriados. Cada etapa do processo é realizada em uma área específica do mesmo equipamento (Figura 1), em uma operação cíclica conhecida como ciclo de injeção.

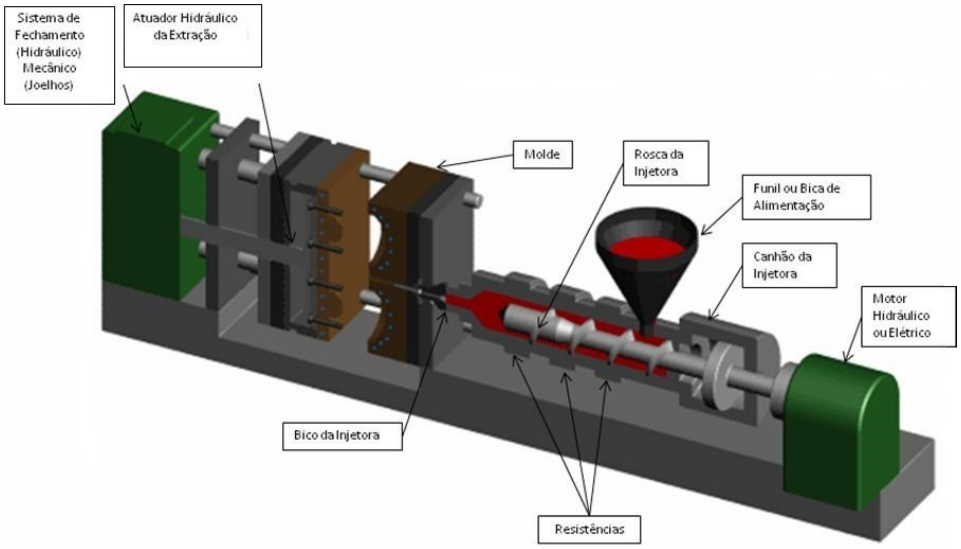

Figura 1: Partes de uma injetora. Fonte: Lopes (2020).

No funil da injetora, a resina plástica em grânulos é depositada enquanto o êmbolo (também chamado de rosca ou parafuso) é retraído. Em seguida, o êmbolo ou rosca empurra o material para a zona de aquecimento, onde ele é aquecido e amolecido, processo conhecido como plastificação. O polímero já fundido, deslocado pelo novo material inserido, é então impulsionado para frente através da abertura de injeção no molde, desce pelo canal de distribuição, passa pelo ponto de injeção e, finalmente, preenche a cavidade do molde. O molde é mantido firmemente fechado pela ação de fechamento da placa da prensa, garantindo que o polímero fundido seja forçado a preencher todas as partes das cavidades do molde, resultando em uma reprodução precisa e detalhada do molde.

A qualidade do produto injetado depende de diversos fatores, como as propriedades do polímero utilizado, a geometria do produto, o design do molde e as especificações do

processo. De acordo com Arifin e Pranoto (2024), a moldagem por injeção pode ser uma alternativa superior aos métodos tradicionais de processamento de polímeros, oferecendo maior eficiência, precisão e versatilidade na produção de peças complexas. Além disso, o controle rigoroso dos parâmetros do processo, como temperatura, pressão e tempo de resfriamento, é essencial para minimizar defeitos e garantir a qualidade final do produto.

3.1. Sustentabilidade e Design

O design, em conjunto com a sustentabilidade, surge como uma abordagem essencial para equilibrar as demandas da produção industrial com as necessidades ambientais e sociais. Essa integração é fundamental para promover práticas mais responsáveis e eficientes, especialmente na indústria de injeção de polímeros, onde os desafios ambientais e a busca por soluções sustentáveis têm ganhado destaque.

Sobre os objetivos do desenvolvimento sustentável, pode-se afirmar que:

> O desenvolvimento sustentável, em seu sentido mais amplo, visa a promover a harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza no contexto específico das crises do desenvolvimento e do meio ambiente. Nos dias de hoje, não podemos pensar numa comunidade sustentável sem estar sendo atuado os pensares à nível da educação sustentável e ambiental, e por isso, constitui um imperativo (MAURO; BORBA, 2008, p. 2).

