

APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DA PALHA DE SORGO PARA PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULOSE E SEUS EFEITOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO

**Sustainable use of sorghum straw for carboxymethylcellulose
production and its effects on the physiological quality of bean seeds**

**Uso sostenible de la paja de sorgo para la producción de carboxi-
metilcelulosa y sus efectos en la calidad fisiológica de semillas de frijol**

Rejane Dias Pereira Mota

Instituto Federal de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: rejane.mota@ifg.edu.br

Diego Palmiro Ramirez Ascheri

Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: diego.ascheri@ueg.br

Eulina Fernandes Damião

Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: eulinaagronoma@gmail.com

José Luis Ramírez Ascheri

Embrapa Agroindústria de Alimentos, Guaratiba, RJ, Brasil
jose.ascheri@embrapa.br

Itamar Rosa Teixeira

Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: Itamar.texeira@ueg.br

RESUMO

Este estudo aborda a necessidade de adotar práticas sustentáveis para o aproveitamento de resíduos agrícolas diante dos desafios das mudanças climáticas. O foco é na utilização da palha de sorgo para produzir carboximetilcelulose (CMC), um bioinsumo para recobrimento de sementes de feijão. A CMC foi obtida após branqueamento da polpa, alcalinização e eterificação com ácido cloroacético, variando o tempo de reação. A qualidade da CMC foi comparada com a polpa branqueada e a casca de sorgo moída. CMC com grau de substituição (GS) de 0,5 e 0,81 foram obtidas e utilizadas como bioinsumo. Além do tratamento controle, as CMCs elaboradas foram testadas para recobrimento, impactando a qualidade fisiológica das sementes. A CMC revelou-se adequada como agente de recobrimento para sementes, com GS de 0,5, mostrando-se eficaz, resultando em mais de 74% de germinação aos 8 dias, 73% após envelhecimento acelerado, e crescimento de plântulas com 10,59 cm de comprimento. Os resultados indicam que a palha de sorgo apresenta potencial de utilização na produção de CMC que pode ser aplicada como recobrimento, melhorando a qualidade

fisiológica das sementes de feijão, contribuindo para práticas mais sustentáveis na agricultura.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. *Phaseolus vulgaris*. Agrobiodiversidade. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study addresses the need to adopt sustainable practices for the utilization of agricultural residues in the face of climate change challenges. The focus is on the use of sorghum straw to produce carboxymethylcellulose (CMC), a bioinput for coating bean seeds. CMC was obtained after pulp bleaching, alkalization, and etherification with chloroacetic acid, with reaction time being varied. The quality of the CMC was compared with bleached pulp and ground sorghum straw. CMC samples with degrees of substitution (DS) of 0.5 and 0.81 were obtained and used as bioinputs. In addition to the control treatment, the produced CMCs were tested as seed coatings, affecting the physiological quality of the seeds. CMC proved to be suitable as a seed-coating agent, with a DS of 0.5 showing the best performance, resulting in over 74% germination at 8 days, 73% after accelerated aging, and seedling growth of 10.59 cm in length. The results indicate that sorghum straw has strong potential for use in CMC production applied as seed coating, improving the physiological quality of bean seeds and contributing to more sustainable agricultural practices.

Keywords: *Sorghum bicolor*. *Phaseolus vulgaris*. Agrobiodiversity. Sustainability.

