



Doses de hidrogel na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)

Hydrogel doses in sugarcane (*Saccharum officinarum*)

Fabio Olivieri de Nobile¹ ; Richard Francisco de Noá Mariano²; Patrícia Aparecida Cimardi²; Ivana Marino Bárbaro³; Elaine Cristine Piffer Gonçalves³

¹Docente do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, UNIFEB.

²Discentes do curso de agronomia UNIFEB – Barretos/SP.

³Colina Regional Research and Development Unit/SP.

RESUMO

O cultivo da cana-de-açúcar tem sido um elemento crucial na história econômica do Brasil, destacando-se como principal produto de exportação. No entanto, a escassez hídrica na agricultura brasileira representa um desafio significativo, sendo atribuída a fatores como mudanças climáticas, desmatamento e uso ineficiente da água. Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia do hidrogel na cultura da cana-de-açúcar, considerando sua capacidade de retenção de água no solo, e melhorar a disponibilidade hídrica para as plantas. Os experimentos foram conduzidos em vasos preenchidos com solo e doses variadas de hidrogel. Foram conduzidas medições de diâmetro do colmo, altura da planta, peso da massa seca, contagem do número de folhas e contagem da taxa de brotação das gemas. Os resultados revelaram que não houve diferenças significativas nas métricas de crescimento entre os tratamentos. No entanto, são necessárias mais pesquisas para entender completamente os efeitos do hidrogel em diferentes estágios de crescimento e em condições de campo.

Palavra-chave: manejo, plantio, hidratação radicular, fertilizantes

ABSTRACT

The cultivation of sugar cane has been a crucial element in the economic history of Brazil, standing out as the main export product in the country. However, water scarcity in Brazilian agriculture imposes a significant challenge, being attributed to factors such as climate change, deforestation, and inefficient water use. This study aims to evaluate the effectiveness of the hydrogel in sugarcane cultivation, considering its capacity to retain water in the soil and improve water availability for plants. The experiments were carried out in pots filled with soil and varying doses of hydrogel. Measurements were taken for stem diameter, plant height, dry mass weight, counting of the number of leaves, and counting of the bud sprouting rate. The results revealed no significant differences in growth metrics between treatments. However, further research is needed to fully understand the effects of hydrogel at different growth stages and under field conditions.

Keyword: Sugarcane, hydrogel, fertilization, irrigation.

Autor para correspondência: Fabio Olivieri de Nobile: fabio.nobile@unifeb.edu.br, (16) 99601-8282

Recebido em: 15 de outubro de 2024

Aceito para publicação em: 12 de dezembro de 2024

Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais representativas no Brasil, desempenhando papel fundamental na economia e na história nacional. Desde o período colonial, tornou-se um dos principais produtos de exportação e base de importantes cadeias produtivas ligadas ao açúcar, ao etanol e à bioenergia.

Na safra 2023/24, iniciada em abril, o cenário do setor sucroenergético apresenta perspectivas promissoras. A previsão de aumento da produção, somada à redução das exportações de países como Índia e Paquistão, fortalece a competitividade brasileira. Entre abril e outubro, foram exportadas 18,8 milhões de toneladas de açúcar, representando um crescimento de 9,7% em relação ao mesmo período do ciclo anterior (Companhia Nacional de Abastecimento, 2023).

Contudo, o país enfrenta um desafio significativo: a escassez hídrica na agricultura. Mudanças climáticas globais têm levado a secas mais intensas e prolongadas, comprometendo a disponibilidade de água para o cultivo. O desmatamento ilegal e a degradação florestal também afetam o ciclo hidrológico, reduzindo a quantidade de água disponível para uso agrícola. Além disso, o manejo inadequado da irrigação e o uso ineficiente da água aumentam o desperdício e os custos de produção.

