



PLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS E A REDUÇÃO DE IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

BIODEGRADABLE PLASTICS AND THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS: LITERATURE REVIEW

Lucas Perdigão Soares¹, Cristian Kelly Moraes de Lima^{1}*

¹Departamento de Engenharia e Tecnologia, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Av. Francisco Mota, 572, Costa e Silva, 59625-900 – Mossoró/RN, Brasil.

[*cristiankelly@ufersa.edu.br](mailto:cristiankelly@ufersa.edu.br)

RESUMO

O presente estudo teórico, fundamentado em pesquisa bibliográfica, teve como objetivo explorar o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis e sua relação com a redução de impactos ambientais. A pesquisa foi realizada em plataformas como SCIELO, ScienceDirect, REDALYC, MDPI, BASE, Google Scholar, periódicos CAPES e PUBmed, utilizando descritores em português e inglês relacionados a "Sacolas plásticas", "Biodegradável" e "Impacto ambiental". Foram incluídos artigos completos e publicados entre 2018 e 2023, excluindo-se duplicatas, resumos, monografias, dissertações e teses. De acordo com a pesquisa foi possível concluir que há uma tendência crescente no desenvolvimento de plásticos e filmes biodegradáveis como alternativa para amenizar os impactos ambientais associados ao uso de plásticos convencionais, em especial as embalagens e sacolas plásticas.

Palavras-chave: biodegradação, microplásticos, compósitos, meio ambiente.

ABSTRACT

The present theoretical study, based on bibliographic research, aimed to explore the development of biodegradable plastics and their relationship with the reduction of environmental impacts. The research was carried out on platforms such as SCIELO, ScienceDirect, REDALYC, MDPI, BASE, Google Scholar, CAPES and PUBmed journals, using descriptors in Portuguese and English related to "Plastic bags", "Biodegradable" and "Environmental impact". Complete articles published between 2018 and 2023 were included, excluding duplicates, abstracts, monographs, dissertations and theses. According to the research, it was possible to conclude that there is a growing trend in the development of biodegradable plastics and films as an

alternative to mitigate the environmental impacts associated with the use of conventional plastics, especially plastic packaging and bags.

Keywords: biodegradation, microplastics, composites, environment.

1. INTRODUÇÃO

Os plásticos oferecem uma variedade de características, trazendo tanto benefícios quanto desafios. Destacam-se por sua resistência, durabilidade e versatilidade, permitindo que sejam fabricados em diversas densidades. No entanto, essa mesma durabilidade se torna um problema ambiental, quando consideramos o impacto causado pela crescente acumulação de plásticos sintéticos, difíceis de serem degradados, agravada pelas práticas insustentáveis de uso e descarte (1).

Estudos apontam que, dentre os plásticos mais encontrados no ambiente, estão os polímeros termoplásticos tais como o polipropileno (PP), polietileno (PE) - (PEBD - polietileno de baixa densidade ou PEAD - polietileno de alta densidade), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), politereftalato de etileno (PET), poliamida (PA). Os polímeros termoplásticos apresentam características como baixo custo, requisitos mecânicos moderados e facilidade de processamento (2-4).

O acúmulo de plásticos no ambiente traz efeitos negativos. Esse problema é evidenciado pelo acúmulo de resíduos plásticos nos oceanos, formando os microplásticos (MPs) e causando impactos significativos nos ecossistemas e na biodiversidade. Diante desses impactos ambientais causados pelos plásticos não biodegradáveis, tem ocorrido um movimento em direção a abordagens mais sustentáveis e ecologicamente correta (5).

Yang *et al.* (6) através de técnicas de imagens investigaram a presença de microplásticos no coração humano e nos tecidos circundantes. Estes autores detectaram nove tipos de MPs em amostras de sangue e também em cinco diferentes tecidos. Ragusa *et al.* (7) investigaram a presença de microplásticos (MPs) em leite materno. A contaminação por MPs foi encontrada em 26 das 34 amostras analisadas e foi observado que os MPs mais abundantes são compostos por polietileno (PE), policloreto de vinila (PVC) e polipropileno (PP), com tamanhos variando de 2 a 12 μm .

