

Avaliação toxicológica do uso de bioplástico na adubação do solo e resíduos na pavimentação de estradas

Toxicological evaluation of the use of bioplastics in soil fertilization and waste inroad paving

Gisele Petronilho Heidelmann
Bolsista PCI, Bióloga.

Silvia Gonçalves Egler
Supervisora, Bióloga, D. Sc.

Resumo

O bioplástico polímero ácido láctico (PLA) e a escória de aciaria são materiais que vem sendo estudados para utilização no plantio e na pavimentação de estradas, respectivamente. A substituição do plástico convencional pelo PLA vem sendo estudada como uma forma de beneficiar o meio ambiente e manter o uso atual do plástico na agricultura. Já a escória de aciaria, subproduto proveniente da produção do aço, tem sido estudada como substituto do material natural utilizado na pavimentação de estradas. Encontrar uma forma de reutilizá-lo sem impactar o meio ambiente seria uma solução para a destinação do resíduo produzido. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito toxicológico do bioplástico PLA e da escória de aciaria LD, sobre a sobrevivência dos oligoquetas *Eisenia andrei*, um organismo base da cadeia alimentar terrestre. Nos ensaios crônicos com o biopolímero, diferentes resultados foram obtidos, sendo que grande parte dos organismos adultos não sobreviveram, mas reproduziram, não sendo possível a identificação da causa. Já no ensaio agudo preliminar de sete dias com a escória de aciaria LD, os organismos sobreviveram e um novo ensaio crônico deve ser realizado.

Palavras-chave: ecotoxicologia; *eisenia andrei*; resíduos; reuso.

Abstract

The bioplastic polylactic acid (PLA) and steel slag are materials that have been studied for use in planting and paving roads, respectively. Replacing conventional plastic with PLA has been studied to benefit the environment and maintain the current use of plastic in agriculture. Steel slag, a by-product from steel production, has been studied as a substitute for the natural material used in road paving. Finding a way to reuse it without impacting the environment would be a solution for disposing of the waste produced. Therefore, the present work aimed to evaluate the toxicological effect of PLA bioplastic and LD steel slag on the survival of *Eisenia andrei* oligochaetes, a base organism in the terrestrial food chain. In chronic tests with the biopolymer, different results were obtained, with a large part of the adult organisms not surviving, but reproducing, making it impossible to identify the cause. In the preliminary seven-day acute test with LD steel slag, the organisms survived, and a new chronic test must be carried out.

Keywords: ecotoxicology; *eisenia andrei*; waste; reuse.

1. Introdução

Com o avanço tecnológico e industrial no decorrer dos anos, é identificado um aumento no consumo e consequentemente, na geração de efluentes e resíduos. Estes podem ser descartados ou reutilizados através de processamentos físicos e/ou químicos para a geração de novos produtos (MOTA et al., 2009). O descarte desses resíduos vem se tornando um problema mundial quanto a poluição do meio ambiente, já que quando descartados sem nenhum tratamento, podem afetar o solo, a água e o ar. Essa poluição é uma séria ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, podendo causar diversos prejuízos, desde alterar as características físico-químicas do solo, podendo desencadear a proliferação de doenças, à extinção de espécies devido a contaminação e o desequilíbrio ambiental (MOTA et al., 2009).

Diante disso, vemos a grande importância da Ecotoxicologia, ao avaliar os efeitos tóxicos que poluentes naturais ou sintéticos, lançados no meio ambiente podem ter sobre indivíduos, populações e comunidades de organismos vivos (TRUHAUT, 1977). Através de ensaios de toxicidade pode-se identificar e mensurar os riscos resultantes da exposição de seres vivos a esses agentes tóxicos, determinando os potenciais efeitos sobre o meio ambiente. Para isso, as condições de exposição, o indivíduo exposto e a determinação dos efeitos gerados pela exposição crônica e/ou aguda são realizados sob um elevado grau de controle em animais de laboratório e os resultados obtidos fornecem dados importantes que revelam um potencial prejuízo para organismos subsequentes na cadeia alimentar e consequentemente, os humanos, podendo assim prever um possível desequilíbrio ecológico (EATON; GILBERT, 2008).

