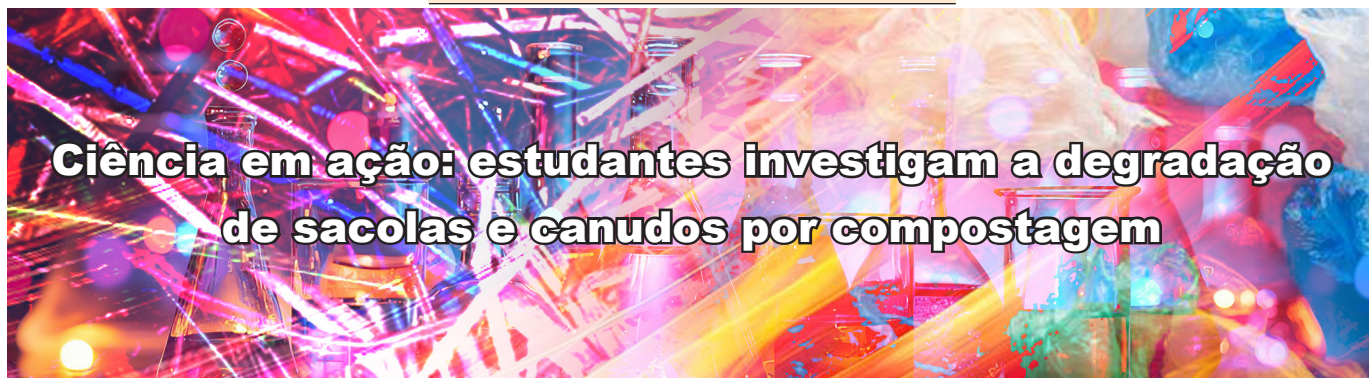




Ciência em ação: estudantes investigam a degradação de sacolas e canudos por compostagem

Rayane V. V. de Oliveira, Eduarda B. S. de Melo, Sofia de F. R. de Oliveira, Manuela B. Dias, Juliana da S. Xavier, José Carlos C. da S. Pinto, Larissa L. de A. Carvalho, Natasha K. Sítton, Jéssica B. Alves, Verônica de S. Mussoi, Luciana da S. Dutra e Ariane J. Sousa-Batista

O aumento do descarte incorreto dos plásticos no meio ambiente leva à busca por estratégias sustentáveis para a redução dessa poluição, como o uso de plásticos biodegradáveis e a conscientização da população. Abordamos a conscientização ambiental em uma escola de ensino médio através da realização de ensaios de degradação por compostagem de canudos e sacolas. Com isso, estimulamos estudantes a exercitarem o pensamento e o interesse científico, por meio de aprendizados de metodologia científica, da acessibilidade à infraestrutura de laboratórios de pesquisa conceituados, da promoção da educação ambiental e da demonstração prática da importância das ciências exatas e biológicas no contexto social e econômico em que estão inseridos.

► poluição plástica, biodegradável, compostagem ◀

Recebido em 02/10/2024; aceito em 10/03/2025

50

Introdução

A palavra “plástico” se origina da palavra grega “*plastikos*”, que significa “*capaz de ser moldado*”. Mais especificamente, os materiais comumente denominados plásticos são formados por macromoléculas (polímeros) geradas a partir da reação entre moléculas mais simples, denominadas monômeros, ligadas por ligações covalentes e organizadas em cadeia. De maneira estrita, materiais plásticos são aqueles que podem fundir e ser moldados reversivelmente, embora o termo “*plástico*” seja usado popularmente quase como sinônimo de polímero.

Os plásticos têm desempenhado um papel fundamental na melhoria da qualidade de vida da população em geral, oferecendo diversas vantagens competitivas importantes, tais como boa resistência química e mecânica, leveza, boa estabilidade química e dimensional e baixo custo. Essas características fazem com que os materiais plásticos estejam amplamente presentes no dia a dia da sociedade moderna (Ahamed *et al.*, 2021). No entanto, é importante equilibrar essas vantagens diante dos desafios ambientais decorrentes do seu uso excessivo, como a poluição desenfreada resultante do descarte sumário e a lenta degradação no ambiente (Magrini *et al.*, 2012).

Em função das más práticas de descarte, e em conjunto com o aumento do consumo dos materiais plásticos, tem sido observado o crescimento da geração de resíduos sólidos de baixa degradabilidade ao longo dos anos, o que tem acarretado problemas ambientais, especialmente para os ecossistemas marinhos e terrestres (Ahamed *et al.*, 2021). Desde o século XX calcula-se que cerca de 8,9 bilhões de toneladas de plástico foram fabricados, enquanto 2,6 bilhões de toneladas permanecem em uso e aproximadamente 6,3 bilhões de toneladas tornaram-se resíduos (Vasconcelos, 2019). Por conta disso, os materiais plásticos fazem parte do grupo de resíduos mais preocupantes na atualidade, com produção elevada e crescente. Dessa forma, a combinação do aumento continuado da produção com a gestão ineficiente dos resíduos resulta em danos significativos para o meio ambiente. Portanto, medidas voltadas para a gestão de resíduos sólidos plásticos são essenciais para reduzir os impactos ambientais associados ao seu acúmulo no planeta.

