# BIOPLÁSTICOS À BASE DE ALGINATO DE SÓDIO RETICULADOS COM COBRE: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

Maria Clara Melo dos Anjos, Carolina Rosai Mendes, Cristian Berto da Silveira, Aline Fernandes de Oliveira.

## INTRODUÇÃO

Os resíduos plásticos constituem um dos principais problemas ambientais da atualidade, devido à sua baixa degradabilidade e consequente persistência no ambiente. Nesse contexto, o desenvolvimento de biopolímeros representa uma alternativa aos plásticos convencionais. O alginato de sódio (AS), polissacarídeo natural extraído principalmente de algas marrons, apresenta potencial para a produção de bioplásticos, porém sua elevada solubilidade em água e permeabilidade ao vapor d'água limitam essa aplicação (SENTÜRK PARREIDT *et al.*, 2018). A reticulação com íons divalentes pode modificar essas propriedades e aumentar a estabilidade da matriz (CHOI *et al.*, 2022). Nesse sentido, o $Cu^{2+}$ apresenta potencial como agente de reticulação e pode conferir propriedades antibacterianas ao material (KLINKAJON; SUPAPHOL, 2014). Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes de AS reticulados com $CuSO_4$, avaliando suas propriedades físico-químicas, morfológicas e sua aplicabilidade como revestimento de tomates.

## DESENVOLVIMENTO.

Os filmes foram produzidos a partir de solução de AS a 2% (m/v), preparada sob agitação por 24 h e vertida em placas de Petri e seca a 35°C por 24 h. Após a secagem, os filmes foram recortados e reticulados em soluções de $CuSO_4$ nos tratamentos de 0,5% por 5 min, 2% por 5 min e 2% por 20 min. O intumescimento foi avaliado em quadruplicatas, pela imersão dos filmes em 25 ml de água destilada por 0,5; 1,5; 3; 6; 24 e 48 h, determinando-se a variação de massa em relação à massa seca inicial. A degradação foi avaliada após a hidratação dos filmes nos mesmos intervalos, seguida de secagem a 50 °C até massa constante. A variação de massa em relação à massa seca inicial foi utilizada para determinar a degradação. A absorção de vapor d´água foi determinada utilizando filmes de 3x3 cm, em quadruplicatas, colocadas em dessecador contendo solução saturada de sulfato de sódio anidro ($Na_2SO_4$) para manter a umidade relativa (UR) em 98%, tendo suas massas pesadas por 0,5; 1,5; 3; 6; 24; 48 e 120 h. O cálculo para absorção foi feito pela variação da massa das amostras em relação à massa inicial seca.

A estrutura química dos filmes após a reticulação foi avaliada por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada (FTIR-ATR), utilizando um espectrômetro PerkinElmer, modelo VATRTWO. Os espectros foram obtidos na faixa espectral de 4000 a 500 $cm^{-1}$. A morfologia e a composição elementar dos filmes foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), acoplada à espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS), utilizando um microscópio eletrônico de varredura de bancada JEOL, modelo JCM-7000.

A aplicação dos filmes como bioplástico foi avaliada por meio do revestimento de tomates orgânicos (*Solanum lycopersicum*), variedade Grape, comercializados pela Cooperativa da Agricultura Orgânica e Familiar Recanto da Natureza. Para o revestimento, os frutos foram inicialmente imersos em solução AS a 2% (m/v) e, posteriormente, em solução de 0,5% $CuSO_4$, permanecendo em reticulação por 1, 5, 10 e 20 min. Depois, os frutos revestidos foram mantidos em uma sala controlada a 20 ± 1 °C e 40% ± 5% de UR.

## RESULTADOS

O ensaio de intumescimento revelou maior resistência à hidratação com o aumento da concentração de $CuSO_4$ e do tempo de reticulação. O tratamento de 0,5% (m/v) solubilizou nos primeiros 30 minutos, enquanto os tratamentos de 2% (m/v) permaneceram estáveis durante o ensaio, atingindo valores máximos de intumescimento de aproximadamente 55% (5 min) e 32% (20 min). Esses resultados são consistentes com os observados por Klinkajon e Supaphol (2014), que observaram que o aumento do tempo de reticulação esteve associado à formação de uma estrutura mais reticulada e à redução da absorção de água. O ensaio de degradação indicou maior estabilidade dos filmes a partir de 24h, especialmente para o tratamento reticulado com 2% de $CuSO_4$ por 20 min. O ensaio de absorção de vapor d'água apresentou diferenças entre filmes mais evidentes a partir de 6 h. O filme reticulado com 0,5% de $CuSO_4$ por 5 min apresentou a maior absorção (≈50%), seguido do tratamento 2% por 5 min (≈33%), enquanto o filme 2% por 20 min apresentou a menor absorção (21,5%) e maior estabilidade (Fig. 1). Esse comportamento evidencia a influência do grau de reticulação na interação com o vapor d'água, destacando o último tratamento para aplicações que requerem maior estabilidade frente à umidade. A análise por FTIR-ATR evidenciou a manutenção das principais bandas características de AS após a reticulação com cobre, o que indica que a estrutura química da matriz polimérica não sofreu alterações expressivas. As micrografias obtidas por MEV evidenciaram uma superfície homogênea e compacta, com presença de algumas irregularidades superficiais. Essa morfologia apresenta características semelhantes às observadas por Klinkajon e Supaphol (2014) para o filme de alginato reticulado com $CuSO_4$ antes da etapa de reticulação superficial. A análise por EDS atestou a presença do elemento cobre em cerca de 15,68% do peso total do material, sendo distribuído de forma homogênea ao longo da superfície do filme, o que evidencia o sucesso da sua incorporação nos filmes (SOUZA JUNIOR *et al.,* 2026).

