

Análise patentária do desenvolvimento de tecnologia biodegradável com o uso de inteligência artificial

RESUMO

Patricia Vieira dos Santos
patriciavieira@academico.ufs.br
Orcid: [0009-0005-9614-3499](https://orcid.org/0009-0005-9614-3499)
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Verônica Ferreira Alencar
veronicaalencar@academico.ufs.br
Orcid: [0009-0005-3817-1555](https://orcid.org/0009-0005-3817-1555)
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Cristiane Toniolo Dias
cristianetdias@utfpr.edu.br
Orcid: [0000-0002-7204-8930](https://orcid.org/0000-0002-7204-8930)
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil.

A tecnologia biodegradável refere-se ao desenvolvimento e ao uso de materiais que podem se decompor naturalmente no meio ambiente, minimizando impactos negativos e contribuindo para a sustentabilidade. A tecnologia que utiliza inteligência artificial (IA) tem se expandido rapidamente em diversas áreas, promovendo inovações que permitem otimizar processos, melhorar a eficiência e transformar o modo como interagimos com o mundo. O objetivo deste estudo é analisar o desenvolvimento de tecnologias biodegradáveis otimizadas pelo uso de inteligência artificial, com foco em embalagens sustentáveis. A metodologia adotada foi uma análise quantitativa de patentes registradas entre 2016 e 2023, coletadas na base de dados Patentscope (WIPO), com foco nas classificações relacionadas à IA e materiais biodegradáveis. Os resultados destacam a liderança da China no número de patentes, seguida pelos Estados Unidos, além de ressaltar as categorias de patentes voltadas para tecnologias da informação e recipientes de armazenamento. O estudo indica que a combinação de IA e sustentabilidade tem um grande potencial para impulsionar inovações em materiais biodegradáveis e na gestão de resíduos, promovendo uma economia mais circular e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: aprendizado de máquina, economia circular, patentes verdes, gestão de resíduo, inovação.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a questão do impacto ambiental gerado pelo uso excessivo de plásticos convencionais tem se tornado um problema de grande escala. Plásticos são materiais extremamente duráveis, mas sua resistência à degradação apresenta uma dualidade problemática, resultando em acúmulo ambiental a longo prazo. Esse cenário tem levado à busca urgente por alternativas sustentáveis que possam substituir os plásticos tradicionais, minimizando os danos ao meio ambiente e contribuindo para um futuro mais sustentável (Sette *et al.*, 2024).

Dentre essas alternativas, os materiais biodegradáveis surgem como uma solução promissora. Esses materiais, que incluem tanto polímeros naturais quanto sintéticos, são projetados para se decompor mais facilmente na natureza, reduzindo o tempo de permanência e os danos associados ao descarte inadequado. A adoção de materiais biodegradáveis, como o ácido polilático (PLA) e o poli-hidroxibutirato (PHB), representa um passo importante na direção de uma economia mais circular e menos dependente de recursos fósseis (Araújo *et al.*, 2021).

A revolução tecnológica liderada pela inteligência artificial (IA) também tem desempenhado um papel importante na aceleração da pesquisa e do desenvolvimento de novos materiais sustentáveis. Com a capacidade de processar grandes volumes de dados e realizar simulações complexas, a IA permite a otimização de compostos e o desenvolvimento de novos materiais com propriedades específicas. Em particular, a IA tem sido utilizada para melhorar a biodegradabilidade e a resistência dos materiais, além de prever o comportamento desses materiais em diferentes condições de uso (Schleder; Fazzio, 2021).

A interseção entre tecnologia, sustentabilidade e inovação é essencial na pesquisa de novos materiais. A implementação de soluções tecnológicas desenvolvidas com o auxílio da IA pode acelerar a transição para práticas mais sustentáveis, atendendo à crescente demanda por alternativas ao plástico convencional (Provinsi *et al.*, 2024).