Diante desse cenário alarmante, torna-se crucial a implementação de estratégias eficazes para mitigar os impactos negativos dos resíduos plásticos, e a Educação Ambiental emerge como uma ferramenta fundamental nesse processo. A Educação Ambiental é uma ferramenta essencial para conscientizar sobre questões ambientais e promover mudanças

nos comportamentos da sociedade. Ela está incorporada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que estabelece objetivos voltados para a análise de fenômenos naturais e o desenvolvimento de ações para reduzir impactos socioambientais (Brasil, 2018; Sousa *et al.*, 2024). Além disso, a Educação Ambiental contribui também para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um movimento da Organização das Nações Unidas (ONU), para enfrentar desafios de desenvolvimento (ONU, 2015).

Além da gestão apropriada dos resíduos sólidos provenientes do uso dos plásticos e do estímulo à Educação Ambiental, novos materiais têm sido apresentados à sociedade como potenciais substitutos para os plásticos convencionais. Alguns exemplos incluem os plásticos biodegradáveis oriundos de fontes renováveis. Esse tipo de abordagem visa não apenas mitigar os efeitos causados pelos resíduos abandonados no ambiente, mas também explorar alternativas mais sustentáveis para a produção e utilização das matérias-primas usadas para fabricar os materiais plásticos.

Os materiais biodegradáveis são caracterizados pelo fato de estarem sujeitos à degradação pela ação de microrganismos, como bactérias e fungos, ao longo do tempo. Esse processo de decomposição resulta na formação de compostos mais simples, como água, dióxido de carbono, metano, entre outros. Por conta do crescimento de microrganismos, resulta também na produção de biomassa. É importante ressaltar que nem todos os materiais biodegradáveis se decompõem da mesma forma ou no mesmo período de tempo, assim como não resultam necessariamente nos mesmos subprodutos de degradação. Além disso, o processo de biodegradação depende das condições ambientais, como da temperatura, umidade e presença de microrganismos específicos no meio. É necessário ainda considerar que a biodegradação pode ser aeróbica (demandando oxigênio) ou anaeróbica (conduzida na ausência de oxigênio), o que afeta bastante os produtos gerados durante o processo.

No caso dos plásticos biodegradáveis, durante a degradação ocorre a redução paulatina da massa molar média do material, gerando produtos intermediários que podem ser consumidos e utilizados como alimento por outros organismos (como os plânctons, quando a degradação ocorre em ambiente marinho). Esta característica pode tornar o uso dos polímeros biodegradáveis importante para algumas aplicações, especialmente quando produzem intermediários que não são nocivos nem para a saúde nem para o ambiente, ou quando não podem ser reciclados de maneira apropriada (Rizzarelli e Carroccio, 2014).

Os plásticos biodegradáveis são usualmente classificados em relação à origem como plásticos sintéticos e naturais. Os plásticos sintéticos são produzidos por meio de reações de polimerização a partir dos monômeros mais simples, como

Além da gestão apropriada dos resíduos sólidos provenientes do uso dos plásticos e do estímulo à Educação Ambiental, novos materiais têm sido apresentados à sociedade como potenciais substitutos para os plásticos convencionais. Alguns exemplos incluem os plásticos biodegradáveis oriundos de fontes renováveis.

o poli(ácido láctico) (PLA), a poli(caprolactona) (PCL) e o poli(succinato de butileno) (PBS). Por outro lado, os plásticos naturais são compostos poliméricos que existem na natureza e constituem os tecidos vivos, como o amido, a gelatina e a celulose, construídos a partir de moléculas mais simples por intermédio de complexos sistemas metabólicos. Ambos os tipos de materiais, independentemente da origem, podem ser processados para gerar produtos diversos, como sacolas, canudos e filmes plásticos, constituindo promissores substitutos para os plásticos convencionalmente usados para o mesmo fim, como o poli(etileno) (PE) e o poli(propileno) (PP). Essa variedade de opções contribui para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis para a fabricação de produtos de uso único, por exemplo (Magrini *et al.*, 2012).

Entre as diversas maneiras com que os plásticos podem ser biodegradados, a compostagem é um processo que merece destaque por permitir o controle da decomposição biológica e a transformação dos materiais biodegradáveis (quase sempre misturados à terra e a outros compostos orgânicos) por meio de tratamento aeróbico

em uma mistura semelhante ao húmus (chamado comumente de composto), que posteriormente pode ser usado para a fertilização do solo. Durante o processo de compostagem, produz-se também água, minerais e CO₂. No entanto, é importante ressaltar que nem todos os materiais biodegradáveis são compostáveis. A compostabilidade depende da capacidade do material ser biodegradável em um ambiente apropriado para compostagem entre 2 e 6 meses (Zhao *et al.*, 2005).

Os termos “biodegradável” e “compostável” são frequentemente confundidos, mas possuem diferenças importantes. Em embalagens plásticas, a presença de termos como “reciclável” e “oxi-biodegradável” adiciona complexidade ao entendimento da destinação correta desses resíduos. A Figura 1 apresenta as principais distinções, servindo como material de apoio para informar aos estudantes do ensino médio sobre o tema.

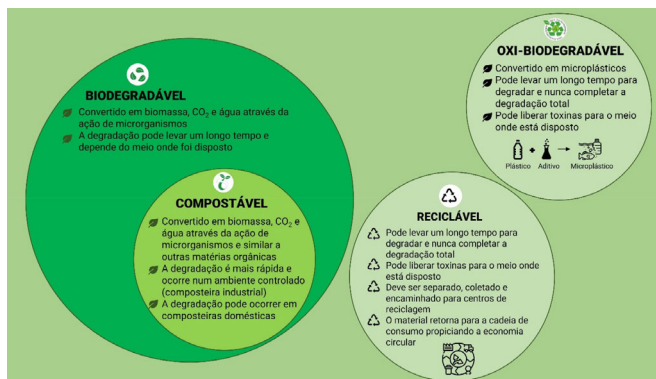


Figura 1: Principais características dos diferentes tipos de plásticos.