Os ensaios agudos são realizados com objetivo de avaliar os efeitos de agentes tóxicos durante um curto período de vida do organismo-teste. Através deles, pode-se avaliar a dose ou concentração na qual o contaminante pode gerar uma resposta específica capaz de ser mensurada no organismo-teste ou população, em um curto período (24 a 96h, normalmente). Em contrapartida, ensaios crônicos determinam os efeitos sobre o organismo por um período que abrange parte ou todo o ciclo de vida do organismo-teste, avaliando os possíveis efeitos tóxicos sob exposições prolongadas a concentrações que embora permitam a sobrevivência do organismo, afetam suas funções biológicas (COSTA et al., 2008).

Resíduos, como escória de aciaria, proveniente de processos de fabricação de aço, vem sendo estudado como um possível material para lastro em ferrovias ou rodovias. No Brasil, a produção média de escória de aciaria LD (Linz-Donawitz) pode chegar a 200 kg/t de aço produzido e cerca de 3 milhões/t por ano. Este resíduo é classificado, segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004a), como um resíduo classe IIA, ou seja, não perigoso e não inerte (SILVA et al., 2021). Diante ao elevado volume de escórias geradas, há considerável esforço das indústrias por sua reciclagem, principalmente como material de aterro e agregados. Já existem estudos que apontam a possibilidade do uso de escória na agricultura. Entretanto, é preciso analisar os perigos que possam existir para diferentes biotas (SILVA et al., 2021).

Outro perigo para o meio ambiente, a ser analisado é o microplástico. O plástico é amplamente usado devido a suas características de durabilidade e plasticidade. Em 68 anos a produção global desse polímero aumentou de

1,5 milhão para 359 milhões. Estima-se que aproximadamente 6.300 milhões/t de resíduos plásticos foram gerados, dos quais 79% se acumularam em aterros sanitários ou no meio ambiente. Os microplásticos, derivados desses plásticos, podem chegar aos ambientes aquáticos e terrestre de diversas maneiras, através do descarte inadequado desse material, cobertura morta de plástico, deposição atmosférica, entre outros. Esses microplásticos podem se aderir às superfícies externas da fauna dificultando sua mobilidade ou ser ingeridos por alguma macrofauna, acumulando-se em vários tecidos, acabando por causar toxicidade e efeitos adversos ao ecossistema (CHENG et al., 2020).

O polímero ácido láctico (PLA), então, surge nas bibliografias como um possível substituto desses plásticos convencionais, por ser um biopolímero, que pode ser preparado pela fermentação bacteriana de carboidratos como milho, cana-de-açúcar, batata, biomassa, o que teoricamente, não prejudicaria o meio ambiente. Nesse caso, seria um ótimo material para o plantio na agricultura, não oferecendo ameaça ao ecossistema (CHEN et al., 2020).

Visando a carência de dados sobre o efeito tóxico de escória de aciaria LD e do bioplástico PLA sobre a biota terrestre, é de extrema importância o desenvolvimento de pesquisas na área, objetivando a preservação dos ecossistemas. Sendo assim, para esse estudo foram realizados bioensaios de toxicidade, padronizados nacional e internacionalmente, utilizando organismo terrestre bioindicador, com objetivo de avaliar o tipo e intensidade dos efeitos causados por estes materiais sobre a sobrevivência e reprodução dos organismos (CHEN et al., 2020).

2. Objetivos

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito tóxico de escória de aciaria LD e do polímero ácido láctico (PLA) sobre a sobrevivência e reprodução do oligoqueta *Eisenia andrei* (minhoca vermelha da Califórnia).

