AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO E DO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO NO SOLO DE BIOESFERAS DE ALGINATO DE SÓDIO E MICROALGAS

Sofia de Oliveira Pires, Daniel João Dall'Orsoletta, Fábio de Farias Neves, Aline Fernandes de Oliveira, Cristian Berto da Silveira

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes agrícolas convencionais fornecem nutrientes necessários ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas, tais como o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Eles são amplamente utilizados na agricultura com o objetivo de enriquecer o solo, elevar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos cultivados (ISHERWOOD, 2000; REETZ, 2017). Contudo, a aplicação excessiva destes compostos tem sido associada à degradação da qualidade do solo (PARMAR *et al.,* 2023), promovendo a sua acidificação e erosão (ISHERWOOD, 2000). Um outro ponto de destaque é a contaminação de corpos hídricos devido à lixiviação destes nutrientes (MAHAPATRA; SATAPATHY; PANDA, 2022), comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas, principalmente o aquático (CIRINO *et al.,* 2021). Diante desse cenário, cresce o interesse pelo desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis que reduzam os impactos ambientais decorrentes da agricultura intensiva. Entre essas alternativas, destaca-se a utilização de materiais biodegradáveis produzidos a partir de polímeros naturais, como o alginato de sódio, um polissacarídeo extraído de algas pardas pertencentes à classe Phaeophyceae (YANG; YAO; WANG, 2022). Na forma de bioesferas, o alginato de sódio apresenta capacidade de encapsulamento e pode ser associado a diferentes compostos, como microalgas, que atuam como aditivos capazes de favorecer a produtividade agrícola por meio da liberação gradual de nutrientes (CHAN *et al.,* 2011; PARMAR *et al.,* 2023).

As microalgas constituem um grupo diversificado de microrganismos fotossintetizantes, capazes de se desenvolver sob diferentes condições ambientais. Esses microrganismos podem beneficiar o crescimento das plantas devido à presença de diversas biomoléculas, incluindo enzimas relacionadas à fixação de N e P (PARMAR *et al.,* 2023; ZHANG *et al.,* 2024), características que evidenciam seu potencial como alternativa para promover a fertilidade do solo (SOLOVCHENKO, 2019). Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o comportamento de bioesferas de alginato de sódio e microalgas, reticuladas com 1% de $CaCl_2$, quanto aos processos de degradação no solo e lixiviação de fósforo.

DESENVOLVIMENTO

As bioesferas de alginato de sódio (AS) com microalga, foram preparadas a partir de duas suspensões distintas de AS 1% (m/v), e de microalga, do gênero Spirulina, na concentração 2% (m/v). Estas suspensões ficaram sob agitação por 6 h e, após este período, foram misturadas e mantidas sob agitação magnética por 24 h, formando as suspensões de AS1M2R1. Ao final do período de homogeneização, as bioesferas foram formadas pelo processo de reticulação, na qual as suspensões foram gotejadas em uma solução de $CaCl_2$ 1% (m/v), durante 5 min. e mais 15 min. de homogeneização, totalizando 20 min. de agitação. Após esta etapa as amostras foram filtradas, secas em estufa à 37 ºC por 24 h e armazenadas em um refrigerador.

Para o teste de biodegradação no solo foram utilizadas 10 esferas do tratamento AS1M2R1, previamente secas a 50 ºC, e aferida a massa seca inicial. As bioesferas foram enterradas em 50 g de solo, e a biodegradação foi avaliada após 1, 5, 10, 15, 30, 60 e 90 dias. A umidade do solo foi mantida por aspersão de água uma vez ao dia. Após cada período, as amostras foram retiradas, lavadas com água destilada, secas novamente a 50 ºC até atingir

massa constante e pesadas para obtenção da massa seca final. A perda de massa foi utilizada como indicativo da biodegradação no solo. A amostra AS1M2R1 foi submetida à digestão sulfúrica para solubilização dos nutrientes. Nos extratos obtidos, foram determinadas as concentrações de N, P e K.

O ensaio de lixiviação foi realizado em colunas de PVC contendo Espodossolo arenoso, com três tratamentos: AS1M2R1, fertilizante mineral (ureia + SFT) e controle, com três repetições. Foram realizados seis eventos semanais de lixiviação, aplicando-se 150 mL de água por coluna. Os lixiviados foram coletados e analisados quanto às concentrações de N mineral e P, sendo as perdas expressas em mg coluna^{-1} e acumuladas ao longo dos eventos. Os dados foram avaliados por ANOVA de medidas repetidas, seguida do teste de Tukey, e por modelos de regressão, adotando-se 5% de significância.

RESULTADOS

No ensaio de biodegradação em solo (Figura 1), as esferas apresentaram degradação inicial rápida, aproximadamente 27% no primeiro e 32% no quinto dia, associada à absorção de umidade, difusão de água e início da quebra das ligações iônicas da rede polimérica (WAN et al., 2008), além de possível ação microbiana. A degradação evoluiu gradualmente, atingindo cerca de 37% em 10 dias, 41% em 15 dias e 50% em 30 dias e cerca de 52% em 60 e 90 dias, indicando biodegradabilidade considerável e progressiva no solo, demonstrando que as bioesferas não apenas liberam compostos em meio aquoso (PIRES *et al.,* 2025), como apresentam potencial de decomposição no ambiente de aplicação (CRUZ et al., 2013).