Menos de 30% dos cientistas do mundo são mulheres (UNESCO, 2019). Essa situação fica mais desigual em áreas de STEM (*Science, Technology, Engineering and Maths* - ciência, tecnologia, engenharia e matemática), por isso diversas iniciativas têm surgido para despertar o interesse de meninas por essas áreas. Nesse contexto, a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) lançou uma chamada pública (E_09/2021) para fomentar a inserção de meninas do ensino médio nas áreas de “Ciências Exatas e da Terra, Engenharias e Computação” e o nosso projeto foi contemplado com três bolsas de pré-iniciação científica, uma bolsa de iniciação científica e uma bolsa de capacitação técnica para uma professora de química do ensino médio.

Assim o objetivo inicial do projeto foi promover a inserção de três meninas estudantes de ensino médio no ambiente científico e tecnológico, apresentando conceitos de química referentes aos diferentes tipos de plástico, de processos de reciclagem e compostagem de alguns plásticos e outros materiais, e relacionar esses conceitos com as atividades executadas por um grupo de pesquisa de engenharia química especializado em materiais poliméricos.

Além disso, o presente trabalho também promoveu ações de Educação Ambiental para os demais estudantes da escola, mantendo o protagonismo e participação ativa das estudantes do ensino médio e da aluna de iniciação científica na transmissão das informações para a comunidade escolar. Para isso, foi elaborado em conjunto uma atividade para avaliar o processo de degradação de canudos e sacolas comerciais, tanto biodegradáveis quanto não biodegradáveis, por compostagem, alinhando a discussão com os fundamentos da química verde, sustentabilidade e economia circular. Os materiais selecionados apresentavam diferentes tempos de degradação a fim de evidenciar o impacto que um descarte incorreto pode proporcionar ao ambiente. A compostagem foi escolhida por permitir estudar a degradação desses materiais em um ambiente minimamente controlado e semelhante, além de ser uma excelente ferramenta de Educação Ambiental e representar uma forma de reciclagem de materiais orgânicos, que pode ser facilmente aplicada na comunidade (Sanches *et. al.*, 2006; Silva *et. al.*, 2015).

O projeto também segue as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que visam integrar a Educação Ambiental aos currículos escolares, preparando os estudantes para se tornarem agentes de transformação e ao integrar a Química e Biologia com a Educação Ambiental, assim, o projeto visa sensibilizar os alunos sobre os desafios ambientais, estimulando um pensamento crítico e a adoção de comportamentos mais sustentáveis (Brasil, 2013). A Educação Ambiental, ao ser aplicada no ensino de Química, e em outras áreas, prepara

os alunos para entender e resolver questões ambientais, contribuindo para a transformação social e o cuidado com o meio ambiente.

Metodologia

O projeto teve caráter multidisciplinar, aproximando estudantes do ensino médio da universidade, despertando o interesse científico, promovendo a Educação Ambiental e demonstrando, na prática, a importância das ciências exatas e biológicas para estudantes do ensino médio. Em particular, o projeto teve o objetivo de desenvolver um protocolo de experimentação que une conhecimentos de várias disciplinas, como química e biologia, e pode ser escalonado para outras escolas e ambientes escolares.

Dessa forma, o início do projeto foi marcado com a realização de uma palestra com a turma do primeiro ano do ensino médio da disciplina eletiva de Sustentabilidade Solidária, sobre o tema: Avaliação da biodegradabilidade e compostagem de polímeros. Em seguida, três alunas que demonstraram interesse em ciência e em participar do projeto foram selecionadas pela professora de química. A aluna de iniciação científica do curso de química já atuava no grupo de pesquisa, possuindo ampla experiência no tema abordado e grande interesse em compartilhar conhecimentos. Após a seleção das alunas foram realizadas reuniões para revisão bibliográfica, troca de conhecimentos, visita ao laboratório do grupo de pesquisa e definição / elaboração do protocolo para a atividade de avaliação da degradação de sacolas e canudos por compostagem.

Experimento de avaliação da degradação de sacolas e canudos por compostagem

O estudo foi conduzido com objetivo de avaliar a biodegradabilidade de diferentes materiais em condições controladas de compostagem, promovendo uma abordagem prática de Educação Ambiental e introduzindo alunas do ensino médio à metodologia científica em um ambiente de pesquisa universitário. Foram selecionados oito tipos

O estudo foi conduzido com objetivo de avaliar a biodegradabilidade de diferentes materiais em condições controladas de compostagem, promovendo uma abordagem prática de Educação Ambiental e introduzindo alunas do ensino médio à metodologia científica em um ambiente de pesquisa universitário.

de materiais comerciais para os ensaios de degradação: (i) canudos oxi-biodegradáveis à base de PE (Strawplast, São Ludgero/SC – Brasil), de acordo com a norma ASTM D6954-4; (ii) canudos biodegradáveis à base de PBS (Oeko, Florianópolis/SC – Brasil); (iii) canudos não-biodegradáveis à base de PP (Strawplast, São Ludgero/SC – Brasil); (iv) canudos de papel (Unicasa); (v) sacolas não-biodegradáveis à base de PEAD (Valfilm, Lorena/SP - Brasil); (vi) sacolas de papel de coloração marrom (NobelPack, Itapevi/SP - Brasil); (vii) sacolas biodegradáveis marrons à base de PBS (Oeko, Florianópolis/SC – Brasil) e (viii) sacolas biodegradáveis transparentes à base de PBS (Oeko,

Florianópolis/SC – Brasil), as duas últimas conforme a norma ABNT NBR 15.448-2. Para os ensaios, os corpos de prova das amostras foram preparados em dimensões padronizadas de 4,5 cm de comprimento para canudos e 4,5 cm de diâmetro para sacolas, sendo cada amostra identificada para análise individualizada.