Na indústria de injeção de polímeros, segundo Yusoff, Turan e Adanan (2024), os pilares principais para promover práticas mais responsáveis e eficientes abrangem a seleção de materiais, a otimização de processos, a redução de resíduos, a avaliação do ciclo de vida, o design voltado para a sustentabilidade, a conformidade com regulamentações, a melhoria contínua e a comunicação eficaz. Esses elementos são essenciais para alinhar a produção de produtos poliméricos às demandas sociais e ambientais atuais. A seleção de materiais, em particular, desempenha um papel central no quesito sustentabilidade na indústria, uma vez que, como destacam Vassallo, Rochman e Refalo (2020, p. 504), “alguns materiais consomem mais energia para produzir do que outros. Além disso, o que acontece com o material no final de sua vida útil é muito importante a ser considerado.”

Para que ocorra essa integração entre design e sustentabilidade, o designer se torna uma peça fundamental no processo. É imprescindível que, ao projetar um produto que tem como matéria-prima o plástico, considere-se o ciclo de vida do material do início ao fim, com o objetivo de minimizar os impactos em todas as fases, desde a produção até o descarte, e, principalmente, como recuperar a matéria após o fim de sua vida útil. De acordo com Mauro e Borba (2008), o design contribui com a sustentabilidade ao trazer sua originalidade e suas metodologias na busca de uma estabilidade entre os aspectos industriais, econômicos e ambientais. Essa abordagem não apenas reduz os impactos negativos, mas também promove a inovação e a criação de produtos que atendam às necessidades da sociedade sem comprometer o meio ambiente.

3.2 Desafios ambientais e normativos no uso de polímeros

O uso de materiais poliméricos na indústria apresenta diversos desafios, especialmente no que diz respeito aos resíduos gerados durante os processos produtivos. Segundo Forlin e Faria (2002), os principais descartes da produção industrial de plásticos incluem resinas, sobras de acabamento e produtos que não atendem aos padrões de qualidade ou de projeto.

A forma como esses materiais são descartados é de extrema importância, pois, quando realizada de maneira inadequada, pode resultar em problemas ambientais consideráveis.

Além disso, o descarte inadequado de materiais poliméricos contribui para o surgimento de microplásticos na natureza. Conforme destacam Martins, Rodrigues e Tavares (2023, p. 371), "já os microplásticos secundários são aqueles advindos da degradação de materiais poliméricos, descartados inadequadamente, quer seja pelo uso doméstico ou industrial". Esses microplásticos, quando presentes no meio ambiente, podem ser ingeridos por animais terrestres e marinhos, entrando na cadeia alimentar e afetando a saúde tanto dos animais quanto dos seres humanos. Esse fenômeno representa um dos maiores desafios ambientais associados ao uso de polímeros, uma vez que os impactos são de longo prazo e de difícil mitigação.

Outro aspecto crítico relacionado ao uso de polímeros é a sua contribuição para o efeito estufa causado pela liberação de dióxido de carbono (CO^2), e outros gases, advindo do processamento de matérias-primas fósseis. Esses gases, quando liberados na atmosfera, intensificam o aquecimento global e agravam as mudanças climáticas. Além disso, o descarte inadequado desses materiais resulta em um desperdício de recursos não renováveis, como o petróleo, que é a principal matéria-prima para a produção de polímeros. Esse desperdício não apenas esgota as reservas naturais do planeta, mas também aumenta a pressão sobre os ecossistemas, já que a extração e o processamento desses recursos geram impactos ambientais adicionais.

Diante desses desafios, as legislações e normas internacionais desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade no setor de polímeros, estabelecendo diretrizes e padrões que visam reduzir os impactos ambientais e promover práticas mais responsáveis. Segundo a EMBRAPA (2001), as normas ISO 14000 – Gestão Ambiental promovem a prevenção de processos de contaminação ambiental, ao orientar as organizações sobre sua estrutura, operação, coleta, armazenamento, recuperação e disponibilização de dados e resultados. Essas diretrizes consideram tanto as necessidades imediatas quanto as futuras do mercado, visando à satisfação do cliente, entre outras recomendações. Dessa forma, integram a organização ao contexto ambiental, incentivando práticas sustentáveis e responsáveis.