As análises dos extratos obtidos após digestão sulfúrica demonstraram que a amostra AS1M2R1 apresentou teores médios de 4,63% de N, 0,34% de P e 0,35% de K. Entre os macronutrientes avaliados, o N foi o elemento presente em maior concentração, seguido pelo K e pelo P. Os resultados obtidos evidenciam que a amostra AS1M2R1 apresenta composição nutricional compatível com aplicações agrícolas. Além disso, a presença simultânea de N, P e K reforça o potencial das bioesferas como sistemas capazes de disponibilizar nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, especialmente quando associadas a estratégias de liberação gradual.

A análise da lixiviação demonstrou um comportamento distinto entre os tratamentos e entre os nutrientes avaliados. Para o N mineral, observou-se aumento progressivo da perda acumulada ao longo das seis lixiviações. O tratamento AS1M2R1 apresentou aproximadamente 41 mg coluna^{-1} de N acumulado ao final do experimento (16,8% de N aplicado), enquanto o fertilizante mineral atingiu cerca de 34 mg coluna^{-1} (12,8% de N aplicado). Para P, o fertilizante mineral apresentou as maiores perdas acumuladas, atingindo cerca de 15,7 mg coluna^{-1} na sexta lixiviação (87,2% de P aplicado). Em contraste, o tratamento AS1M2R1 apresentou perda de cerca 0,9 mg coluna^{-1} (5,1% de P aplicado). Dessa forma, AS1M2R1 apresentou menor perda de P por lixiviação em comparação ao fertilizante mineral, indicando maior retenção desse nutriente no sistema solo/fertilizante. Para o N, entretanto, a perda acumulada de AS1M2R1 foi ligeiramente superior à observada para o fertilizante mineral, evidenciando que a dinâmica de lixiviação do biomaterial varia de acordo com o nutriente avaliado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As bioesferas AS1M2R1 apresentaram biodegradação progressiva, além de conterem N, P e K em sua composição. O produto demonstrou menor lixiviação de P em relação ao fertilizante mineral, evidenciando potencial como alternativa biodegradável para a disponibilização de nutrientes no solo.

Palavras-chave: *Spirulina*; digestão; nutrientes; liberação controlada.

ANEXO(S)