Seis composteiras comerciais de baixo custo foram instaladas em local arejado e abrigadas do sol e da chuva na escola. As composteiras eram formadas por três compartimentos: uma caixa digestora superior, uma caixa digestora intermediária e a caixa coletora de chorume (Figura 2.1). A caixa digestora superior foi composta por um solo rico em nutrientes, coberto por serragem. Esse solo continha partes iguais de terra vegetal (Geolia/Leroy Merlin, Vila Cordeiro/SP - Brasil) e matéria orgânica (casca de legumes) fornecida pela cantina da escola. Os corpos de prova das amostras foram enterrados em uma mistura de terra vegetal e húmus de minhoca (Zona Rural - Inhaúma/MG - Brasil) na caixa digestora intermediária, conforme representado na Figura 2.2, favorecendo com que o chorume gerado na caixa superior contribuísse para a degradação. As composteiras foram monitoradas pelas alunas do projeto, que realizaram a reposição de matéria orgânica e água na caixa digestora superior a cada 15 dias, mantendo as condições ideais para decomposição.

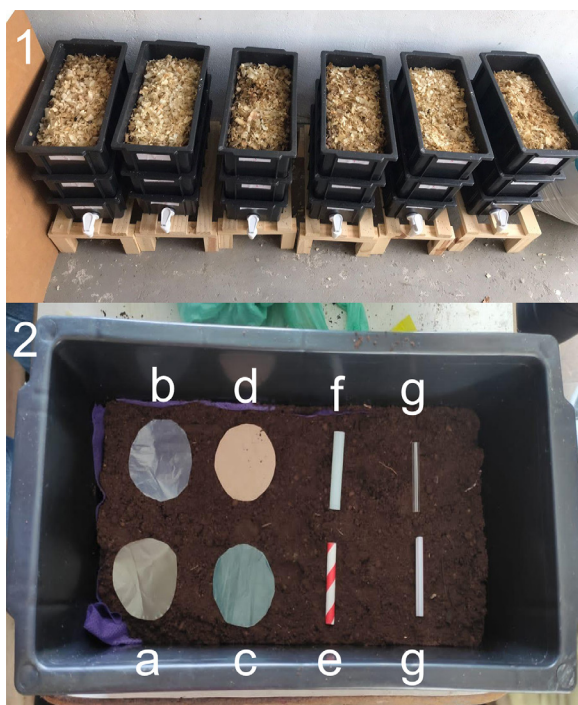


Figura 2: Composteiras comerciais de baixo custo usadas na avaliação da degradação das sacolas e canudos. 1) Disposição das composteiras, compostas por três caixas, sendo as duas superiores digestoras e a última coletora de chorume. 2) Organização das amostras na composteira. As amostras foram alocadas na caixa digestora intermediária. a) sacola biodegradável marrom de PBS; b) sacola biodegradável transparente de PBS; c) sacola não-biodegradável de PEAD; d) sacola de papel; e) canudo de papel; f) canudo biodegradável de PBS; g) canudos não-biodegradáveis de PP; h) canudo oxibiodegradável de PE.

As amostras foram coletadas individualmente, de uma composteira por vez, a cada 30 dias, totalizando seis coletas ao longo de 180 dias de análise. Cada amostra foi analisada de forma independente em uniplicata nos seis tempos estudados. Durante a coleta, as amostras foram cuidadosamente lavadas para a retirada dos resíduos, secas em estufa à temperatura ambiente e, por fim, pesadas para avaliar a perda de massa. A porcentagem de perda de massa foi calculada a partir da equação 1.

$$\% \text{ PM} = ((m_0 - m_f) / m_0) * 100 \quad (1)$$

em que m_0 é a massa inicial da amostra; m_f é a massa final após a secagem; e %PM corresponde à variação de perda de massa das amostras após os ensaios de degradação. Paralelamente, o pH do solo foi avaliado antes do início do experimento e a cada coleta, para isso 1g de solo foi disperso em 100 mL de água destilada e avaliado com fita de pH (MQuant® Merck). Os aspectos visuais das amostras, como alterações de cor e formação de rachaduras, foram registrados fotograficamente.

Resultados e discussão

Aspectos pedagógicos

Os resultados mais relevantes do projeto destacam os aspectos pedagógicos vivenciados pelas alunas. Elas participaram ativamente das atividades, desenvolvendo habilidades ligadas à ciência e à pesquisa, além de apresentarem aos colegas a importância do gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo a distinção entre materiais biodegradáveis e não biodegradáveis. Estiveram envolvidas em todas as etapas do estudo, desde a elaboração do experimento até a interpretação dos resultados. Após a execução, realizaram uma apresentação em slides, compartilhando suas experiências e promovendo interação com os alunos de ensino médio, esclarecendo dúvidas sobre plásticos e seu descarte correto (Figura 3).



Figura 3: Apresentação do projeto aos alunos do Ensino Médio.

Como parte das atividades propostas, as alunas bolsistas da escola Estadual, tiveram o contato com o dia a dia das mulheres nas ciências com a oportunidade de compreender o quanto é dinâmico e complexo a rotina de um laboratório

de pesquisa e análise, realizando atividades que, apesar de simples, puderam despertar adicionalmente o interesse pela ciência. Nesta ocasião, foram apresentados alguns reatores de polimerização e foi explicado como os polímeros são sintetizados, além de atividades experimentais relacionadas à pipetagem, pesagem e solubilização de amostras (Figura 4).