Nesse contexto, soluções tecnológicas capazes de otimizar o uso da água se tornam indispensáveis para a sustentabilidade do setor. Entre as alternativas disponíveis, destaca-se o uso de polímeros hidroabsorventes, conhecidos como hidrogéis. Esses materiais apresentam alta capacidade de retenção de água, o que lhes confere potencial para mitigar os efeitos da escassez hídrica e melhorar a eficiência produtiva (Azevedo et al., 2018).

O hidrogel, quando incorporado ao solo, forma uma rede de partículas capaz de armazenar água durante períodos chuvosos e liberá-la gradualmente conforme a demanda das plantas. Essa característica garante um fornecimento hídrico mais estável para culturas de ciclo longo, como a cana-de-açúcar, mesmo sob condições de estiagem (Ibrahim, 2021).

Além da retenção de água, o uso de hidrogel pode reduzir a frequência de irrigações e diminuir custos operacionais. A manutenção da umidade do solo em níveis adequados favorece o desenvolvimento do sistema radicular, melhora a absorção de nutrientes e aumenta a resistência das plantas a doenças. Ao mesmo tempo, o material atua como amortecedor

frente às variações climáticas, contribuindo para a estabilidade da produção agrícola (Prevedello & Balena, 2020; Yonezawa, 2016).

Outro ponto relevante é o efeito positivo do hidrogel na conservação do solo. Sua aplicação contribui para reduzir a lixiviação de nutrientes e a erosão, promovendo práticas de cultivo mais sustentáveis, especialmente em áreas de cultivo intensivo (Yonezawa, 2016). Tais benefícios são particularmente importantes diante das preocupações crescentes com a sustentabilidade agrícola e a conservação dos recursos naturais.

Apesar das vantagens, a adoção do hidrogel impõe alguns desafios. O custo inicial pode ser um entrave para pequenos e médios produtores, e seu uso eficaz requer planejamento detalhado, análise de solo e capacitação técnica. Além disso, estudos apontam para a necessidade de avaliar a biodegradabilidade e os impactos ambientais dos hidrogéis, considerando seu ciclo de vida e possíveis efeitos na microbiota do solo (Marques & Pinto, 2019; Oliveira et al., 2017).

Pesquisas recentes sugerem ainda a importância de se desenvolverem novas formulações de hidrogéis baseadas em biopolímeros de fontes renováveis, como celulose ou alginato, visando reduzir impactos ambientais e ampliar sua aceitação na agricultura (Marques & Pinto, 2019). Treinamentos e programas de extensão agrícola também são recomendados para orientar produtores quanto às melhores práticas de aplicação, maximizando os benefícios e minimizando custos e riscos (Azevedo et al., 2018; Yonezawa, 2016).

Diante desse panorama, parte-se da hipótese de que a aplicação do hidrogel em diferentes doses pode melhorar a retenção de água no solo, otimizar a eficiência hídrica e potencializar o desenvolvimento e a produtividade da cana-de-açúcar. Assim, este estudo se justifica pela busca de soluções tecnológicas que integrem produtividade agrícola, viabilidade econômica e conservação ambiental, contribuindo para a sustentabilidade do setor sucroenergético brasileiro.

Material e métodos

Local do experimento

O trabalho foi desenvolvido em ambiente protegido no Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – UNIFEB, na cidade de Barretos, estado de São Paulo, a partir das

seguintes coordenadas geográficas: latitude: 20° 33' 26" Sul; longitude 48° 34' 04" Oeste e altitude média de 530 metros.

O ambiente protegido é composto de estrutura coberta com plástico transparente e laterais teladas utilizados para controlar temperatura, luminosidade e umidade, reduzindo a ação de pragas e intempéries. Equipado com bancadas e irrigação localizada, garante condições adequadas para o desenvolvimento uniforme e vigoroso das mudas de plantas.

Solo

O solo foi coletado da área experimento do UNIFEB, classificado como latossolo vermelho (Tabela 1, 2 e 3).

A amostragem para análise química foi realizada coletando-se 20 subamostras durante um percurso aleatório, na camada arável, de 0 a 20 cm de profundidade, sendo o conteúdo então peneirado com peneira *mesh* 10 (abertura de 2,00 mm), para retirar impurezas vegetais e minerais e evitar a formação de torrões, que podem dificultar o enchimento dos vasos. As subamostras foram reunidas e, após homogeneização do material, foi coletada uma amostra composta, considerada representativa da área estudada.