4. Resultados

O plástico, material amplamente utilizado na sociedade moderna, tem passado por transformações profundas impulsionadas pela crescente demanda por práticas sustentáveis. A necessidade de reduzir o impacto ambiental e promover um ciclo de vida mais eficiente para os materiais têm incentivado a adoção de soluções inovadoras. Nesse cenário, destacam-se iniciativas como o uso de resinas recicladas e alternativas biodegradáveis, que minimizam a dependência de recursos não renováveis, além da automação e digitalização de processos para reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos. Esses avanços reforçam o papel estratégico do plástico em setores essenciais, ao mesmo tempo em que buscam alinhar progresso tecnológico com responsabilidade ambiental.

4.1. Materiais biodegradáveis, biopolímeros e polímeros verdes

Entre as alternativas mais promissoras para reduzir o impacto ambiental dos plásticos convencionais, destacam-se os plásticos biodegradáveis, os biopolímeros e os polímeros

verdes. Segundo Costa (2013, p. 35), “materiais biodegradáveis são todos aqueles que, quando entram em contato com o meio ambiente, se degradam, transformando-se nos elementos naturais de sua composição, fechando o ciclo biológico da cadeia.” Essa característica torna os plásticos biodegradáveis uma opção viável para minimizar os resíduos plásticos que persistem no meio ambiente por longos períodos. Além dos polímeros biodegradáveis, existem os biopolímeros, que, de acordo com Brito *et al.* (2011), são materiais desenvolvidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis e, em sua maioria, naturais. Já os polímeros verdes são definidos como materiais que, ao longo de seu ciclo de vida, impactam menos o meio ambiente em comparação com os polímeros convencionais, seja pela redução de emissões de carbono, pelo uso de recursos renováveis ou pela maior facilidade de reciclagem e degradação.

O principal ponto de divergência entre os materiais biodegradáveis e os convencionais está relacionado ao ciclo de vida. De acordo com o MMA, MEC e IDEC (2005), os plásticos convencionais, quando descartados, podem demorar mais de 400 anos para se decompor, gerando impactos ambientais significativos. Em contraste, os polímeros biodegradáveis são degradados por microrganismos vivos, transformando-se em água, gás carbônico e nutrientes, caracterizando um ciclo de vida fechado e sustentável. Esse processo de degradação ocorre porque esses materiais são produzidos a partir de fontes renováveis, como amido, celulose ou ácido polilático (PLA), que são facilmente assimilados pela natureza. Como destaca Fegalo (2019) “estes polímeros, no final de seu ciclo de vida, sofrem degradação por microrganismos que os decompõem em água, gás carbônico e nutrientes, que retornam para o solo.” Essa capacidade de reintegração ao meio ambiente faz dos biopolímeros uma alternativa viável para substituir, em determinadas aplicações, os polímeros derivados de fontes fósseis.

4.2. **Aspectos sustentáveis da Injeção de Polímeros**

A injeção de polímeros, quando associada a práticas sustentáveis, apresenta um potencial significativo para reduzir impactos ambientais e promover a eficiência no uso de recursos. Dois aspectos que se destacam nesse contexto são a utilização de moldes híbridos, também conhecido como ferramentaria leve ou *soft tooling*, e a adoção de sistemas de gestão ambiental (SGA) nas indústrias. Essas práticas não apenas contribuem para a redução do impacto ambiental, mas também fortalecem a competitividade das empresas, alinhando-se às demandas globais por sustentabilidade.

A utilização de moldes híbridos tem ganhado destaque como uma solução inovadora e sustentável. Esses moldes são fabricados por meio de tecnologias avançadas, como a impressão 3D, que permite a produção de peças com menor consumo de materiais e energia. Como destaca Fernandes *et al.* (2014, p. 38), “a fabricação aditiva, utilizando a impressão 3D, resulta em zero sucata. A não existência de sucata também tem benefícios ambientais significativos que podem ajudar uma empresa a melhorar a sustentabilidade de suas operações de fabricação.” Além disso, os moldes híbridos são ideais para a produção de lotes iniciais de peças, reduzindo o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de moldes tradicionais. Essa abordagem não apenas otimiza o processo produtivo, mas também minimiza o desperdício de materiais, contribuindo para uma produção mais limpa e eficiente.