Portanto, diante dos problemas ambientais provocados pelo acúmulo de plásticos convencionais no ambiente, é importante o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis, para diminuir os impactos ambientais.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho ocorreu através de uma revisão bibliográfica a respeito dos polímeros biodegradáveis.

Os artigos foram pesquisados nas seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SCIELO), ScienceDirect, Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal (REDALYC), Multidisciplinar Digital Publishing Institute (MDPI), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), google scholar, periódicos CAPES e PUBmed.

Os seguintes descritores foram utilizados “Sacolas plásticas”, “Biodegradável”, “Impacto ambiental” e em inglês “Plastic bags”, “Biodegradable” e “Environmental impact”, combinadas entre si. Foram incluídos artigos de acesso gratuito e completo, publicados na língua inglesa, portuguesa e espanhola, com período de publicação entre os anos de 2018 e 2023. Foram excluídos artigos duplicados, resumos, monografias dissertações e teses.

2.1. Critérios e procedimentos de seleção

A seleção dos artigos científicos foi conduzida em quatro etapas, descritas a seguir. A primeira etapa envolveu uma pesquisa que consistiu em uma busca individual e combinada dos descritores mencionados anteriormente, permitindo a identificação de trabalhos relacionados ao tema de pesquisa.

Na segunda etapa, foram aplicados filtros (disponibilidade de texto completo gratuito; idiomas inglês, português e espanhol; data de publicação). Os artigos resultantes foram organizados em sequência em um documento de texto no *software Excel* versão 2010 do pacote *Office da Microsoft*. As duplicatas foram registradas apenas uma vez. Nesta fase, os títulos e descritores foram lidos para verificar se os artigos eram pertinentes à questão de pesquisa.

Na terceira etapa, com base nos artigos já selecionados nas etapas anteriores, os mesmos foram revisados, ocorrendo a leitura do resumo, introdução e a conclusão de cada artigo para avaliar sua relevância para a pesquisa e verificar se atendiam aos critérios de inclusão ou exclusão.

Na quarta etapa, os artigos pré-selecionados foram lidos, com mais precisão, determinando-se sua relevância para a pesquisa e confirmando o cumprimento dos critérios de inclusão ou exclusão. Nesta última fase, foram extraídos os dados relevantes para posterior análise.

3. POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

Segundo Filiciotto e Rothenberg (8), a decomposição de plásticos biodegradáveis é causada por micro organismos, como bactérias e enzimas fúngicas, podendo ter interferências de fatores como umidade, temperatura e outras condições ambientais. Em condições ideais, esses plásticos podem se decompor por organismos aeróbicos e anaeróbicos, resultando em CO₂, metano, água e biomassa compostável. É fundamental que a matéria orgânica formada durante a decomposição dos plásticos seja segura para animais e plantas, a fim de que o material seja considerado compostável.

O conceito de “bioplásticos” (plásticos biológicos) refere-se à origem dos materiais utilizados na produção do plástico, podendo ser produzidos a partir de uma variedade de matérias-primas naturais (9). Produtos lácteos (proteína de soro de leite), polissacarídeos (celulose, amido, pectina, quitina), produtos de fermentação (polihidroxibutirato e polihidroxivalerato), proteínas (glúten, caseína, gelatina), lipídios (animal e óleos vegetais) e substâncias produzidas por alguns microrganismos (microalgas), todos esses materiais podem ser utilizados para a fabricação de bioplásticos (9-12).

Os termos “base biológica”, “degradável” e “biodegradável” muitas vezes são mal interpretados. Polímeros de base biológica são derivados de matérias-primas renováveis de biomassa, independente da sua capacidade de biodegradação. Já os polímeros degradáveis (oxidegradáveis) contêm aditivos que se decompõem quando acionados pela compostagem, se fragmentam em micropartículas que podem levar centenas de anos para se decompor completamente; já os plásticos biodegradáveis, se decompõe em matéria orgânica e em geral são decompostos por microrganismos (1, 3, 11).

Independentemente da fonte da matéria-prima, os polímeros biodegradáveis passam por processos de degradação que resultam em água, dióxido de carbono e matéria orgânica, através da ação de microrganismos como bactérias, fungos ou algas. O processo de biodegradação de polímeros envolve três etapas distintas: (a) a fixação de microrganismos na superfície do polímero, (b) a utilização do polímero como fonte de carbono e (c) a degradação propriamente dita do polímero (3).