Figura 4: Visita das alunas bolsistas ao laboratório de pesquisa na Universidade.

O fechamento deste ciclo do trabalho se deu por meio de uma apresentação das alunas de ensino médio e da aluna de iniciação científica em formato de pôster na 12ª Semana de Integração Acadêmica da UFRJ, que ocorreu entre 29/05/23 e 02/06/23, sendo o trabalho premiado com uma menção honrosa.

Ao final do projeto, as alunas relataram que seus familiares também iniciaram o processo de compostagem de resíduos de alimentos em suas residências. Também relataram que a participação no projeto, além de agregar um conhecimento e conscientização sobre o uso e descarte

dos plásticos, foi muito importante para a identificação delas como multiplicadoras de conhecimento e a certeza da capacidade de atuar em qualquer profissão, não apenas na química e biologia, que foram as disciplinas mais presentes no projeto desenvolvido na escola.

A instalação, a organização e a manutenção das composteiras foram realizadas pelas alunas bolsistas do projeto, sob a orientação da professora de Química. O acesso às composteiras foi disponibilizado a todos os alunos, permitindo a participação e o aprendizado prático sobre o processo de compostagem.

Observamos que a implementação das composteiras e a realização das palestras no ambiente escolar fomentaram a conscientização ambiental entre os alunos, despertando o interesse pela temática da compostagem. É importante destacar que a análise do impacto do projeto se deu por meio de observações qualitativas, evidenciando o engajamento e a participação dos alunos nas atividades propostas. No entanto, reconhece-se a necessidade de complementar essa análise com métodos quantitativos, como a aplicação de questionários ou avaliações pré e pós-intervenção, com o intuito de mensurar o aprendizado e a efetividade da abordagem.

Avaliação da degradação por perda de massa

As avaliações da degradabilidade por perda de massa causada pelo processo de compostagem para as amostras tanto de canudos (Figura 5) quanto de sacolas (Figura 6), foram realizadas durante 180 dias com coletas a cada 30 dias, totalizando 6 coletas. Foi observado que os canudos de PP e PE oxi-biodegradável não apresentaram perda de massa significativa durante os 180 dias em que o experimento foi realizado. O comportamento para ambos os materiais já

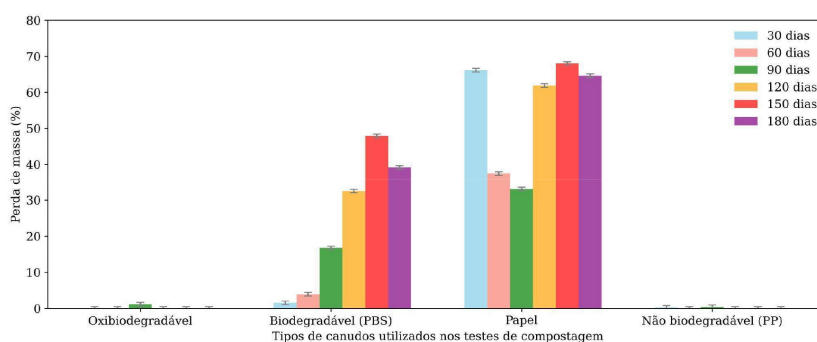


Figura 5: Avaliação da degradação por compostagem dos canudos a partir da perda de massa.

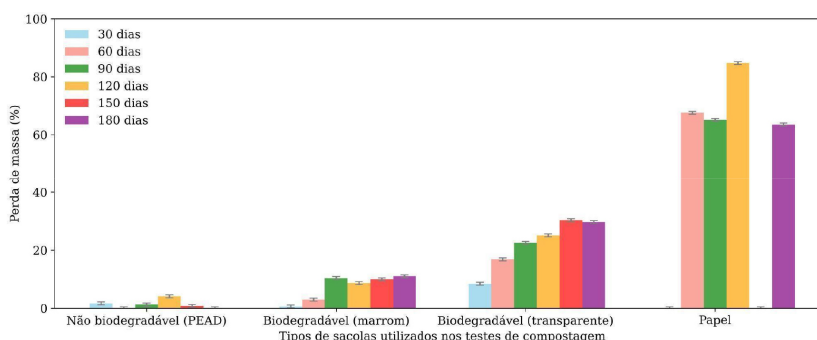


Figura 6: Avaliação da degradação por compostagem das sacolas a partir da perda de massa.

era esperado, pois já se sabe que são necessários muitos anos para que o PP se degrade no ambiente. Além disso, os aditivos empregados na formulação conhecida como PE oxi-biodegradável demandam luz para estarem ativos e promoverem a fragmentação da peça original de plástico, formando microplásticos (Pompêo *et al.*, 2022). No entanto, para as amostras de canudo de PBS, que é um plástico biodegradável, a perda de massa foi igual a 40% em 180 dias, resultado similar aos encontrados por Liu *et al.* (2009). Para as amostras de papel, que é um material também biodegradável, as perdas de massa em 180 dias foram de 65%, um resultado esperado, segundo os dados divulgados pelo Pensamento Verde (2018).

