

FERTILIZANTES VÍTREOS COMPÓSITOS PARA INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS FUNCIONAIS DIRECIONADOS À AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Maria Eduarda Lemes dos Santos^{1*}

Liane Miranda Carvalho¹

Danilo Manzani¹

¹Instituto de Química de São Carlos/ Universidade de São Paulo

*eduardalemes@usp.br

Objetivos

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema composto à base de fertilizante vítreo encapsulado em matriz de biopolímero, combinando liberação controlada de nutrientes essenciais com a possibilidade de associação a microrganismos benéficos. Os fertilizantes vítreos destacam-se pela composição ajustável e solubilidade modulada, permitindo reduzir perdas por lixiviação e minimizar impactos ambientais. A incorporação em biopolímeros biodegradáveis possibilita a formação de esferas estruturadas que atuam como barreira semipermeável, modulando a dissolução do FV e aumentando a eficiência de entrega dos nutrientes, resultando em um fertilizante de baixo impacto e aplicável à agricultura sustentável.

Métodos e Procedimentos

O fertilizante vítreo foi produzido por fusão de precursores em alta temperatura, seguida de resfriamento rápido, resultando em um material sólido que foi macerado e classificado em diferentes faixas granulométricas. Esse material foi incorporado a uma solução de biopolímero, formando uma suspensão homogênea. A mistura foi extrudada de forma controlada em solução contendo cátion divalente, promovendo gelificação ionotrópica e formação das esferas compósitas.

Foram avaliadas diferentes granulometrias do FV e proporções entre as fases polimérica e vítrea, buscando otimizar a homogeneidade, a integridade e a estabilidade estrutural das esferas. O comportamento das esferas em meio aquoso foi avaliado por ensaios de inchamento, medindo-se a variação de massa ao longo do tempo de imersão. Essa análise permitiu verificar a capacidade de absorção de água e a manutenção da integridade física das esferas, fornecendo indicativos sobre a interação entre o composto e o meio, bem como sobre sua estabilidade estrutural.

Resultados

A caracterização estrutural por espectroscopia Raman evidenciou a formação de uma rede fosfossilicato, identificada pelas bandas características e pela presença de unidades Q1 de $[\text{PO}_4]$, confirmando a incorporação de grupos silicato à estrutura fosfatada. A análise térmica com DSC obtida na faixa de temperatura de 25 a 1000 °C indicou uma transição vítrea bem definida a 423 °C, demonstrando elevada estabilidade térmica do material.

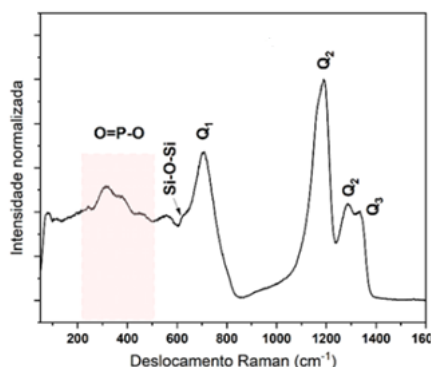


Figura 1: Espectro Raman obtido na faixa compreendida entre 50 e 1600 cm^{-1} .

As micrografias obtidas por MEV revelaram esferas com superfície rugosa e distribuição uniforme das partículas vítreas na matriz polimérica. A proporção intermediária entre polímero e vidro mostrou-se a mais eficiente, resultando em maior homogeneidade morfológica e estabilidade estrutural. A análise de distribuição de tamanho das esferas, realizada por meio do software ImageJ, revelou que a presença do FV na matriz polimérica influencia diretamente a formação e as propriedades físicas do compósito. A padronização do processo de produção resultou em uma distribuição normal estreita, evidenciando a reprodutibilidade das condições.

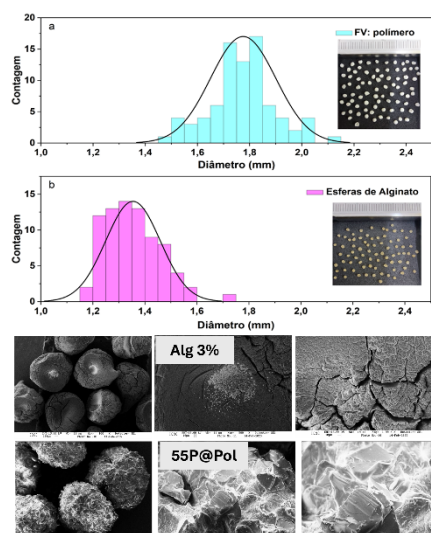


Figura 2: Distribuição do tamanho de partículas das esferas de polímero com (A) e sem (B) o fertilizante vítreo e MEV, aproximação 100,500 e 1000x.

As esferas contendo FV apresentaram diâmetro médio de aproximadamente 1,8 mm, superior ao das esferas de polímero puro (~1,3 mm), indicando que a incorporação das partículas vítreas promove aumento no tamanho final.

Conclusões

A caracterização da matriz vítrea permitiu compreender aspectos relevantes do seu comportamento, indicando a presença de espécies de fosfato com diferentes graus de polimerização associadas a grupos silicato, o que contribui para o aumento da temperatura de transição vítrea e para a estabilidade estrutural. Desse modo, foram estabelecidos protocolos para a produção dos compósitos, resultando em esferas poliméricas homogêneas, com distribuição uniforme das partículas vítreas e incremento no diâmetro em relação às esferas de polímero puro. O controle de parâmetros como granulometria, proporção entre as fases e condições de formação assegurou maior estabilidade e melhor definição morfológica. Esses resultados demonstram a viabilidade do encapsulamento de fertilizantes vítreos em matrizes poliméricas e indicam seu potencial para a liberação controlada de nutrientes, visando consolidar a aplicação do sistema na agricultura de precisão. Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuição dos Autores:

Daniilo Manzani e Liane Miranda: concepção, planejamento do projeto e supervisão.

Maria Eduarda Lemes dos Santos e Liane Miranda: execução das atividades experimentais.

Maria Eduarda Lemes dos Santos: tratamento e análise dos dados, redação do manuscrito.

Todos os autores aprovaram a versão final do resumo.

Agradecimentos

FAPESP, CNPq, CAPES, PUB/USP (2024-4727)

Referências



Atei, P. et al. Environmental Technology & Innovation p. 102722, 2022.

Araújo, B. A. et al. Research, Society and Development p. e49010918248-e49010918248, 2021.

LABBILTA, T. et al. Controlled-release fertilizers from phosphate glass-matrix: A new ecological approach to match nutrients release with plants demand, 2023.