As embalagens sustentáveis desempenham um papel central na mitigação dos impactos ambientais, focando-se em minimizar o uso de materiais não biodegradáveis, otimizar o design para eficiência e reduzir o consumo de energia ao longo do ciclo de vida dos produtos. A transição para alternativas mais ecológicas, como plásticos biodegradáveis e materiais compostáveis, reflete uma mudança de paradigma na indústria, que busca alinhar-se com as exigências dos consumidores e com as iniciativas de responsabilidade social corporativa (Gomes *et al.*, 2023).

As embalagens sustentáveis são definidas por sua capacidade de serem eficazes, eficientes, cíclicas e limpas, promovendo a redução de resíduos, o reaproveitamento de materiais e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, elas devem cumprir funções essenciais, como proteção do produto e comunicação clara de suas características, enquanto utilizam recursos de forma sustentável e são projetadas para reintegração em ciclos industriais ou biológicos (Abejón *et al.*, 2020).

A gestão eficaz de resíduos é essencial para fechar o ciclo da sustentabilidade, especialmente em um modelo de economia circular na qual os materiais são continuamente reutilizados e reciclados. A adoção de princípios como a

responsabilidade estendida do produtor destaca a importância de garantir que os materiais de embalagem possam ser reincorporados ao ciclo de produção, alinhando-se com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 12 da ONU, que promove padrões sustentáveis de consumo e produção (Ncube *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, o impacto ambiental dos plásticos convencionais tem gerado uma grande preocupação devido ao seu acúmulo duradouro no meio ambiente. Como resposta, há uma busca por alternativas sustentáveis, destacando-se os materiais biodegradáveis, como o ácido polilático (PLA) e o poli-hidroxitirato (PHB), que se decompõem mais rapidamente e reduzem os danos ambientais. A inteligência artificial tem acelerado o desenvolvimento desses materiais, otimizando suas propriedades e previsões de comportamento.

Frente a isso, a combinação de tecnologia e sustentabilidade é essencial para avançar no desenvolvimento de soluções inovadoras com relação às embalagens sustentáveis e à gestão de resíduos, e por meio de esforços colaborativos e inovações tecnológicas será possível redesenhar o futuro das embalagens, não apenas para proteger os produtos, mas também para assegurar a preservação ambiental, contribuindo para um planeta mais sustentável (Turkcu, Tura, 2023).

A Inteligência Artificial tem revolucionado a forma como os materiais são desenvolvidos e aprimorados, especialmente no contexto da sustentabilidade. A IA, combinada com técnicas de aprendizado de máquina, permite a análise de grandes volumes de dados experimentais e teóricos para descobrir novos materiais com propriedades otimizadas. Essa abordagem é particularmente significativa no desenvolvimento de materiais sustentáveis, principalmente os utilizados em embalagens biodegradáveis ou recicláveis (Di Vaio *et al.*, 2020).

Diante disso, o aprendizado de máquina oferece poderosas ferramentas para a descoberta e o design de novos materiais, possibilitando a criação de materiais com propriedades específicas que atendam às necessidades de sustentabilidade. A disponibilidade crescente de dados e o avanço nas técnicas computacionais têm permitido que essas metodologias extraiam conhecimento de forma mais eficiente, transformando o desenvolvimento de materiais em um processo orientado por dados, o que favorece a inovação em sustentabilidade (Gao; Feng, 2023).

Além disso, a IA também pode ser usada para prever as propriedades de novos materiais a partir de suas composições químicas, sem a necessidade de testes experimentais extensivos. Isso não só acelera o processo de desenvolvimento de novos materiais, como também reduz o consumo de recursos naturais e energia, além de facilitar o design de materiais que são mais facilmente recicláveis ou que têm menor impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida (Gao; Feng, 2023).

A gestão de resíduos é fundamental na criação de materiais sustentáveis, e a Inteligência Artificial desempenha um papel fundamental ao otimizar o ciclo de vida desses materiais. A IA facilita o desenvolvimento de soluções alinhadas à economia circular, permitindo o design de materiais que sejam facilmente recicláveis ou biodegradáveis. Além disso, técnicas de machine learning possibilitam o monitoramento preciso dos fluxos de resíduos e a simulação de cenários de descarte, assegurando que os novos materiais minimizem o impacto ambiental desde a produção até o descarte final (Sette *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, este estudo se propõe a analisar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras de materiais biodegradáveis, otimizados por inteligência artificial, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental. A intersecção entre tecnologia, sustentabilidade e inovação é central para esta pesquisa, que busca contribuir com a transição para práticas mais sustentáveis e responder à demanda crescente por alternativas aos plásticos convencionais.

METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma abordagem quantitativa para analisar patentes relacionadas a embalagens biodegradáveis ou recicláveis e inteligência artificial. Os dados foram coletados na base de dados da Patentscope (WIPO), utilizando os termos "*material biodegradable or recycled packaging*" e "*artificial intelligence*". Foram identificadas patentes depositadas entre 2016 e 2023, com destaque para a China, que lidera em número de depósitos. As patentes foram categorizadas de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC), com ênfase nas classificações G06Q e B65D, e analisadas em termos de distribuição temporal e principais desenvolvedores.

RESULTADOS

Conforme os resultados obtidos, as patentes relacionadas a embalagens biodegradáveis ou recicladas e inteligência artificial destacam a liderança da China com 55 patentes, seguida por Estados Unidos, Canadá, Índia, Itália, Japão, Coreia e Nova Zelândia, cada um com uma patente. Entre os principais desenvolvedores estão a Paipaikan (Hainan) Artificial Intelligence Co Ltd, com 15 Patentes, e a Kepler Computing Inc com 4 patentes. O inventor mais proeminente é Chen Mingfa, com 18 tecnologias patenteadas. As principais classificações de patentes incluem a G06Q, com 18 depósitos em tecnologias da informação para fins administrativos, e a B65D, com 15 depósitos em recipientes para armazenamento.

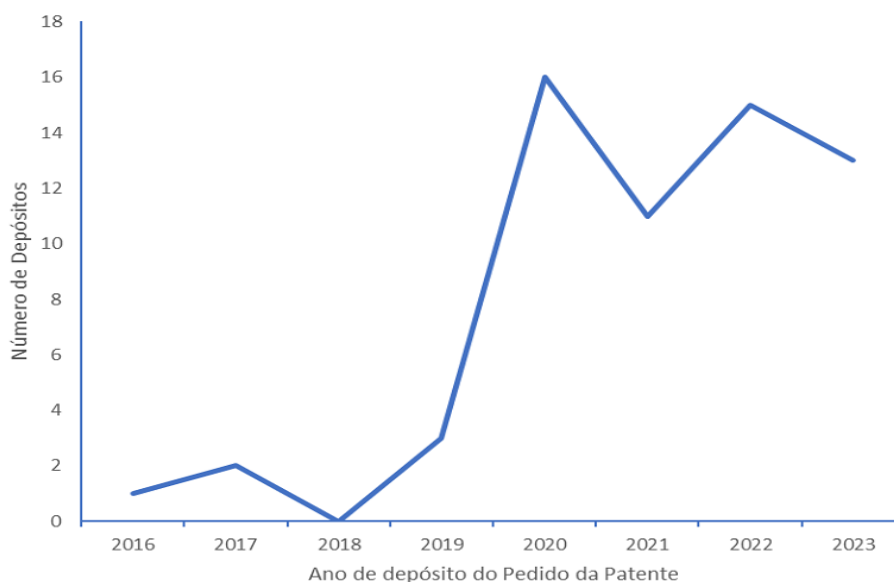
Quadro 1 – Principais países depositantes

Países	Nº de depósitos
China	55
Estados Unidos	5
Canadá	1
Índia	1
Itália	1
Japão	1
Coreia	1
Nova Zelândia	1

Fonte: Autoria própria baseado no Patentscope (2024).

O histórico de depósitos indica um crescimento significativo nos últimos anos, com picos em 2020 e 2022, e já existem quatro novos depósitos previstos para 2024. A primeira patente que combinou inteligência artificial com embalagens biodegradáveis foi registrada em 2009, utilizando algas para criar essas embalagens.