Outro aspecto fundamental é a adoção de sistemas de gestão ambiental nas indústrias de injeção de polímeros. Um SGA pode ser definido como “parte do sistema de gestão organizacional utilizado para projetar, implementar e gerenciar a política ambiental” (OLIVEIRA; SERRA, 2010). A implementação de um SGA, como o proposto pela norma

NBR ISO 14001, permite que as empresas atuem de maneira estruturada para assegurar a proteção do meio ambiente, reduzindo impactos negativos e promovendo práticas mais sustentáveis. Conforme Oliveira e Serra (2010) destacam, “um sistema de gestão ambiental pode ser descrito como uma metodologia pela qual as organizações atuam de maneira estruturada sobre suas operações para assegurar a proteção do meio ambiente”. Essa abordagem é essencial em um cenário onde as questões ambientais têm se tornado cada vez mais relevantes, impulsionadas pela conscientização dos consumidores, pela escassez de recursos naturais e pela cobrança de parceiros por práticas mais limpas.

A integração de moldes híbridos e sistemas de gestão ambiental representa um avanço significativo na busca por processos mais sustentáveis na indústria de injeção de polímeros. Empresas como a Stratasys e a Arburg têm liderado iniciativas nesse sentido, desenvolvendo soluções industriais verdes que promovem a eficiência energética e a sustentabilidade (FERNANDES *et al.*, 2014). Essas práticas não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também fortalecem a competitividade das empresas, demonstrando que é possível aliar desenvolvimento tecnológico e responsabilidade ambiental.

5. Conclusão

Este artigo explorou estratégias sustentáveis para o processo de injeção de polímeros, destacando práticas que minimizem os impactos ambientais e promovam a circularidade dos materiais. A análise teórica mostrou que, embora o plástico seja essencial para a sociedade, seu uso excessivo e o descarte inadequado causam poluição, emissões de gases de efeito estufa e resíduos persistentes no ambiente. A substituição de polímeros de origem fóssil é crucial, e pesquisas que viabilizem polímeros biodegradáveis e de fontes renováveis são fundamentais para essa transição.

Materiais biodegradáveis, biopolímeros e polímeros verdes surgem como alternativas para reduzir a dependência de recursos não renováveis e diminuir o acúmulo de resíduos plásticos. Esses materiais, ao se degradarem, completam o ciclo biológico e reduzem os impactos dos plásticos convencionais. Além disso, a utilização de moldes híbridos, por meio da impressão 3D, é uma solução eficiente para reduzir desperdícios e otimizar a produção. A fabricação aditiva, ao gerar zero sucata, representa um avanço em operações mais sustentáveis.

A implementação de sistemas de gestão ambiental (SGA), como a norma NBR ISO 14001, permite que as empresas atuem de maneira estruturada para proteger o meio ambiente, reduzir impactos e promover a melhoria contínua. A gestão ambiental também fortalece a reputação das empresas, atendendo às exigências regulatórias e ganhando a confiança de consumidores mais exigentes.

É essencial planejar a substituição do plástico nos setores possíveis e, quando não viável, adotar um uso responsável, minimizando impactos. A integração de práticas sustentáveis, como o uso de materiais renováveis, tecnologias avançadas e gestão ambiental, reforça o papel estratégico do plástico em áreas como saúde, transporte e tecnologia, enquanto impulsiona a transição para uma economia circular. Contudo, desafios como custos elevados e limitações técnicas exigem investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além de colaboração entre indústria, governo e sociedade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica.

Referências

ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. Philosophical Transactions of the Royal Society. **Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977–1984, 27 jul. 2009. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2873019/. Acesso em 12 fev. 2025.

ARIFIN, M. A.; PRANOTO, H. Determination of process parameter for injection molding : a review. **Jurnal Rekayasa Mesin**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 1513–1523, 2024. DOI: 10.21776/jrm.v15i3.1758. Disponível em: https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/1758. Acesso em: 8 fev. 2025.

BORTOLATTO, R. **Desenvolvimento de materiais biodegradáveis contendo amido e casca de soja (Glycine max (L.)) produzidos por injeção termoplástica**. 2021, 109 f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_3322f188a1dbc99dbcf634141b897f0a. Acesso em: 12 fev. 2025.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011. Disponível em: https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/view/222/0. Acesso em: 11 fev. 2025.