RESUMEN

Este estudio aborda la necesidad de adoptar prácticas sostenibles para el aprovechamiento de residuos agrícolas frente a los desafíos del cambio climático. El enfoque se centra en la utilización de la paja de sorgo para producir carboximetilcelulosa (CMC), un bioinsumo para el recubrimiento de semillas de frijol. La CMC se obtuvo tras el blanqueamiento de la pulpa, alcalinización y eterificación con ácido cloroacético, variando el tiempo de reacción. La calidad de la CMC fue comparada con la pulpa blanqueada y la cáscara de sorgo molida. Se obtuvieron CMC con grado de sustitución (GS) de 0,5 y 0,81, las cuales fueron utilizadas como bioinsumo. Además del tratamiento control, las CMC elaboradas fueron evaluadas para el recubrimiento, impactando la calidad fisiológica de las semillas. La CMC se mostró adecuada como agente de recubrimiento para semillas, con GS de 0,5, demostrando eficacia, con más del 74% de germinación a los 8 días, 73% después del envejecimiento acelerado y crecimiento de plántulas con 10,59 cm de longitud. Los resultados indican que la paja de sorgo presenta potencial de uso en la producción de CMC, la cual puede aplicarse como recubrimiento, mejorando la calidad fisiológica de las semillas de frijol y contribuyendo a prácticas más sostenibles en la agricultura.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*. *Phaseolus vulgaris*. Agrobiodiversidad. Sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

O recobrimento de sementes tem se consolidado como uma tecnologia estratégica na agricultura moderna, uma vez que permite a melhoria da

qualidade fisiológica das sementes, o favorecimento da germinação, proteger contra estresses bióticos e abióticos e promover maior uniformidade no estabelecimento das plântulas. Essa técnica tem sido amplamente estudada como alternativa sustentável para aumentar a eficiência produtiva, especialmente em cenários de mudanças climáticas e degradação ambiental (BENNETT; LLOYD, 2015).

Nos últimos anos, a literatura científica tem destacado a crescente demanda por materiais biodegradáveis e de baixo impacto ambiental para aplicação agrícola, em substituição a polímeros sintéticos e insumos químicos convencionais. De acordo com Afzal *et al.* (2023), o uso de biopolímeros no recobrimento de sementes representa uma abordagem promissora para integrar sustentabilidade, economia circular e aumento da produtividade agrícola, reduzindo impactos ambientais negativos. Esses autores ressaltam que polímeros naturais apresentam vantagens como biodegradabilidade, capacidade de retenção hídrica e compatibilidade com bioestimulantes.

Entre os biopolímeros de origem renovável, a carboximetilcelulose (CMC) tem recebido atenção significativa devido à sua elevada disponibilidade, baixo custo, baixa toxicidade e excelentes propriedades físico-químicas, como formação de filmes, adesividade e capacidade de retenção de água. Estudos recentes demonstram que revestimentos à base de CMC podem modular a absorção de água pelas sementes, proteger contra patógenos do solo e melhorar o vigor inicial das plântulas, especialmente sob condições de estresse hídrico (LEE *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2022).

A obtenção de CMC a partir de resíduos agrícolas lignocelulósicos tem sido amplamente investigada como alternativa sustentável para a valorização de biomassas subutilizadas. Resíduos como palha de sorgo, casca de soja, palha de arroz e resíduos florestais apresentam elevado teor de celulose e grande potencial para a produção de derivados celulósicos de alto valor agregado (ALVES *et al.*, 2019; BARROS *et al.*, 2020). Segundo Alves *et al.* (2019), a palha de sorgo destaca-se por seu elevado conteúdo de celulose, além de ampla disponibilidade no setor agroindustrial brasileiro.

Além disso, a incorporação de bioativadores de origem natural, como extratos de algas marinhas, tem sido apontada como uma estratégia eficiente para potencializar os efeitos do recobrimento de sementes. O uso de *Ascophyllum nodosum* tem demonstrado resultados positivos na germinação, no crescimento inicial e na tolerância ao estresse, devido à presença de compostos bioativos como fitormônios, aminoácidos e polissacarídeos (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014; DU JARDIN, 2015).