3.1. Panorama das pesquisas selecionadas

D'angelo *et al.* (13) produziram filmes compósitos a base de quitosana (pó) utilizando como reforço a palha de arroz e fios de quitina, comparando o desempenho mecânico destes materiais com sacolas de polietileno (PE) convencionais. Os resultados destacaram que a quitosana pura poderia suportar tensões mecânicas, mas não era suficientemente dúctil para o uso proposto (sacolas de compras). A adição de palha de arroz melhorou a resistência e módulo da quitosana pura, especialmente para dosagens maiores de palha de arroz. Os autores destacam a necessidade de mais estudos para otimizar a formulação. Segundo estes autores, a quitosana é um material não tóxico, degradável e biocompatível, características importantes para a produção de sacolas de compras.

Sariadi; Harunsyah; Raudah (14) desenvolveram um plástico biodegradável utilizando fécula de mandioca e nanopartículas de ZnO/argila como reforço. O objetivo é melhorar as propriedades mecânicas destes plásticos biodegradáveis, e com a possibilidade de substituição aos plásticos convencionais, como o polietileno (PE) e o polipropileno (PP). Os filmes plásticos foram produzidos variando a concentração de nanopartículas de ZnO/argila em diferentes proporções. Os resultados mostraram que a adição de nanopartículas de ZnO/argila melhorou a resistência à tração dos filmes plásticos biodegradáveis, sendo os mesmos transparentes e claros, tornando-os uma alternativa viável para embalagens de alimentos.

Furtado *et al.* (15) produziram compósitos utilizando uma matriz de polietileno de alta densidade (PEAD) e como fase dispersa fibras do caule da palmeira babaçu (*Attalea speciosa*) nas proporções de 5, 10 e 20 %. A fibra foi quimicamente tratada com NaOH (10%), permitindo uma boa distribuição e aderência na matriz polimérica. As amostras de compósitos foram submetidas a testes de degradação por radiação ultravioleta. Para comparação, uma amostra de sacola plástica oxi-biodegradável foi avaliada nas mesmas condições. Os compósitos apresentaram degradação crescente com o tempo de exposição a radiação. Os autores concluíram que a incorporação da fibra de babaçu em uma matriz de PEAD, mostrou-se promissora na produção de compósitos poliméricos, reduzindo assim, a quantidade de polímero sintético.

Javaid *et al.* (16) obtiveram o poli (hidroxialcanoato) (PHA). Estes autores coletaram amostras de solos e de efluentes de várias áreas, possibilitando o isolamento de bactérias produtoras de (PHAs), com destaque para a bactéria (*Stenotrophomonas maltophilia* HA-16). As fontes de carbono utilizadas para a produção de PHA foram: lascas de madeira não degradadas, papelão, garrafas plásticas trituradas, copos de poliestireno e sacolas plásticas usadas. Durante o processo de fermentação, parâmetros como tempo de incubação, pH, temperatura e fontes de carbono, foram analisados. As sacolas plásticas foram apontadas como as melhores fontes de carbono, produzindo um teor de PHA de (68,24 ± 0,27%). Contudo, são necessários estudos mais abrangentes a respeito dessa única cepa, para uso industrial benéfico dessa bactéria, visando tornar um ciclo, onde a sacola plástica possa ser reciclada como fonte de alimento da bactéria e produzindo o PHA.

Godinho *et al.* (17) produziram um plástico de origem natural usando cascas de cenoura incorporadas a uma matriz de poli (ácido láctico) (PLA), utilizando a metodologia *casting*. O PLA é considerado um polímero biodegradável, porém o mesmo apresenta fragilidade mecânica. As amostras foram caracterizadas morfológicamente, mecanicamente e submetidas ao teste de degradação em diferentes meios (ácido, básico, água e solo adubado). O teste de degradação dos filmes obtidos, em solo, mostrou que houve perda de massa considerável. Estes autores concluíram que se o interesse consiste na rápida degradação do filme obtido, à amostra PLA-15 (15 % de casca de cenoura na formulação) seria a composição mais adequada. Caso o objetivo seja um filme que se mantenham mais estável por três meses, à amostra mais adequada é a que contem o PLA puro.