CHANDA, M. **Plastics technology handbook.** 5. ed. Boca Raton: CRC, 2018.

COSTA, A. C. P. **Análise da substituição de polímeros convencionais por polímeros biodegradáveis**: um estudo de caso. 2013, 63 f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, 2013. Disponível em: https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1035/Ana%20Carolina%20Perini%20Costa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 19 fev. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ISO 14000:** gestão ambiental. 2001. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod_int/iso_14000.html. Acesso em: 12 fev. 2025.

FEGALO, F. K.; **Embalagens biodegradáveis para alimentos:** Possíveis substitutas para embalagens plásticas diminuindo o impacto causado ao meio ambiente? Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre. Porto Alegre, 2019. Disponível em: https://api.repositorio.ufcspa.edu.br/server/api/core/bitstreams/0371fefd-3258-40f5-92d9-3157581b3a8f/content Acesso em: 02 mar. 2025.

FERNANDES, A. de F. *et al.* **Supply chain e o impacto da impressora 3D**. 2014, 82 f. Trabalho final de disciplina (MBA em Engenharia e Gestão de Manufatura e Manutenção) Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2014. Disponível em: https://brasscom.org.br/wp-content/uploads/2017/08/estudos-associados_impressora_usp.pdf. Acesso em: 2 fev. 2025.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. de A. F. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-14282002000100006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/YNNvN9nLDV8rS5ffJp9rF4Q/. Acesso em: 21 fev. 2025.

LOPES, J. **Como funciona uma máquina injetora de plástico?** Automata do Brasil, 2020. Disponível em: https://www.automataweb.com.br/como-funciona-uma-maquina-injetora-de-plastico/. Acesso em: 12 fev. 2025.

MARTINS, G. R.; RODRIGUES, E. J. da R.; TAVARES, M. I. B. Revisão da literatura sobre os eventos de degradação e adsorção em microplásticos primários e secundários. **Conjecturas**, v. 23, n. 1, p. 368-390, 2023. DOI: 10.53660/CONJ-1923-2Q10A. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368843600_Revisao_da_literatura_sobre_os_eventos_de_degradacao_e_adsorcao_em_microplasticos_primarios_e_secundarios_Literature_review_on_degradation_and_adsorption_events_in_primary_and_secondary_microplastics. Acesso em: 22 jan. 2025.

MAURO, C.; BORBA, C. A influência da sustentabilidade no processo de design de produto. *In*: **Anais do Ensus 2008**, Florianópolis, UFSC, 2008. DOI: https://doi.org/10.29183/2596-237x. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/221945. Acesso em: 17 jan. 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente; MEC – Ministério da Educação; IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. BRASIL. **Consumo sustentável**: manual de educação. Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC, 2005. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

OLIVEIRA, O. J. de; SERRA, J. R. Benefícios e dificuldades da gestão ambiental com base na ISO 14001 em empresas industriais de São Paulo. **Production**, v. 20, n. 3, p. 429–438, 26 mar. 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-65132010005000013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/prod/a/ysMnqSGcRTQFdkPHcLr7byL. Acesso em: 30 jan. 2025.

TELES, J. J. da S. **Sustentabilidade e economia circular**: o desafio do plástico. 2020, 123 f. Dissertação (Mestrado em Administração Público-Privada) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020. Disponível em: http://hdl.handle.net/10316/92729. Acesso em: 9 jan. 2025.

VASSALLO, C.; ROCHMAN, A.; REFALO, P. The impact of polymer selection and recycling on the sustainability of injection moulded parts. *In*: **Proceedings of 27th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference**, v. 90 (4), p. 504-509, 2020. DOI: 10.1016/j.procir.2020.01.118. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343488524_The_impact_of_polymer_selection_and_recycling_on_the_sustainability_of_injection_moulded_parts. Acesso em: 8 jan. 2025.

YUSOFF, A. I. M.; TURAN, F. M.; ADANAN, N. Q. A. Optimising plastic injection moulding: integrating sustainability and process parameters. **Research Square**, 26 ago. 2024. DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4820100/v1. Disponível em: https://www.researchsquare.com/article/rs-4820100/v1. Acesso em: 10 fev. 2025.