Figura 1 – Ano de depósito do Pedido da Patente



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Desde 2020, o número de patentes aumentou de forma expressiva, refletindo o impacto crescente da inteligência artificial no setor. No entanto, é importante destacar que, apesar desse aumento, a maioria das patentes focou na biodegradabilidade em geral, e não especificamente em embalagens. Essa tendência sugere que o avanço da inteligência artificial está desempenhando um papel fundamental na inovação em materiais sustentáveis, acompanhando o movimento global por soluções ambientalmente responsáveis.

Tabela 2 – Classificações de Patentes

Classificação	Nº de depósitos	Significado
G06Q	18	Tecnologia da Informação adaptadas para fins administrativos
B65D	15	Recipientes para armazenamento
G06K	13	Reconhecimento ou compreensão de imagem ou vídeo
G06F	10	Sistemas de computadores baseados em modelos computacionais específicos

Fonte: Autoria própria baseado no Patentscope (2024).

As principais classificações de patentes observadas no estudo incluem a G06Q, com 18 depósitos, e a B65D, com 15 depósitos. A classificação G06Q abrange tecnologias da informação para fins administrativos, o que sugere que a aplicação de inteligência artificial no gerenciamento e na otimização de processos relacionados a embalagens sustentáveis é um foco importante. Isso pode incluir o uso de IA para melhorar a logística, otimizar o design das embalagens ou gerenciar o ciclo de vida dos produtos. Já a classificação B65D, que se refere a recipientes para armazenamento, indica inovações no design e na funcionalidade de embalagens físicas. Essas inovações podem envolver melhorias em materiais biodegradáveis, novos formatos de recipientes que promovem a sustentabilidade ou a integração de tecnologias avançadas, como sensores que monitoram a condição dos produtos armazenados. A presença significativa de patentes nessas classificações reflete o crescente interesse em combinar avanços em inteligência artificial com o desenvolvimento de embalagens mais eficientes, inteligentes e ambientalmente amigáveis.

CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma análise detalhada do desenvolvimento de tecnologias biodegradáveis associadas à inteligência artificial, destacando o crescente número de patentes depositadas nos últimos anos. A China emergiu como o principal ator nesse campo, liderando em inovação com um número significativo de depósitos, o que demonstra seu papel estratégico na indústria de embalagens sustentáveis. As classificações de patentes predominantes, como G06Q e B65D, indicam tendências importantes, com foco no uso de tecnologias da informação para otimização de processos administrativos e no desenvolvimento de recipientes de armazenamento mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

O crescimento expressivo no número de patentes desde 2020 evidencia o impacto crescente da inteligência artificial na inovação de materiais sustentáveis. No entanto, foi observado que a maioria das patentes se concentra na biodegradabilidade em geral, em vez de se focar especificamente em embalagens, o que aponta para uma oportunidade de direcionar esforços futuros nesta área específica.

Com a análise foi possível constatar o potencial transformador da inteligência artificial no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, sugerindo que a combinação dessas áreas pode catalisar avanços significativos em eficiência, desempenho e impacto ambiental. Este estudo contribui para o entendimento das principais tendências e atores no campo das embalagens sustentáveis e fornece uma base sólida para futuras pesquisas, além de orientar o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias que promovam a inovação sustentável.

Patent analysis of the development of biodegradable technology using artificial intelligence

ABSTRACT

Biodegradable technology refers to the development and use of materials that can decompose naturally in the environment, minimizing negative impacts and contributing to sustainability. Technology that uses artificial intelligence (AI) has expanded rapidly in several areas, promoting innovations that allow us to optimize processes, improve efficiency and transform the way we interact with the world. The objective of this study is to analyze the development of biodegradable technologies optimized through the use of artificial intelligence, with a focus on sustainable packaging. The methodology adopted was a quantitative analysis of patents registered between 2016 and 2023, collected in the Patentscope (WIPO) database, focusing on classifications related to AI and biodegradable materials. The results highlight China's leadership in the number of patents, followed by the United States, in addition to highlighting the categories of patents focused on information technologies and storage containers. The study indicates that the combination of AI and sustainability has great potential to drive innovations in biodegradable materials and waste management, promoting a more circular and sustainable economy.