Nesse contexto, torna-se relevante investigar não apenas a aplicação da CMC como agente de recobrimento, mas também a influência de suas características estruturais, especialmente o grau de substituição, sobre a qualidade fisiológica das sementes. Estudos indicam que variações no grau de substituição da CMC afetam diretamente suas propriedades reológicas, adesivas e de interação com a semente, impactando o desempenho germinativo e o desenvolvimento inicial das plântulas (LEE *et al.*, 2023).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca em função do grau de substituição da carboximetilcelulose produzida a partir da palha de sorgo, associada ao uso de *Ascophyllum nodosum* como bioativador, contribuindo para o avanço de tecnologias sustentáveis aplicadas à agricultura e ao aproveitamento de resíduos agroindustriais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sustentabilidade e o aproveitamento de resíduos agrícolas

A intensificação das atividades agrícolas nas últimas décadas tem gerado grandes volumes de resíduos lignocelulósicos, cuja destinação inadequada contribui para impactos ambientais significativos, como emissões de gases de efeito estufa e degradação do solo. Diante desse cenário, o aproveitamento sustentável desses resíduos tem sido amplamente discutido na literatura científica como

estratégia fundamental para a promoção da economia circular e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

Resíduos agrícolas, como palhas e cascas, são ricos em celulose, hemicelulose e lignina, configurando-se como matérias-primas promissoras para a obtenção de bioprodutos de alto valor agregado. Estudos recentes destacam que a valorização desses resíduos pode reduzir a dependência de recursos fósseis, além de agregar valor econômico às cadeias produtivas agrícolas (CHERUBINI, 2010; ZABANIOTOU; IOANNIDOU, 2019).

Nesse contexto, a palha de sorgo (*Sorghum bicolor*) destaca-se pela ampla disponibilidade, elevada produtividade agrícola e alto teor de celulose, sendo considerada uma biomassa estratégica para aplicações industriais sustentáveis. Segundo Barros *et al.* (2020), o sorgo apresenta vantagens agronômicas relevantes, como tolerância à seca e adaptação a diferentes condições climáticas, o que reforça seu potencial como fonte renovável de biomassa.

Carboximetilcelulose como biopolímero de origem renovável

A carboximetilcelulose (CMC) é um derivado celulósico amplamente utilizado em diferentes setores industriais devido às suas propriedades físico-químicas, como solubilidade em água, capacidade de formação de filmes, viscosidade e biodegradabilidade. A obtenção da CMC envolve etapas de alcalinização da celulose e posterior eterificação, geralmente com ácido monocloroacético, resultando em um polímero funcionalizado com grupos carboximetila (HEINZE; KOSCHELLA, 2005).

O grau de substituição (GS) é um dos parâmetros mais importantes na caracterização da CMC, pois influencia diretamente suas propriedades reológicas, adesivas e de interação com superfícies biológicas. Estudos indicam que CMCs com GS intermediário apresentam melhor desempenho em aplicações agrícolas, especialmente como agentes de recobrimento, devido ao equilíbrio entre solubilidade e resistência mecânica (BISWAL; SINGH, 2004; ZHANG *et al.*, 2022).

Pesquisas recentes publicadas em periódicos de alto impacto, como *Carbohydrate Polymers* e *Industrial Crops and Products*, demonstram que a produção de CMC a partir de biomassas residuais é tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa, reforçando seu papel como bioinsumo sustentável (ADINUGRAHA; MARSENO; HARYADI, 2005; ALVES *et al.*, 2019).

Tecnologia de recobrimento de sementes

O recobrimento de sementes consiste na aplicação de uma camada de materiais sólidos ou poliméricos sobre a superfície da semente, com o objetivo de melhorar sua performance fisiológica, facilitar a semeadura e permitir a incorporação de insumos, como fertilizantes, bioestimulantes e agentes de proteção (TAYLOR *et al.*, 1998).

De acordo com Pedrini *et al.* (2017), o recobrimento pode influenciar positivamente a absorção de água, a proteção contra patógenos e a emergência das plântulas, desde que os materiais utilizados apresentem propriedades adequadas de permeabilidade e biodegradabilidade. Nesse sentido, polímeros naturais têm sido preferidos em detrimento de polímeros sintéticos, devido ao menor impacto ambiental e maior compatibilidade biológica (AFZAL *et al.*, 2023).

Estudos conduzidos por Lee *et al.* (2023), publicados na *Scientific Reports*, evidenciaram que revestimentos à base de biopolímeros celulósicos podem melhorar significativamente o vigor das sementes e o crescimento inicial das plântulas, especialmente sob condições de estresse hídrico.