3. Material e Métodos

3.1 Organismo Teste

Foi utilizado o organismo detritivoro, *Eisenia andrei* (Minhoca Vermelha da Califórnia), cultivado no LECOMIN/COPMA/CETEM.

3.2 Solo Natural

O solo foi coletado em Seropédica (UFRRJ), na borda de um plantio de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), e coletados os 20 cm superficiais. O solo foi classificado pelo laboratório da Embrapa Solos (RJ) como Argissolo vermelho amarelo (PVA) com os seguintes parâmetros físico-químicos, 605,5 g/ kg de areia, 106,7 g/ kg de silte e 287,7 g kg de argila, 5,1 de valor de pH em água e 10,8 g/ kg de matéria orgânica. Em laboratório, as amostras foram secas à temperatura ambiente, desagregadas, peneiradas a 2 mm (para remoção de raízes e outros detritos maiores), disposta em pilhas horizontais e quarteadas em subamostras de 5 kg.

3.3 Material Testado 1

O polímero usado foi o poliácido láctico (PLA), obtido na forma de pellets e utilizado como recebido. O resíduo orgânico se trata das cascas de café, que foram cedidas pela empresa Unique Cafés Especiais, localizada em São Lourenço – MG e foram trituradas em moinho de facas e utilizados com granulometria inferior a 2 mm.

Para enriquecimento do compósito com cálcio utilizou-se um resíduo oriundo do corte do mármore Bege Bahia, oriundo da região de Orolândia no Estado da Bahia com granulometria abaixo de 20 mm. Já o potássio é oriundo de um feldspato potássico oriundo de Serra Negra no Estado de Sergipe, com granulometria inferior a 20 mm. As lâminas do material final foram fornecidas ao LECOMIN pelo Laboratório de Conservação e Alterabilidade de Materiais de Construção (LACON), também do Centro de Tecnologia Mineral.

3.4 Material Testado 2

Foi usado escória de aciaria LD fornecido por duas empresas siderúrgicas, divididos em material não cominuído com granulometria maior (P), material cominuído (TR) e material cominuído e hidratado (TM).

3.5 Ensaios Agudo

O cultivo e os ensaios com *Eisenia andrei* seguiram as normas ISO 11268-2 (ISO, 2012) e ABNT NBR 15537 (ABNT, 2014). Os organismos foram cultivados, em esterco curado, trocado a cada 30 dias. Para a realização dos ensaios foram utilizados organismos adultos, com clitelo bem desenvolvido e massa individual entre 300 mg e 600 mg.

3.5.1 Ensaio crônico com PLA

No dia zero (T0) anterior ao início do ensaio as minhocas foram lavadas em água deionizada, secas e pesadas individualmente. Em seguida, foram separadas em lotes de 10 organismos de massa semelhante, por amostragem e controle, e deixadas por 24h para purgamento do conteúdo intestinal. Neste mesmo dia o solo natural (SN) e o artificial (SAT) foram umedecidos com água deionizada em volume equivalente a 50% da Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA) (ABNT, 2014). Lotes de 1200 kg/amostra e controle foram distribuídos em caixas plásticas de 2 litros identificadas (Tabela 1). As lâminas foram colocadas no meio do solo na horizontal. No dia 1 (T1) as minhocas foram depositadas sobre a superfície do solo, e o recipiente-teste foi 2fechado com a tampa que continha furos para possibilitar a troca de ar. Semanalmente foi fornecida alimentação com esterco fresco e a umidificação do solo. Após 7 e 16 meses os potes foram abertos, as minhocas adultas e jovens foram contabilizadas e pesadas e a amostra de PLA foi verificada para observar sua degradação. O ensaio ainda está em andamento e estão sendo mantidos à temperatura de 21 ± 2 °C e fotoperíodo de 16h:8h claro:escuro.