KEYWORDS: machine learning. circular economy. green patents. waste management. innovation

REFERÊNCIAS

BABEJÓN, R. *et al.* **“Environmental impact assessment of the implementation of a deposit-refund system for packaging waste in Spain: a solution or an additional problem?”** *Science of the Total Environment*, v. 721, p. 137744, 2020. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>. Acesso em: 13 set. 2024.

ARAÚJO, Bruna Aline; FREITAS, Lucas Silva de; SARMENTO, Kênia Kelly Freitas; BEZERRA, Vanessa Rosales; LIMA, Carlos Antônio Pereira de; MEDEIROS, Keila Machado de. **“A aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável”**, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e49010918248, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.182481>. Acesso em: 19 ago. 2024.

Deniz Turkcu, Nina Tura, **“The dark side of sustainable packaging: Battling with sustainability tensions”**. *Sustainable Production and Consumption*, Volume 40, 2023, Pages 412-421, ISSN 2352-5509. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.007>.

DI VAIO, Assunta; PALLADINO, Rosa; HASSAN, Rohail; ESCOBAR, Octavio. **“Artificial intelligence and business models in the sustainable development goals perspective: A systematic literature review”**. *Journal of Business Research*, v. 121, p. 283-314, 2020. ISSN 0148-2963. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.019>. Acesso em: 11 set. 2024.

GAO, Xueyuan; FENG, Hua. **“AI-driven productivity gains: artificial intelligence and firm productivity”**. *Sustainability*, v. 15, n. 11, p. 8934, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15118934>. Acesso em: 13 set. 2024.

GOMES, H. O. .; CAMARGO, M. E. .; SAMPAIO, G. M. S.; NETO, A. T. M. .; LESSA, D. de S.; LIMA, R. O. de O. .; BIEGELMEYER, U. H. . **“Prospecção de tecnologias sustentáveis: um olhar sobre as patentes”**. *Peer Review*, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 165–180, 2023. DOI: 10.53660/343.prw808b. Disponível em: <https://peerw.org/index.php/journals/article/view/343>. Acesso em: 1 fev. 2024.

SETTE, S. dos S. K.; SILVA, L. L.; FIORI, M. A.; DALCANTON, F.; DE MELLO, J. M. M.; BAUERMAN, N. **“Benefícios da produção e utilização de polímeros biodegradáveis em relação ao polímero convencionais: uma revisão de literatura”**. *Revista Delos*, v. 17, n. 51, p. 325–342, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n51-019>.

SCHLEDER, Gabriel R.; FAZZIO, Adalberto. *Machine Learning na Física, Química, e Ciência de Materiais: descoberta e design de materiais. “Machine Learning in Physics, Chemistry, and Materials Science: materials discovery and design”*.

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, supl. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0407>. Acesso em: 18 ago. 2024.

Ncube, L.K.; Ude, A.U.; Ogunmuyiwa, E.N.; Zulkifli, R.; Beas, I.N. “**An Overview of Plastic Waste Generation and Management in Food Packaging Industries**”. Recycling 2021, 6, 12. <https://doi.org/10.3390/recycling6010012>

PROVENSÍ, Tais; MARCON, Maiara Lais; SCHMIDT, Jefferson Leandro; RODRIGUES, Christiane de Oliveira; SEHNEM, Simone. “**Sustentabilidade e inovação na indústria pet: uma análise sob a perspectiva da Teoria da Modernização Ecológica**”. Revista de Administração de Empresas, v. 64, n. 1, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020240301>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Recebido: 2025-12_15.

Aprovado: 2025_09_25.

DOI: 103895/recit. V16n41.20843

Como citar: DOS SANTOS, P., V., ALENCAR, V., F.; DIAS, C. T. Análise patentária do desenvolvimento de tecnologia biodegradável com o uso de inteligência artificial R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol. Medianeira, v. 16. n. 41, p. 33-42, set/dez, 2025 Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Patricia Vieira dos Santos Correio

Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe. Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0 Internacional.