Ao analisar os perfis de perda de massa para as amostras que apresentaram biodegradabilidade, foi possível observar comportamentos distintos (Figura 5). Para o canudo produzido com plástico biodegradável, PBS, a perda de massa aumentou com o tempo. No entanto, nos primeiros 60 dias a perda de massa foi inexpressiva e da ordem de 4%. Contudo, a partir de 90 dias a perda de massa aumentou cerca de 10% a cada 30 dias, resultados aproximados aos encontrados por Liu *et al.* (2009) (os autores encontraram, aproximadamente, 7%, 12%, 17%, 25% e 30% de perda de massa para 60, 90, 120, 150 e 180 dias de ensaio de biodegradação, respectivamente). Já para o canudo de papel foi possível observar desde a primeira coleta perdas expressivas de massa, com o índice de 66% de perda de massa, que se manteve constante ao longo do restante do experimento. Observamos variações nos valores de perda de massa que podem ser associados a erros nas etapas experimentais e a fatores externos como temperatura e umidade do ambiente. A inclusão de réplicas em experimentos futuros irá minimizar o efeito de erros, vies experimentais e fatores externos, além disso um melhor controle de fatores externos, como realizar esses experimentos em um ambiente controlado permitirá também a redução do impacto desses fatores nos resultados.

No caso das sacolas comerciais, como esperado, o material não biodegradável (PE) não apresentou perda de massa significativa (Brito *et al.*, 2011) (Figura 6). Já para os materiais de natureza biodegradável, foi possível observar diferentes perfis de degradação. A sacola de papel, assim como o canudo, apresentou perda de massa expressiva desde as primeiras coletas, atingindo a maior perda de massa após 120 dias, cerca de 84%. Para esses resultados, não foram encontrados dados específicos a nível de comparação. A sacola biodegradável transparente de PBS atingiu pico de perda de massa após 150 dias, de aproximadamente 30%. A sacola biodegradável marrom de PBS apresentou maior perda de massa após 180 dias, com aproximadamente 11%. Os resultados obtidos para os materiais biodegradáveis de PBS, foram similares aos encontrados por Liu *et al.* (2009) (os autores encontraram, aproximadamente, 25% e 30% de perda de massa para 150 e 180 dias de ensaio de biodegradação, respectivamente).

As diferenças notadas entre as perdas de massa das sacolas biodegradáveis marrom e transparente podem estar

associadas a algum aditivo presente na composição da sacola marrom, que pode estar retardando a sua biodegradação. A ausência de perda de massa dos pontos de 30 e 150 dias da sacola de papel se deve a um erro experimental, já que as amostras não foram identificadas durante a coleta. Infelizmente, não foi possível corrigir esse problema, já que as amostras não foram replicadas, o que deve ser considerado em planejamentos futuros, para também ser possível introduzir o conceito de variabilidade e estatística nas discussões com os estudantes. As réplicas permitiriam minimizar o impacto de erros experimentais, de fatores externos como temperatura e umidade. Com a inclusão de réplicas no planejamento é esperado que os dados de perda de massa sejam crescentes ao longo do tempo, pois elas aumentam a robustez estatística, tornando as análises mais precisas e reduzindo a incerteza dos dados. Além disso, contribuem para a reprodutibilidade e maior confiabilidade na interpretação dos resultados. Observamos que apesar de termos produtos diferentes (sacola e canudo), mas fabricados com o mesmo material, notamos uma coerência esperada do comportamento de degradação, na ordem de maior perda de massa: papel na faixa de 60% > plástico biodegradável na faixa de 30 - 40%.

Análise visual das amostras

Inicialmente os corpos de prova apresentavam uma aparência uniforme e brilho na superfície dos materiais. Após 30 dias na composteira foi possível observar uma mudança significativa na coloração dos corpos de prova, como perda do brilho e diminuição de coloração, indicando sinais de degradação desses materiais. Mais especificamente, para os canudos foi possível observar que os materiais biodegradáveis apresentavam rachaduras e que o material começava a se deteriorar, enquanto os materiais oxi-biodegradáveis e à base de PP não apresentavam mudanças expressivas do aspecto do material (Figura 7).

A variação de aspecto dos canudos de papel que aparentam estar mais deteriorados e com menor massa no início do processo do que no final pode ser em decorrência da variação das condições da composteira, como a umidade da terra, visto que essa favorece a degradação. Como mencionado anteriormente, em experimentos futuros as análises devem ser feitas com um maior número de replicatas para mitigar essas inconsistências.

Para as sacolas, também se notou que os materiais fabricados à base de PE não sofreram alteração nos seus aspectos, enquanto para as sacolas de PBS foi possível observar a formação de buracos na estrutura, principalmente após 90 dias de experimento (Figura 8). No caso da sacola de papel, o material perdeu a identidade desde o início do experimento, tendo sido impossível realizar as coletas após 30 e 150 dias de compostagem, porque as amostras estavam muito fragmentadas e misturadas com a terra. Por se tratar de amostras únicas, a variabilidade dos experimentos ficou limitada, o que representa uma restrição no presente estudo, que poderá ser resolvida nos futuros experimentos.