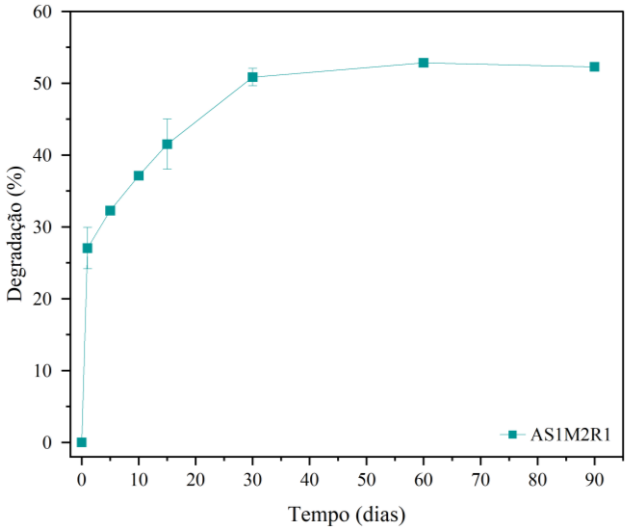


Figura 1. *Degradação no solo das esferas AS1M2R1 ao longo do tempo.*

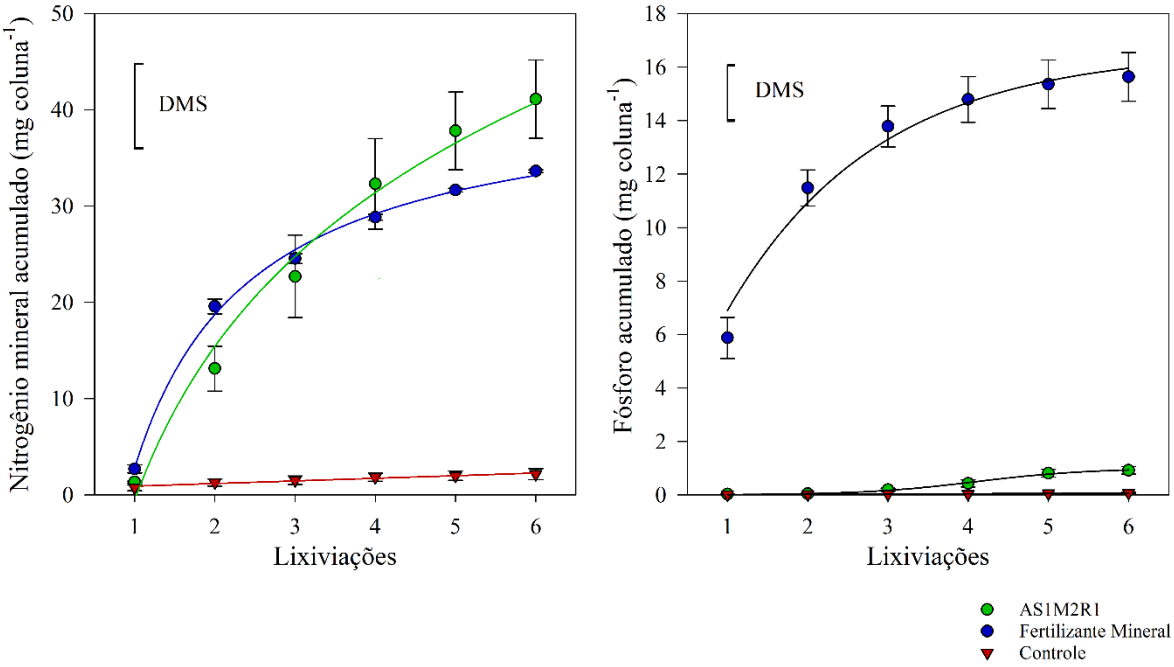


Figura 2. *Dinâmica da perda acumulada de fósforo e nitrogênio por lixiviação em colunas de Espodossolo sob aplicação de AS1M2R1, fertilizante mineral e ausência de adubação.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAJPAI, S.K.; SHARMA, S. **Investigation of swelling/degradation behaviour of alginate beads crosslinked with Ca2+ and Ba2+ ions**. Reactive and Functional Polymers, v. 59, n. 2, p. 129-140, 2004.

CHAN, E.; LIM, T.; VOO, W.; POGAKU, R. et al. **Effect of formulation of alginate beads on their mechanical behavior and stiffness**. Particuology, v. 9, n. 3, p. 228-234, 2011.

CIRINO, E.; VEIGA, L.; ANTUNES, M.; ALVES, V. et al. **O uso de fertilizantes e seus impactos ambientais. Jundiaí: Escola Técnica Estadual Benedito Storani**, 2021. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química). 2021.

CRUZ, **Ivonne et al. Biological deterioration of alginate beads containing immobilized microalgae and bacteria during tertiary wastewater treatment**. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 97, n. 22, p. 9847–9858, 2013.

GUARIENTI, C. **Micropartículas de Spirulina sp. Aplicadas em Mistura para Bebida de Base Láctea.** 2018. Tese de Doutorado (Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

GONÇALVES, J.; FREITAS, J.; FERNANDES, I.; SILVA, P. **Microalgae as Biofertilizers: A Sustainable Way to Improve Soil Fertility and Plant Growth**. Sustainability, v. 15, n. 16, p. 12413, 2023.

HU, X.; MENESES, Y. E.; HASSAN, A. A.; STRATTON, J. et al. **Application of alginate immobilized microalgae in treating real food industrial wastewater and design of annular photobioreactor: A proof-of-concept study.** Algal Research, v. 60, p. 102524, 2021.

ISHERWOOD, K. F. **Mineral Fertilizer Use and the Environment**. IFA & UNEP, 2000. 11 p.

MAHAPATRA, D. M.; SATAPATHY, K. C.; PANDA, B. **Biofertilizers and nanofertilizers for sustainable agriculture: Phycoprospects and challenges**. Science of The Total Environment, v. 803, p. 149990, 2022.

PARMAR, P.; KUMAR, R.; NEHA, Y.; SRIVATSAN, V. **Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions**. Frontiers Plant Science, v. 14, 2023.

PIRES, S. O. *et al.* **Efeito Da Concentração De Alginato De Sódio Nas Propriedades Físico-Químicas De Fertilizantes Orgânicos Contendo Microalgas**. 35º Seminário de Iniciação Científica, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Educação Superior da Região Sul. 2025.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 2017.

SOLOVCHENKO, A.; KHOZIN-GOLDBERG, I.; SELYAKH, I.; SEMENOVA, L. et al. **Phosphorus starvation and luxury uptake in green microalgae revisited**. Algal Research, v. 43, 2019.

WAN, L. Q.; JIANG, J.; ARNOLD, D. E. et al. **Calcium Concentration Effects on the Mechanical and Biochemical Properties of Chondrocyte-Alginate Constructs**. Cellular and Molecular Bioengineering, v. 1, p. 93–102, 2008.

YANG, J.; YAO, J.; WANG, S. **Electromechanical response performance of a reinforced biomass gel artificial muscle based on natural polysaccharide of sodium alginate doped with an ionic liquid for micro-nano regulation.** Carbohydrate Polymers, v. 275, p. 118717, 2022.

ZHANG, Z.; XU, M.; FAN, Y.; ZHANG, L. et al. **Using microalgae to reduce the use of conventional fertilizers in hydroponics and soil-based cultivation.** Science of the Total Environment, v. 212, p. 1-10, 2024.