Santos *et al.* (18) utilizaram o resíduo de soja como carga em polietileno de baixa densidade (PEBD). O resíduo de soja foi caracterizado quimicamente para determinar o teor de extrativos, lignina, cinzas e hemicelulose, sendo o mesmo incorporado nas composições de: 05, 10, 15 e 20 %, em relação à massa total de PEBD. Os corpos de provas obtidos foram submetidos a ensaios físico-mecânicos. Os resultados indicaram que: a) a substituição parcial do PEBD pelo resíduo de soja gerou um aumento no alongamento do polímero; b) o acréscimo do teor de resíduo de soja resultou no aumento na umidade e absorção de água, devido à natureza higroscópica dos materiais lignocelulósicos. Estes autores observaram que a falta de agentes compatibilizantes pode ter afetado a adesão entre o PEBD e o resíduo de soja. Apesar disso, a resistência à tração não foi afetada pelo acréscimo de soja nas

diferentes concentrações estabelecidas. Estes autores concluíram que é possível obter um material mais sustentável utilizando o resíduo de soja, ao mesmo tempo, dando uma destinação a este resíduo do agronegócio.

Bezerra e Andrade (19) produziram bioplásticos a partir de cascas de bananas, sem e com adição de cascas de ovos de galinha para estudo comparativo. Para obtenção do bioplástico, foram utilizados amido de milho, pasta da casca de banana, HCL (0,1M), glicerina, água destilada e NaOH (0,1M). Para o outro bioplástico, foi acrescentada a farinha de casca de ovo na solução filmogênica. Quanto aos resultados, os autores verificaram que o filme obtido apenas com a casca de banana apresentou menor espessura e teor de umidade. Quanto a degradação, os testes foram realizados utilizando o solo do tipo terra vegetal adubada (usado para compostagem em jardins), em um intervalo de 24 dias. Os biomateriais submetidos apresentaram valores de degradação próximos. Estes autores concluíram ser viável a produção de filmes biodegradáveis e 100 % naturais.

Yao, Seong e Jang (20), mostraram em sua pesquisa, que a decomposição do polietileno pode ser realizada através de bactérias simbióticas presentes no intestino de alguns invertebrados. Estes autores informam que as bactérias são as principais protagonistas no papel de decompositores, liberando carbono e nutrientes no ambiente. Constatam que as espécies bacterianas, como *Bacillus*, *Lysinibacillus* e *Marinobacter*, têm demonstrado alto potencial na degradação do polietileno.

Abdullah *et al.* (21) investigaram a biodegradação por fungos, isolando e identificando as espécies: *Aspergillus Niger*, *Aspergillus flavus*, podridão branca e podridão parda. Pedacos de PEBD (2x2) cm foram tratados com isolados fúngicos durante um mês em sistema de cultura líquida. O percentual de perda de peso foi estimado em 22,9%, 16,1%, 18,4% e 22,7% para *Aspergillus Niger*, *Aspergillus flavus*, podridão parda e podridão branca, respectivamente. A perda de peso foi confirmada por análise da transformada de Fourier. Concluiu-se do estudo que as espécies de fungos desempenharam um papel significativo na degradação de plástico sintético.

Arjun *et al.* (22) produziram um plástico biodegradável a partir de cascas de banana (amido) como alternativa aos plásticos comerciais. Testes de resistência e degradação no solo foram realizados com o plástico natural e o plástico sintético. Os resultados mostraram que o plástico proveniente de casca de banana se degradou rapidamente no solo, reduzindo o peso significativamente em 6 dias e com

expectativa de 100 % de degradação em 60 dias. Estes autores concluíram que o plástico a partir de cascas de banana não obteve todas as propriedades dos plásticos comerciais. Porém, melhorias podem ser realizadas, de forma que o mesmo possa contribuir para a redução do impacto ambiental. O bioplástico obtido pode ser utilizado para aplicações como embalagem e confecção de sacolas de transporte.

4. CONCLUSÃO

Com base na revisão bibliográfica realizada, foi possível constatar que os principais tipos de plásticos biodegradáveis utilizados são: poli (ácido láctico) (PLA), poli (butileno succinato) (PBS), poli (butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), policaprolactona (PCL) e poli (hidroxialcanoato) (PHA).