3.5.2 Ensaio de pH com escória de aciaria LD

As escórias apresentam pH alcalino ($P = 11,37$, $TR = 12,71$ e $TM = 12,60$), fora do ideal para a realização dos ensaios toxicológicos (ISO, 2012; ABNT, 2014). Ensaio foram realizados para obtenção de diluições com pH próximos ao recomendado nas normas ($6,0 \pm 0,5$). Foram testadas diluições resíduo-solo e elutriato 1 hora (1:4, sólido:líquido) utilizando a norma ABNT NBR 15469 (ABNT, 2021) e solubilizado 7 dias com 1:4 utilizando a norma ABNT NBR 10006 (ABNT, 2004 b). Os volumes utilizados foram de acordo com a CMRA de 50%. Inicialmente foi pesada a amostra e o solo natural e misturados seguindo a tabela 2. Os pH foram medidos em períodos semelhantes a ensaios agudos, pH inicial, em sete (7) dias e final após 14 dias.

Tabela 1. Tipos de solo e constituintes (%) das lâminas testadas durante o ensaio crônico com PLA.

Amostra	Quantidade de constituintes (%)				Massa (g)
	PLA	Café	K	Ca	
SAT 1	100	0	0	0	1,53
SAT 2	70	20	5	5	1,62
SAT 3	60	30	5	5	1,25
SAT 4	80	10	5	5	1,67
SAT 5	50	40	5	5	1,65
SAT A*	0	0	0	0	0
SAT B*	0	0	0	0	0
REF*	0	0	0	0	0
1 SN	70	20	5	5	1,57
2 SN	100	0	0	0	0
3 SN	60	30	5	5	1,32
4 SN	80	10	5	5	1,67
5 SN	50	40	5	5	1,65

* - sem lâmina de PLA, SN e REF – solo natural PVA, SAT – solo artificial tropical (ABNT, 2014).

Tabela 2. Métodos para obtenção das diluições para obtenção de pH próximos ao recomendado para sobrevivência dos organismos-teste.

Diluição resíduo:solo PVA			Elutriato			Solubilizado		
Concentração (%)	Massa(g)		Concentração (%)	Massa resíduo (g)	Volume H ₂ O (mL)	Concentração (%)	Massa resíduo (g)	Volume H ₂ O (mL)
	resíduo	solo						
80	400	100	100	125	500	100	480	1600#
50	250	250	50	63	252	50	240	800
30	150	350	25	31	124	25	120	400
15	75	425	12,5	16	64	12,5	60	200
7,5	37	463	6,25	8	32	6,25	30	100
3	15	485	0	125*	500	0	30*	100
1	5	495						
0,5	3	497						
0	0	500						

* - solo PVA; # - volume utilizado para realizar as demais diluições.

3.5.3 Ensaio agudo preliminar com elutriados de escória de aciaria LD

Os mesmos procedimentos utilizados no ensaio crônico foram realizados neste ensaio. No dia 1 (T1) foram medidos o pH de todos os solos-teste e controle, em água deionizada (1:2,5) (EMBRAPA, 1997), sendo normatizado que o pH do controle com SAT deve ser de $6,0 \pm 0,5$. Os lotes de 400 g dos solos-teste e do controle foram divididos em réplicas de 200 g. O ensaio teve duração de 7 dias e foram mantidos à temperatura de 21 ± 2 °C e fotoperíodo de 16h:8h claro:escuro. Após os 7 dias as réplicas foram vertidas em bandejas e as minhocas sobreviventes foram contadas e as do controle de SAT pesadas, por réplica. O ensaio é considerado válido se a mortalidade no controle for $\leq 10\%$ e a perda de massa $\leq 20\%$.