Uso de biopolímeros naturais no recobrimento de sementes

A aplicação de biopolímeros naturais no recobrimento de sementes tem sido amplamente investigada como alternativa sustentável para melhorar a eficiência agrícola. Polímeros à base de celulose apresentam vantagens como capacidade de retenção de água, formação de filmes homogêneos e liberação controlada de compostos ativos (ZHANG *et al.*, 2022).

Segundo Afzal *et al.* (2023), o uso de biopolímeros no tratamento de sementes contribui para o aumento da taxa de germinação, uniformidade de emergência e desenvolvimento inicial das plântulas, além de reduzir a necessidade de insumos químicos convencionais. Esses efeitos estão diretamente relacionados às propriedades estruturais do polímero, especialmente ao grau de substituição no caso da CMC.

Qualidade fisiológica de sementes de feijão

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) é uma das culturas alimentares mais importantes mundialmente, sendo altamente sensível à qualidade fisiológica das sementes utilizadas na semeadura. A germinação, o vigor e a tolerância ao estresse são parâmetros fundamentais para garantir o estabelecimento adequado da cultura e o sucesso produtivo (MARCOS-FILHO, 2015).

Pesquisas recentes demonstram que tratamentos de sementes com bioinsumos podem melhorar significativamente esses parâmetros, promovendo maior uniformidade e crescimento inicial das plântulas (PEDRINI *et al.*, 2017; LEE *et al.*, 2023). Dessa forma, o uso de CMC como agente de recobrimento representa uma estratégia promissora para elevar a qualidade fisiológica das sementes de feijão, aliando desempenho agrônômico e sustentabilidade ambiental.

Lacunas na literatura e justificativa do estudo

Apesar dos avanços científicos relacionados ao uso de biopolímeros no recobrimento de sementes, ainda são limitados os estudos que avaliam a influência do grau de substituição da CMC produzida a partir de resíduos agrícolas específicos, como a palha de sorgo, sobre a qualidade fisiológica de sementes de feijão. Além disso, a comparação entre CMC, polpa branqueada e outros resíduos vegetais moídos permanece pouco explorada na literatura.

Assim, o presente estudo contribui para o avanço do conhecimento ao investigar a aplicação de CMC obtida da palha de sorgo como bioinsumo para recobrimento de sementes, oferecendo subsídios científicos para o desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis.

METODOLOGIA

A palha de sorgo obtida foi seca em estufa (Marconi, MA-035) a 105 ± 3 °C/ 12 h, seguida de moagem em moinho tipo Willy (SPlabor, SP-31), provido de malha de 1 mm de abertura.

A polpa bruta foi obtida empregando-se uma solução de NaOH a 1%, mantendo uma relação amostra/NaOH de 1/20 (m/v), a 70 °C por 2 h sob agitação em biorreator de bancada (Tec-Bio-Flex da Tecnal, Piracicaba, Br) a 700 rpm (BARROS *et al.*, 2020). A polpa branqueada foi obtida utilizando-se uma solução clarificante constituída de ácido peracético (50% de ácido acético glacial, 38% de peróxido de hidrogênio e 12% de água destilada), mantendo uma relação sólido/líquido de 1/20 (m/v). A reação foi mantida a 70 ± 1 °C sob agitação a 700 rpm por 2 h em biorreator de bancada (BARROS *et al.*, 2020).

A CMC foi produzida por acetilação da polpa branqueada (BARROS *et al.*, 2020), a qual foi tratada com álcool isopropílico por 30 min sob agitação, seguida de alcalinização com 10 mL de NaOH a 50% por 30 min sob agitação. As amostras obtidas foram eterificadas com base em 1,0 g de polpa por 1,2 g de ácido monocloroacético em tempos de reação de 60 e 120 min, respectivamente, a temperatura constante de 63 °C, em triplicata. A resposta, o grau de substituição (GS) foi calculado por meio de espectrometria de infravermelho, relacionando a intensidade da vibração de alongamento do grupo carboxila (-COOH) e a intensidade da vibração de alongamento do grupo metila (C-H) próximos às regiões de 1600 cm^{-1} e 2900 cm^{-1} (LEE *et al.*, 2023).