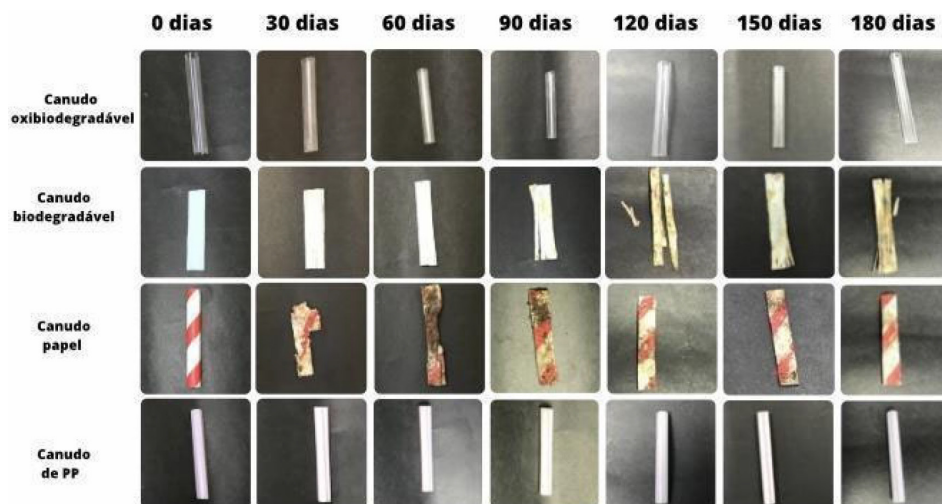


Figura 7: Análise visual dos canudos.

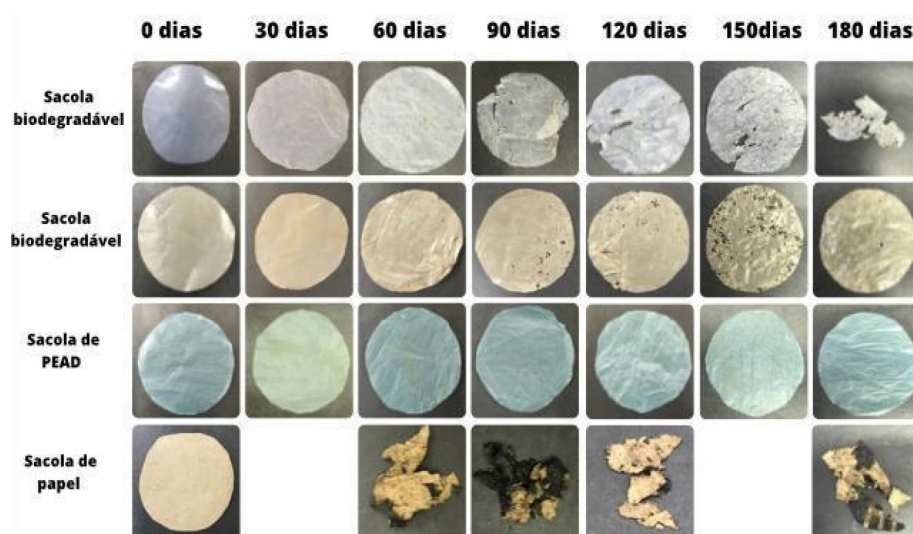


Figura 8: Análise visual das sacolas.

Conclusão

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de fomentar o interesse pelo trabalho científico no ensino médio, com base no relevante problema associado ao acúmulo de materiais plásticos no ambiente. Assim, simultaneamente buscou-se incentivar a discussão sobre temas relacionados à sustentabilidade e à preservação do ambiente. Para realizar o projeto, amostras de sacolas e canudos biodegradáveis e não biodegradáveis foram tratados por compostagem em composteiras comerciais de baixo custo e a degradação (perda de massa) foi monitorada ao longo do tempo. Os experimentos foram realizados pelas três estudantes bolsistas de uma escola estadual, selecionadas especificamente para esse fim.

Os plásticos biodegradáveis à base de poli(succinato de butileno) (PBS) estudados no presente projeto tinham o formato de canudos e sacolas e sofreram degradação quando submetidos ao processo de compostagem. Os resultados foram expressos por meio das perdas de massa dos corpos de prova coletados ao longo do tempo, além do aspecto visual. Os plásticos não biodegradáveis poli(propileno) (PP) e poli(etileno)

(PE) foram utilizados para exemplificar aos alunos a diferença entre os materiais e, como já era esperado, não sofreram degradação significativa na janela temporal estudada de 180 dias. Os materiais feitos à base de papel cumpriram a sua missão no experimento, mostrando que os materiais naturais tendem a se degradar mais rapidamente do que os sintéticos, mas que também são mais frágeis e menos resistentes do que os plásticos. Os canudos oxo-biodegradáveis testados não se mostraram compostáveis dentro do tempo analisado no presente estudo, muito provavelmente por conta da ausência de luz. Mas o objetivo de explicar que o uso desses materiais pode não ser adequado, já que aceleram o processo de degradação por meio da geração de fragmentos microplásticos potencialmente nocivos para o meio ambiente, foi alcançado.

As atividades conduzidas permitiram o acesso de alunas do primeiro ano do ensino médio a um ambiente de produção científica, explorando suas habilidades e criando um pensamento crítico sobre os tipos de materiais plásticos e sua destinação após o uso, elucidando conceitos associados à economia circular e uso consciente de materiais. Tanto a professora quanto as alunas construíram juntas um conhecimento muito

valioso, que posteriormente pôde ser multiplicado para alunos da escola em forma de palestra realizada pelas três alunas bolsistas com o suporte do grupo de pesquisa de engenharia química especializado em materiais poliméricos, ajudando a complementar o ensino-aprendizagem em sala de aula, mostrando a relevância de implementar atividades práticas que possam incentivar e capacitar os alunos de escolas públicas sobre o meio ambiente, reciclagem e gestão de resíduos.

Dessa forma, conclui-se que o projeto foi bem-sucedido, pois as alunas bolsistas não apenas desenvolveram uma visão crítica sobre o tema, mas também conseguiram compartilhar esse conhecimento com sua comunidade escolar e até mesmo em um evento acadêmico universitário.