4. Resultados e Discussão

Os resultados do ensaio crônico com *Eisenia andrei* exposta ao biopolímero PLA, mostram que depois de aproximadamente 16 meses, das 9 amostras de biopolímero, 5 permaneceram inteiras e o restante se degradou em partes (Tabela 3). Não sendo possível pesar o material devido a fragilidade do mesmo. De acordo com Silva et al (2022), isso pode estar relacionado a quantidade de carga de café, quanto mais carga de café mais rápido sua degradação. Os organismos adultos permaneceram vivos no decorrer do ensaio apenas nas amostras SN 1, SN 4 e SN 5, entretanto, foram encontrados organismos jovens e filhotes, o que mostra que o biopolímero não impactou na reprodução dos organismos, mas causou a mortalidade dos adultos. Chen et al (2020), aponta em seus estudos que os polímeros podem induzir o organismo a um estresse oxidativo causando diversas alterações enzimáticas.

Tabela 3. Resultados do ensaio crônico com *Eisenia andrei* expostas ao solo com o biopolímero PLA.

Amostra	PLA (pedaços)	Número de organismos sobreviventes		
		Adultos	Jovens	Filhotes
SAT 1	Inteiro		19	10
SAT 2	3		22	10
SAT 3	5		25	9
SAT 4	Inteiro		19	26
SAT 5	2		10	41
SN 1	Inteiro	10	0	0
SN 2	Inteiro		16	7
SN 3	4		13	11
SN 4	Inteiro	3	10	49
SN 5	ausente	10	0	0

Para o ensaio agudo preliminar realizado com elutriados de escória de aciaria LD com duração de 7 dias, foi observado que os organismos permaneceram vivos. O pH das amostras permaneceu estável entre 5-6, o que mostra que o pH baixo do solo teve influência sobre o pH alcalino do efluente.

5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos, foram verificados diferentes tipos de efeitos do ensaio com o biopolímero sobre a sobrevivência e reprodução de *E. andrei*: sobrevivência de adultos sem reprodução, sobrevivência de adultos com reprodução e mortalidade de adultos com reprodução. Não foi possível identificar a causa destes diferentes resultados. Já para escória de aciaria, os organismos permaneceram vivos, mas foi identificado visualmente uma perda de peso. Para isso, serão feitos novos ensaios crônicos com duração de 56 dias para avaliar os efeitos sobre a sobrevivência e reprodução.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha supervisora Silvia Egler, pela atenciosa orientação; À R.C.C. Ribeiro pelas amostras de PLA fornecidas; Ao CETEM - Centro de Tecnologia Mineral pela estrutura fornecida e ao MCTIC – Ministério da Ciência Tecnologia, Inovação e Comunicação em conjunto com o CNPq pela bolsa concedida.

7. Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 71 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b. 3p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15537. **Ecotoxicologia terrestre – toxicidade aguda – método de ensaio com minhocas (Lumbricidade)**. 2014, 13 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15469. **Ecotoxicologia – coleta, preservação e preparo**. 2021. 18 p.

CHEN, Y. et al., Defense responses in earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to low-density polyethylene microplastics in soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Elsevier, 2020.

COSTA, C.R. et. al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008.

EATON, D.L.; GILBERT, S.G. Principles of toxicology. In: KLAASSEN.C.D. et al. (Eds). **Toxicology- The basic Science of poison**. 7 ed. p. 11-43. Kansas City, Kansas. Department of Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics University of Kansas Medical Center, 2008, p.11-43.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, RJ, 1997. 212p.

ISO - International Organization for Standardization. **Soil quality— effects of pollutants on earthworms – Part 2: Determination of effects on reproduction of *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei***. ISO 11268-2. 2012. 23 p.

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M. de; ALENCAR, V. C. de; CURI, W. F. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 1, 2009. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SILVA, R.G. et al., Produção e caracterização de cápsulas de café biodegradáveis, **Mineralis**, Rio de Janeiro, 2022.

SILVA, L. M.; GUIMARÃES, R. O.; SILVA, M. V. D.. Viabilidade do uso de escória em camadas de pavimentos flexíveis: análise bibliográfica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.6, p.681- 690, 2021.

TRUHAUT, R. Ecotoxicology: objectives, principles and perspectives. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 1, p. 151-173, 1977.