As imagens de MEV foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura de bancada Hitachi TM3030 plus. A espectrofotometria foi conduzida em espectrofotômetro de infravermelho Perkin Elmer Spectrum Frontier FT-IR/NIR

(Perkin Elmer, Norwalk, CT), na região espectral entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} .

O processo de recobrimento foi realizado segundo Bertoldo *et al.* (2010), foi preparada uma solução de CMC a 2%, à qual foram adicionados 0,3 g de solução de *A. nodosum*. O recobrimento foi conduzido ao acaso com três tratamentos, dois devido às amostras de CMC obtidas e o controle (sem recobrimento), com quatro repetições. Cada unidade experimental consistiu em um béquer de 150 mL contendo 200 sementes de feijão adicionadas da solução de CMC mantida em repouso 5 min. As sementes embebidas com a solução de CMC foram despejadas em tela metálica inox de 11 x 11 cm para remoção do excesso de líquido e secas em estufa com circulação de ar forçado a 35 ± 3 °C por 1 h. Após recobrimento, as sementes foram submetidas a avaliação da qualidade fisiológica. A análise da qualidade fisiológica das sementes tratadas foi realizada utilizando os métodos de Brasil (2009), Krzyzanowski *et al.* (1991) e Nakagawa (1999).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade, para verificar os efeitos dos tratamentos na qualidade fisiológica das sementes de feijão. Quando significativa, aplicou-se teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra as imagens microscópicas do CMC elaborado a partir da celulose da palha de sorgo em diferentes tempos de acetilação. O CMC₁ (Fig. 1A) mostrou uma estrutura mais compacta, com as fibras de celulose menos desagregadas. As partículas parecem estar mais unidas, com menos espaços entre elas, sugerindo uma menor exposição de superfícies reativas, com menos porosidade visível. No CMC₂ (Fig. 1B) devido ao maior tempo de exposição à reação de acetilação, resultou em uma maior desorganização estrutural das fibras. As fibras estão mais fragmentadas, e há uma maior quantidade de espaços entre elas, indicando maior formação de CMC com estrutura porosa e

fragmentada, o que pode indicar um processo de modificação mais intenso, afetando diretamente a morfologia das fibras de celulose. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por Alves *et al.* (2019).

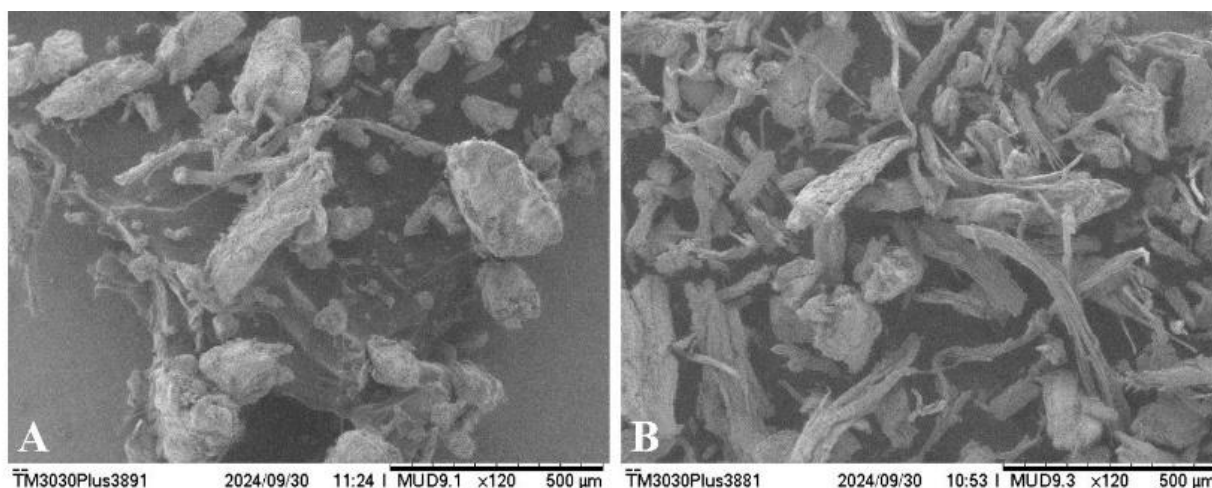


Figura 1. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (500X) de carboximetilceluloses de palha de sorgo obtidas em tempos de acetilação de: A) 60 min e B) 120 min.