Essa amostra composta foi seca ao ar, passada por peneira de malha de 2 mm de diâmetro, obtendo-se a terra fina seca ao ar, a qual foi encaminhada ao laboratório de análises química para avaliação

das propriedades para fins de fertilidade e correção da acidez.

Para a homogeneização do solo nos vasos, foi pesado 1L de solo em uma balança pertencente à faculdade, juntamente a uma proveta, para verificar o peso médio e, então, encher todos os vasos com a mesma quantidade.

Correção da acidez do solo e adubação

De acordo com Van Raij et al. (2022), não há necessidade de correção do pH do solo, sendo aplicados 30kg (N), 120kg (P) e 150kg (K) por hectare.

Para que a plantação em campo considerasse a recomendação relatada acima, levando em conta os 400kg ha⁻¹, o conteúdo a ser aplicado aos vasos considerou os seguintes cálculos: para 400kg ha⁻¹ em 10.000 m² do adubo 04-30-10, em vasos de 8,5 L, diâmetro de 22 cm e raio a 11 cm, conforme a fórmula de área ($A = \pi \times r^2$), obteve-se o resultado de 379,94 m²; já por meio do cálculo da regra de três, obtiveram-se 15,19 gramas, sendo 16 gramas referente ao adubo necessário 4-30-10 por vaso, sendo aplicado no dia 5 de outubro de 2023.

No experimento com cana-de-açúcar, foram testadas três doses de hidrogel, além de um tratamento controle (sem aplicação do produto). As seguintes doses foram aplicadas:

- Tratamento controle: sem adição de hidrogel;
- Dose ½: 2,5 g de hidrogel por vaso;

Tabela 1 – Análise física do solo utilizado para o cultivo da cana-de-açúcar no experimento.

Composição granulométrica (g kg ⁻¹)					
Prof. (m)	Areia grossa	Areia total	Areia fina	Silte	Argila
0,00-0,20	415	668	253	81	250

Tabela 2 – Análise química do solo.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	CTC	V	S
-	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³			%	mg dm ⁻³
5,5	13,19	8,37		0,49 20,68 6,88 41,33			67,88	4,15
H+Al = 13,28 mmol _c dm ⁻³								

Tabela 3. Análise química do solo para os teores de micronutrientes.

Zn	B	Mn	Cu	Fe
mg dm ⁻³				
0,5	0,3	1,6	0,3	10,8

- Dose recomendada (1): 5 g de hidrogel por vaso (dose indicada pelo fabricante);
- Dose alta (2): 10 g de hidrogel por vaso.

Cada tratamento foi repetido cinco vezes, totalizando 20 vasos de 8,5 L. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado. As doses foram calculadas considerando a recomendação do fabricante (5 g para 1 L de água, aplicados na proporção de 1 L do produto pronto para 3 L de solo)

Instalação e Condução do Experimento

De acordo com Doorenbos & Kassan (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia entre 15.000 e 25.000 mm. Para o experimento, adotou-se uma lâmina de 20.000 mm. Considerando o espaçamento de 1,5 m e a distribuição de duas plantas por metro linear, obtêm-se cerca de 13.333 plantas/ha. Assim, estimou-se um consumo de 15 L de água por planta, correspondendo a 200.000 L/ha, aplicados a uma taxa de 250 mL/dia. Cada vaso recebeu quatro gemas para avaliação do vigor.

O solo foi pesado em uma proveta de 1L, obtendo-se a densidade de 1.320 kg L⁻¹, assim considerando um volume de vaso de 6L, a quantidade de solo estabelecida por vaso foi de 7.920 kg, sendo então homogeneizado a fim de estar pronto para o plantio.