Quanto as principais matérias-primas alternativas utilizadas para a produção de plásticos biodegradáveis, destacam-se: quitosana, palha de arroz; amidos (milho e mandioca); palmeira de babaçu (*Attalea speciosa*); cascas de cenouras; cascas de bananas; cascas de ovos de galinhas; resíduo de soja; materiais lignocelulosicos. Foi possível verificar também que algumas bactérias, fungos e algas podem atuar como agentes degradantes de plásticos.

Portanto, conclui-se que há vários trabalhos relacionados a esse tema, os quais sugerem a substituição de plásticos convencionais por plásticos biodegradáveis, principalmente aqueles obtidos a partir de matérias-primas naturais. Estas mudanças objetivam reduzir o impacto ambiental causado pelo uso dos plásticos de origem fóssil e, também, diminuir a dependência do petróleo.

É importante reconhecer que além do desenvolvimento dos plásticos biodegradáveis, é necessário que haja um consumo consciente, responsável, reduzindo o uso de plásticos descartáveis e estimulando as práticas de reciclagem, sendo estas medidas importantes para a preservação do meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PRATA, J. C.; SILVA, A. L. P.; DA COSTA, J. P.; MOUNEYRAC, C.; WALKER, T. R.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T. Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution. **INT J ENVIRON RES PUBLIC HEALTH**, v. 16, n. 13, p. 2411–2411, 2019. doi.org/10.3390/ijerph16132411
2. MONTAGNER, C. C.; DIAS, M. A.; PAIVA, E. M.; & VIDAL, C. MICROPLÁSTICOS: OCORRÊNCIA AMBIENTAL E DESAFIOS ANALÍTICOS.

QUÍMICA NOVA, v. 44, n. 10, p. 1328–1352, 2021. doi.org/10.21577/0100-4042.20170791

3. ZEENAT; ELAHI, A.; BUKHARI, D. A.; SHAMIM, S.; REHMAN, A. Plastics degradation by microbes: A sustainable approach. **JOURNAL OF KING SAUD UNIVERSITY – SCIENCE**, v. 33, n. 6, p. 101538–101538, 2021. doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538

4. CALLISTER, W. D. Jr. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 9ª ed. Rio de Janeiro : LTC, 2016. ISBN: 978-1-118-32457-8.

5. OLIVEIRA, R. V.; JUNIOR, S. R. K.; GARCIA, M. C. F.; APATI, G. P.; LEITZKE, T. DA C. G.; SCHNEIDER, A. L. DOS S.; PEZZIN, A. P. T. Biocompósito biodegradável hidrofóbico a base de amido de banana verde associado à celulose bacteriana. **REVISTA MATÉRIA**, v. 27, n. 1, 2022. doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2021-49059

6. YANG, Y.; XIE, E.; DU, Z.; PENG, Z.; HAN, Z.; LI, L.; ZHAO, R.; QIN, Y.; XUE, M.; LI, F. HUA, K.; YANG, X. Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. **ENVIRON SCI. TECHNOL**, v. 57, p. 10911–10918, 2023. doi.org/10.1021/acs.est.2c07179

7. RAGUSA, A.; NOTARSTEFANO, V.; SVELATO, A.; BELLONI, A.; GIOACCHINI, G.; BLONDEEL, C.; ZUCHELLI, E.; DE LUCA, C.; D'AVINO, S.; GULOTTA, A.; CARNEVALI, O.; GIORGINI, E. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. **POLYMERS**, v. 14, n. 13, p. 2700–2700, 2022. doi.org/10.3390/polym14132700

8. FILICIOTTO, L.; ROTHENBERG, G. Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. **CHEMSUSCHEM**, v. 14, n. 1, p. 56–72, 2021. doi.org/10.1002/cssc.202002044

9. CAIXETA, D. S; MORAIS, E. B. Panorama mundial de produção de plástico e estratégias de degradação. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 19, n. 39, 2022.