O revestimento de tomates teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do material como bioplástico em frutos. Apesar da maior resistência à hidratação e vapor d´água apresentada pelo filme reticulado com $CuSO_4$ a 2% (m/v), sua maior rigidez após a secagem levou à seleção da concentração de 0,5% (m/v), avaliada nos tempos de reticulação de 1, 5, 10 e 20 min durante 15 dias. Ao longo do armazenamento, observou-se variação na estabilidade e aderência dos revestimentos entre os frutos, sendo registrado desprendimento parcial ou total dos filmes, com ocorrência já nas primeiras 24 h em algumas amostras (Fig. 2). Também foram observadas rachaduras nos revestimentos e, ao longo do período, redução do volume e aumento do enrugamento superficial dos frutos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante o exposto, os filmes apresentaram potencial para aplicação como bioplástico, especialmente pela maior resistência à hidratação e menor absorção de vapor d'água observadas no tratamento de 2% CuSO4 por 20 minutos. Entretanto, a formulação avaliada como revestimento de tomates apresentou baixa estabilidade e aderência. Dessa forma, modificações na composição da matriz, como a incorporação de plastificantes, podem ser avaliadas para melhorar a flexibilidade e adesão do revestimento.

**Palavras-chave:** alginato de sódio; bioplásticos; $CuSO_4$; cobre.

**ANEXO(S)**

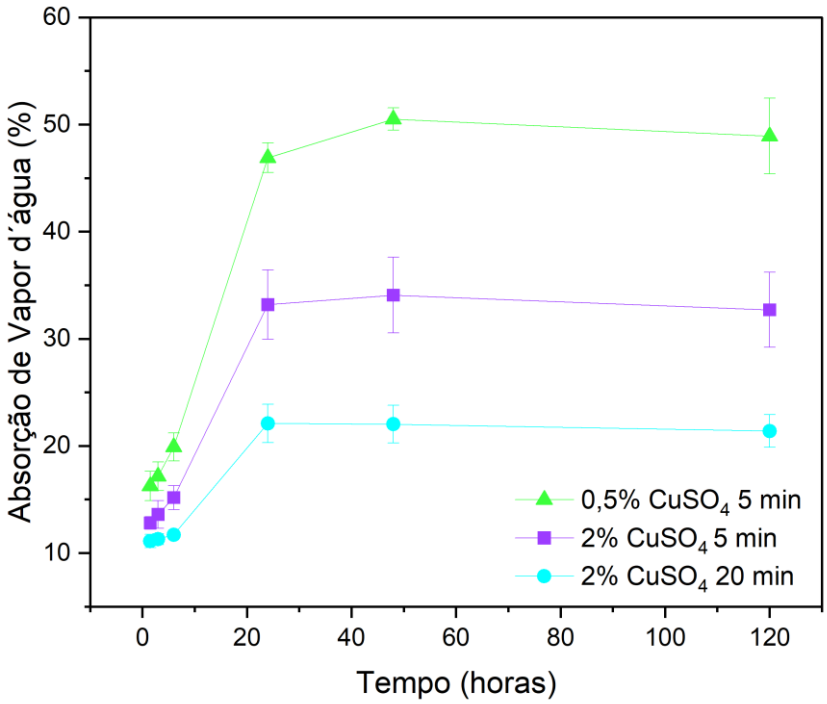



**Figura 1.** *Resultado do teste de Absorção de vapor d´água.*




**Figura 2.** *Ensaio revestimento de tomates com filmes de AS reticulados com $CuSO_4$ a 0,5%, em 1 minuto de reticulação, após 24h.*

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CHOI, Inyoung; LEE, Youngwoo; LYU, Ji Sou; LEE, Jung-Soo; HAN, Jaejoon. **Characterization of ionically crosslinked alginate films: effect of different anion-based metal cations on the improvement of water-resistant properties.** Food Hydrocolloids, v. 131, 107785, 2022. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107785.

KLINKAJON, Wimonwan; SUPAPHOL, Pitt. **Novel copper (II) alginate hydrogels and their potential for use as anti-bacterial wound dressings**. *Biomedical Materials*, v. 9, n. 4, p. 045008, 2014. DOI: 10.1088/1748-6041/9/4/045008.

SENTURK PARREIDT, Tugce; MÜLLER, Kajetan; SCHMID, Markus**. Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications.** *Foods*, v. 7, n. 10, p. 170, 2018. DOI: 10.3390/foods7100170.

SOUZA JUNIOR, Marinaldo V. de; OLIVEIRA NETO, João G. de; DUTRA, Richard P.; SANTOS, Adenilson O. dos; SOUSA, Francisco F. de; SOUTO, Eliana B. **Cu(II)-phenanthroline coordination complex-functionalized polymeric films: physicochemical characterization, antibacterial assay and computational modelling of predictive complex diffusion**. *Polymer Bulletin*, v. 83, art. 440, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s00289-026-06483-6.