Rayane V. V. de Oliveira (rayanev994@gmail.com) é técnica em Química pela FAETEC e licencianda em Química pela UFRJ. **Eduarda B. S. de Melo** (duda.bragasperandio@gmail.com) é estudante do ensino médio da Instituição C.E.

Lia Márcia Gonçalves Panaro, **Sofia de F. R. de Oliveira** (odaleiasofia02@gmail.com) é estudante do ensino médio da instituição C.E. **Lia Márcia Gonçalves Panaro**, **Manuela B. Dias** (manuelabelotadias@gmail.com) é estudante do ensino médio da instituição C.E. **Lia Márcia Gonçalves Panaro**, **Juliana da S. Xavier** (juliana.xavier@coppe.ufrj.br) é pós-doutoranda em Engenharia Química pela UFRJ. **José Carlos C. da S. Pinto** (pinto@peq.coppe.ufrj.br) é bacharel em Engenharia Química pela UFBA e mestre e doutor em Engenharia Química pela UFRJ. Atualmente é professor titular de Engenharia Química da COPPE/UFRJ e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química/UFRJ. **Larissa L. de A. Carvalho** (lalmeida@peq.coppe.ufrj.br) é licenciada em Química e mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. **Natasha K. Sítton** (kelber@eq.ufrj.br) é mestranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. **Jéssica B. Alves** (jessica.alves@coppe.ufrj.br) é doutora em Engenharia da Nanotecnologia pela UFRJ e possui Pós-doutorado pela mesma instituição. **Verônica de S. Mussoi** (veronicamussoi@gmail.com) é mestre em Ensino de Química pela UFRJ. **Luciana da S. Dutra** (ldutra@eq.ufrj.br) é doutora em Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ e pós-doutoranda em Engenharia Química pela UFRJ. **Ariane J. Sousa-Batista** (ariane@pent.coppe.ufrj.br) é doutora em Ciências Biológicas pela UFRJ. Atualmente é professora do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Nanotecnologia do COPPE/UFRJ.

Referências

AHAMED, A.; VALLAM, P.; IYER, N. S.; VEKSHA, A.; BOBACKA, J. e LISAK, G. Life cycle assessment of plastic grocery bags and their alternatives in cities with confined waste management structure: A Singapore case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123956, 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. *Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica*. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M. e MELO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

LIU, L.; YU, J.; CHENG, L. e YANG, X. Biodegradability of poly(butylene succinate) (PBS) composite reinforced with jute fibre. *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, n. 1, p. 90-94, 2009.

MAGRINI, A.; MELO, C. K.; CASTOR JR., C. A.; GAIOTO, C. C.; SANTOS, D. P.; BORGES, G. R.; ROSA, I. S.; DELGADO, J. J. S.; PINTO, J. C.; SOUZA, M. N.; BRANDT, M. C.; MENDES, P. N.; MELO JR., P. A.; ADERNE, R. S.; VASCONCELOS, S. *Impactos ambientais causados pelos plásticos*. Rio de Janeiro: Editora E-Papers, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. Nova York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, acesso em jul. de 2024.

PENSAMENTO VERDE. Descubra o tempo de decomposição do papel na natureza. *Pensamento Verde*, 10 maio 2018. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/descubra-o-tempo-de-decomposicao-do-papel-na-natureza/>, acesso em jul. de 2024.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B. e PAIVA, T. C. B. *Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções*. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2022.

RIZZARELLI, P. e CARROCCIO, S. Modern mass spectrometry in the characterization and degradation of biodegradable polymers. *Analytica Chimica Acta*, v. 808, p. 18-43, 2014.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; VESPA, I. C. G. e VIEIRA, E. M. A importância da compostagem para a educação ambiental nas escolas. *Química Nova na Escola*, v. 23, p. 10-13, 2006.

SILVA, M. A.; MARTINS, E. S.; AMARAL, W. K.; SILVA, H. S. e MARTINES, E. A. L. Compostagem: experimentação problematizadora e recurso interdisciplinar no ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p. 71-81, 2015.

SOUSA, A. C. D.; RIZZATTI, I. M.; CARDOSO, V. A.; ROCHA, R. C. e ROCHA, F. C. O. Poluição plástica sob uma perspectiva da Educação Ambiental a partir da ludicidade: contribuições para formação cidadã crítica e desenvolvimento sustentável. *Química Nova na Escola*, v. 46, n. 4, p. 481-490, 2024.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Women in science (UIS Fact Sheet, 55)*. 2019. Disponível em: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/fs55-women-in-science-2019-en.pdf>, acesso em dez. de 2024.

VASCONCELOS, Y. Planeta plástico. *Revista Pesquisa FAPESP*, v. 281, p. 18-24, 2019.

ZHAO, J. H.; WANG, X.; ZENG, J.; YANG, G.; SHI, F. e YAN, Q. Biodegradation of poly(butylene succinate) in compost. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 97, p. 2273-2278, 2005.

Para saber mais:

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M. e CLARO NETO, S. Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. *Química Nova na Escola*, v. 22, p. 17-21, 2005.

Abstract: *Science in action: students investigate the degradation of bags and straws through composting.* The increase in incorrect disposal of plastics in the environment has led to the search for sustainable strategies to reduce this pollution, such as the use of biodegradable plastics and raising public awareness. We address environmental awareness in a high school by conducting degradation tests using composting straws and bags. In this way, we encourage students to exercise their thinking and scientific interest, through learning scientific methodology, access to the infrastructure of renowned research laboratories, promoting environmental education and providing practical demonstrations of the importance of the exact and biological sciences in the social and economic context in which they live.

Keywords: plastic pollution, biodegradable, composting