Os resultados de GS confirmam a maior formação de CMC devido ao tempo de acetilação (Figura 2). As intensidades da vibração de alongamento do -COOH e C-H foram detectadas nos picos de número de onda entre $1595\text{-}1615\text{ cm}^{-1}$ e $2920\text{-}2930\text{ cm}^{-1}$, respectivamente, correspondendo a valores de transmitância de 44,39 e 48,23% para C-H dos espectros de IR de CMC_1 e CMC_2 , respectivamente, enquanto para -COOH se obtiveram valores de 22,23 e 39,47%, respectivamente. Barros *et al.* (2020) em CMC de casca de soja também detectaram um pico mais intenso em 1617 cm^{-1} atribuído ao estiramento C=O do grupo COO- , o que confirma a presença do substituinte carboximetila, e outro pico em 2926 cm^{-1} correspondente ao estiramento do grupo -CH , que tem relação com compostos orgânicos de hemicelulose e lignina, reafirmando a degradação dos compostos não celulósicos presentes.

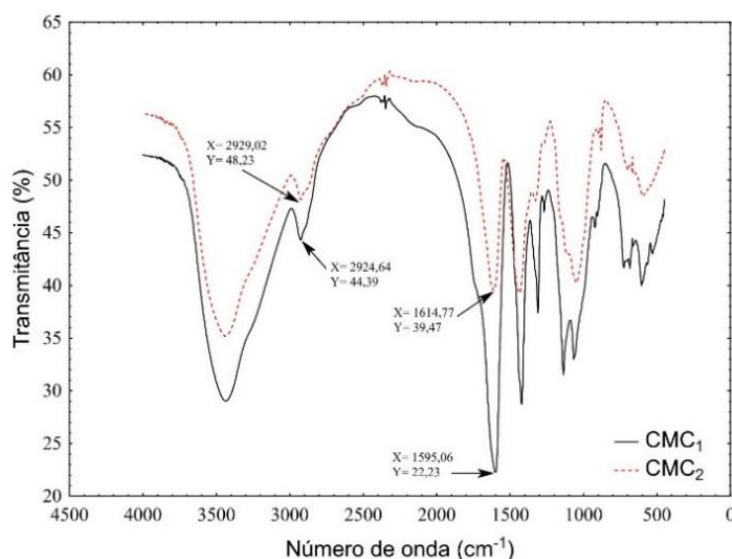


Figura 2. Espectro de FTIR de carboximetilceluloses de palha de sorgo obtidas em tempos de acetilação de: A) CMC₁ em 60 min e B) CMC₂ em 120 min.

Lee *et al.* (2023), em quatro amostras de CMC comercial com valores de GS entre 0,65 e 1,15 fornecidos pelo fabricante no momento da compra das amostras, calcularam o GS relacionando a intensidade da vibração de alongamento do -COOH na região de 1605 cm⁻¹ com a intensidade da vibração de alongamento do C-H na região de 2920 cm⁻¹, de acordo com a Eq. 1, onde N representa a constante numérica usada para ajustar o grau de substituição da celulose não tratada para 0. Os valores obtidos não diferiram muito dos valores fornecidos pelo fabricante, variando o GS de 0,74 a 1,20.

$$GS = \frac{I_{1605 \text{ cm}^{-1}}}{I_{2920 \text{ cm}^{-1}}} - N \quad (1)$$

Onde: GS = grau de substituição

N= uma constante de correção determinada empiricamente.