10. TSANG, Y. F.; KUMAR, V.; SAMADAR, P.; YANG, Y.; LEE, J.; OK, Y. S.; SONG, H.; KIM, K. H.; KWON, E. E.; JEON, Y. J. Production of bioplastic through food waste valorization. **ENVIRONMENT INTERNATIONAL**, v. 127, p. 625–644, 2019. doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076

11. MARAVEAS, C. Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste. **POLYMERS**, v. 12, n. 5, p. 1127–1127, 2020. doi.org/10.3390/polym12051127

12. ESPOSTI, M. D.; MORSELLI, D.; FAVA, F.; BERTIN, L.; CAVANI, F.; VIAGGI, D.; FABBRI, P. The role of biotechnology in the transition from plastics to bioplastics: an opportunity to reconnect global growth with sustainability. **FEBS OPEN BIO**, v. 11, n. 4, p. 967–983, 2021. doi.org/10.1002/2211-5463.13119

13. D'ANGELO, G.; ELHUSSIENY, A.; FAISAL, M.; FAHIM, L. S.; EVERITT, N. M. Mechanical Behavior Optimization of Chitosan Extracted from Shrimp Shells as a Sustainable Material for Shopping Bags. **JOURNAL OF FUNCTIONAL BIOMATERIALS**, v. 9, n. 2, p. 37–37, 2018. doi.org/10.3390/jfb9020037

14. SARIADI; HARUNSYAH; RAUDAH. Effect of ZnO / Clay Nanoparticles Concentration Ratios to Improve the Mechanical Properties of Cassava Starch Bioplastics Film for Food Packaging Applications. **IOP CONFERENCE SERIES. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**, v. 536, n. 1, p. 012039–012039, 2019. doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012039
15. FURTADO, J. B. M.; FILHO, P. A. F.; OLIVEIRA, T. P.; CAETANO, M. R. S.; FIGUEIREDO, F. C. Compósitos de Polietileno/Celulose - Caracterização e Degradação. **REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA**, v. 12, n. 1, p. 272-285, 2020.
16. JAVAID, H.; NAWAZ, A.; RIAZ, N.; MUKHTAR, H.; IKRAM U. H.; SHAH, K. A.; KHAN, H.; NAQVI, S. M.; SHAKOOR, S.; RASOOL, A.; ULLAH, K.; MANZOOR, R.; KALEEM, I.; MURTAZA, G. Biosynthesis of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) by the Valorization of Biomass and Synthetic Waste. **MOLECULES**, v. 25, n. 23, p. 5539–5539, 2020. doi.org/10.3390/molecules25235539
17. GODINHO, G. K. S.; MELEIRO, C. H. A.; ROSADO, L. H. G.; BORGES, S. T.; LIMA, D. D. S.; OLIVEIRA, R. N. Biocompósito “Pla-Casca de cenoura” como material biodegradável para embalagens. **REV. IBEROAM. POLIM**, v. 22, n. 3, p. 123–131, 2021.
18. SANTOS, T. P. GARCIA, H. V. S.; LOPES, T. A.; SANTOS, C. A.; FURTINI, A. C. C.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Potencial de utilização do resíduo de soja como carga em polietileno de baixa densidade (PEBD). **REVISTA MATÉRIA**, v. 26, n. 4, 2021. doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1367
19. BEZERRA, É. DA S.; ANDRADE, P. L. DE. Desenvolvimento de bioplásticos à base de cascas de bananas e de ovos. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: CONCEITOS, FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO**, p. 216–229, 2021.
20. YAO, Z; SEONG, H. J; JANG, Y. S. Environmental toxicity and decomposition of polyethylene. **ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY**, v. 242, p. 113933–113933, 2022. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113933
21. ABDULLAH, S.; MAROOF, L.; IQBAL, M.; FARMAN, S.; LUBNA; FAISAL, S. Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) Bags by Fungi Isolated from Waste Disposal Soil. **APPLIED AND ENVIRONMENTAL SOIL SCIENCE**, v. 2022, p. 1–7, 2022. doi.org/10.1155/2022/8286344
22. ARJUN, J.; MANJU, R.; RAJESWARAN, S. R. CHANDHRU, M. Banana peel starch to biodegradable alternative products for commercial plastics. **GSC BIOLOGICAL AND PHARMACEUTICAL SCIENCES**, v. 22, n. 2, p. 234–244, 28 fev. 2023. doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0066