Aplicando a Equação 1, os valores de GS da CMC₁ e CMC₂ foram de 0,50 e 0,81, respectivamente, concluindo-se que a variação do tempo de 60 min para 120 min aumentou o grau de substituição do CMC. O valor de GS da CMC obtida após duas horas de acetilação foi compatível com os obtidos por Lee *et al.* (2023). O tempo de 60 min de acetilação só teve a capacidade de acetilar um sexto dos grupos - OH da celulose da polpa branqueada da palha de sorgo.

No entanto, no processo de recobrimento das sementes de feijão tem se observado que o CMC₁ teve a capacidade de criar um ambiente propício para a germinação das plantas, resultando em uma emergência mais rápida e uniforme, além de conferir proteção contra condições adversas e patógenos do solo, aprimorando, assim, a taxa de germinação, e contribuição no aumento da produtividade das culturas. A Tabela 1 mostra de maneira conclusiva que o tratamento CMC₁ exerceu um efeito positivo na qualidade fisiológica das sementes de feijão quando comparado às sementes não tratadas (controle) e recobertas com CMC₂ (GS= 0,81). Esta constatação é corroborada pela Figura 3, na qual é evidenciado um significativo crescimento inicial das plântulas de feijão.

Tabela 1. Variação da qualidade fisiológica de sementes de feijão em função do grau de substituição do CMC obtida a partir da polpa celulósica da palha de sorgo.

Tratamentos**	EA (%)	G (%)	CP (cm)
Controle	74,5±0,6 ^a	71,5±1,9 ^a	9,34±0,8 ^b
CMC ₁	73,0±1,4 ^a	74,5±1,7 ^a	10,59±0,3 ^a
CMC ₂	71,0±0,8 ^b	65,5±1,3 ^b	8,56±0,3 ^b

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

* Resultados médios de quatro repetições e seus respectivos desvios padrão. ** Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey. EA= envelhecimento acelerado; G= germinação; CP= comprimento plântula.



Figura 3. Imagens fotográficas de sementes germinadas: A) Tratamento padrão (sem recobrimento), B e C) com recobrimento CMC₁ e CMC₂, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A qualidade fisiológica dos feijões tratados com CMC₁ foi superior em comparação com os demais tratamentos, enquanto o tratamento CMC₂ foi inferior em relação aos demais.

O teste de envelhecimento acelerado revelou que as sementes de feijão, quando recobertas com CMC₁, apresentaram uma conservação superior, porém estatisticamente igual ao tratamento padrão. Por outro lado, o efeito do recobrimento do tratamento CMC₂ sobre o teste de envelhecimento acelerado foi inferior aos demais.

O crescimento das plântulas pode ser quantificado por meio do comprimento e da massa de matéria seca das plântulas. Ambas as medidas representam grandezas físicas (dimensão e massa, respectivamente) e têm como objetivo avaliar o desempenho das plântulas, cuja expressão depende da qualidade fisiológica das sementes (Nakagawa, 1999). Sendo assim, o comprimento das plântulas, conforme apresentado na Tabela 1, revelou diferenças estatísticas entre os tratamentos, destacando-se os valores máximos no tratamento CMC₁, com uma média de 10,59 cm. Neste tratamento, foram observadas raízes primárias e secundárias com maior comprimento e densidade. As sementes com recobrimento CMC₂ apresentaram, em média, 8,56 cm de comprimento, estatisticamente diferente do tratamento CMC₁, porém, estatisticamente comparável com o tratamento padrão.

Estes resultados são interessantes do ponto de vista de diminuição do tempo e de energia durante a fabricação do CMC, no entanto, o valor obtido (GS= 0,5) e sua alta relação com a qualidade fisiológica das sementes discorda com os resultados obtidos por Barros *et al.* (2020). Estes autores obtiveram um CMC de casca de soja com GS= 1,56 e, uma solução de 2% desse CMC mostrou-se eficaz, resultando em mais de 94% de germinação aos 8 dias, 93% na primeira contagem aos 5 dias, 43,5% após envelhecimento acelerado, e crescimento de plântulas com 34,2 cm de comprimento e massa seca de 0,05 g, valores muito superiores aos encontrados no presente estudo. Estas comparações sugerem que há necessidade de maiores estudos sobre a

elaboração de CMC de palha de sorgo com diferentes graus de substituição e sua aplicabilidade no recobrimento de sementes.

CONCLUSÃO

No processo de acetilação da polpa branqueada obtida a partir da palha de sorgo formaram-se duas amostras de CMC com diferentes graus de substituição, concluindo-se quanto maior é o tempo de acetilação da polpa celulósica, maior é o grau de substituição. Em 60 e 120 min de acetilação se produziram CMC com valores de graus de substituição de 0,5 e 0,81, respectivamente, os quais afetam o processo de recobrimento das sementes de feijão. Elevado grau de substituição promove (GS= 0,81) baixa qualidade fisiológica das sementes. Em contraste, CMC com valor baixo de GS é capaz de formar uma solução adesiva e manter a qualidade fisiológica das sementes de feijão. Assim mesmo, há necessidade de estudos mais conclusivos com outros valores de GS da CMC derivada da palha de sorgo.

AGRADECIMENTOS

À Plataforma institucional de Pesquisa e Inovação em Bioinsumo e Pró-Laboratórios da Universidade Estadual de Goiás, à CAPES pela concessão de bolsas, à Embrapa Agroindústria de Alimentos e PIBIC/CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ADINUGRAHA, M. P.; MARSENO, D. W.; HARYADI, Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from cavendish banana pseudostem (*Musa cavendishii* Lambert). *Carbohydrate Polymers*, v. 62, n. 2, p. 164–169, 2005.

AFZAL, I. *et al.* Seed coating with biopolymers: mechanisms, challenges and future prospects. *Agronomy*, v. 13, n. 2, p. 1–18, 2023.

ALVES, J. A. A. *et al.* Sorghum straw: pulping and bleaching process optimization and synthesis of cellulose acetate. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 135, p. 877–886, 2019.

BARROS, P. J. R. *et al.* Soybean hulls: optimization of the pulping and bleaching processes and carboxymethyl cellulose synthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 144, p. 208–218, 2020.

BENNETT, G.; LLOYD, J. *Seed inoculation, coating and precision pelleting: science, technology and practical applications*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

BERTOLDO, J. *et al.* Emprego de polímeros na qualidade tecnológica de grãos de feijão sob condições de armazenamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 975–984, 2010.

BISWAL, D. R.; SINGH, R. P. Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*, v. 57, n. 4, p. 379–387, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, v. 383, n. 1–2, p. 3–41, 2014.

CHERUBINI, F. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n. 7, p. 1412–1421, 2010.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 3–14, 2015.

GEISSDOERFER, M. *et al.* The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757–768, 2017.

HEINZE, T.; KOSCHELLA, A. Carboxymethyl ethers of cellulose and starch: a review. *Macromolecular Symposia*, v. 223, p. 13–40, 2005.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. *Informativo ABRATES*, v. 1, n. 2, p. 15–50, 1991.

LEE, Y. J. *et al.* Application of spectroscopy to analyze the degree of substitution of carboxymethyl cellulose. *Journal of Korea TAPPI*, v. 55, n. 1, p. 103–111, 2023.

MARCOS-FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1–2.24.

PEDRINI, S. *et al.* Seed coating: science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, v. 22, n. 2, p. 106–116, 2017.

TAYLOR, A. G. *et al.* Seed enhancements. *Seed Science Research*, v. 8, n. 2, p. 245–256, 1998.

ZABANIOTOU, A.; IOANNIDOU, O. Lignocellulosic biomass valorization for bio-energy and bioproducts: a circular economy approach. *Waste and Biomass Valorization*, v. 10, p. 215–231, 2019.

ZHANG, Y. *et al.* Cellulose-based biopolymers for sustainable seed coating applications. *Industrial Crops and Products*, v. 176, p. 114326, 2022.