O plantio foi realizado no dia 05 de outubro de 2024. Para as avaliações, foram retiradas as ponteiros das 22 plantas e selecionada cada gema. Assim, foram consideradas quatro gemas por vaso, sendo distribuídas uniformemente e plantadas a 3cm de profundidade, obtendo 80 gemas para o plantio.

O experimento foi conduzido por 60 dias até a colheita dos resultados, que se trata da estimativa de tempo da atuação do hidrogel no solo.

Desempenho vegetativo

Diâmetro de colmos da cana-de-açúcar

Foram escolhidas cinco plantas representativas dentro de cada parcela que estivessem sob condições uniformes de manejo, selecionando colmos em estágio similar de desenvolvimento, preferencialmente no meio do ciclo de crescimento. Garantiu-se que os colmos estivessem limpos, removendo qualquer resíduo ou sujeira que pudesse interferir na medição, a qual foi conduzida 30 cm acima do solo.

Foi utilizado um paquímetro digital para medir o diâmetro do colmo, um instrumento que proporciona medições precisas e apresenta fácil manejo. O paquímetro é usado perpendicularmente ao eixo longitudinal do colmo para se obter uma leitura precisa do diâmetro.

Foram escolhidas cinco plantas representativas dentro de cada parcela que estivessem sob condições uniformes de manejo, selecionando colmos em estágio similar de desenvolvimento, preferencialmente no meio do ciclo de crescimento..

Foi realizada a medição da altura de cada planta, marcada a partir da base ao ponto mais alto do colmo, excluindo as folhas. A medição foi feita com a trena posicionada verticalmente e em contato direto com o colmo da planta.

Inicialmente, foi selecionada uma amostra representativa de plantas no final do experimento, dentro de cada parcela. Essas plantas foram coletadas integralmente, incluindo raízes, caules e folhas. Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas e transportadas ao laboratório para a fase de preparação.

No laboratório, as amostras foram primeiramente lavadas com água para remover impurezas superficiais, como solo e detritos. Em seguida, as plantas foram separadas em suas diferentes partes (raízes, caules e folhas).

Posteriormente, as partes separadas de cada planta foram colocadas em estufas com circulação de ar a uma temperatura controlada de 70°C. As amostras permaneceram na estufa até atingirem peso constante, indicando que toda a umidade fora removida. Após a secagem, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas novamente para determinar a massa seca.

Para avaliar o número de folhas em plantas de cana-de-açúcar, uma metodologia detalhada e sistemática é essencial para garantir a precisão e reprodutibilidade dos resultados. Inicialmente, foram selecionadas cinco plantas por parcela em fase adequada para a contagem de folhas, antes da fase de maturação, para evitar a senescência foliar, a qual poderia dificultar a contagem.

Para a contagem de folhas, cada planta foi analisada individualmente. Considerou-se como folha qualquer estrutura foliar que tivesse pelo menos um terço de sua lâmina foliar exposta, independentemente do estado de senescência. Foi registrado o número total de folhas verdes, assim como o de folhas senescentes, para possíveis

análises sobre o vigor da planta e o efeito de práticas agronômicas sobre a fenologia da cana-de-açúcar.

De acordo com Silva et al. (2020), essa medição é crucial para determinar a viabilidade do plantio de cana-de-açúcar. A seguinte fórmula é utilizada:

$$\left(\frac{\text{Número de Gemas Brotadas} \times 100}{\text{Número Total de Gemas Plantadas}} \right)$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Barbosa & Maldonado, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desempenho vegetativo

Segundo os dados da Tabela 4, observa-se que a dose ½, o controle e a dose 1 não diferem estaticamente, já para a dose 2, foi observado o menor diâmetro de colmo, não diferindo estaticamente da dose 1, mas sim dos demais.

Conforme a Tabela 4, observa-se a mesma situação da avaliação do diâmetro do colmo, em que as doses de hidrogel apresentaram os menores valores, porém, neste caso, houve a menor altura de planta.

A diminuição da altura e do diâmetro do colmo com o uso da maior dose do hidrotentor pode ser decorrente do excesso de água e nutrientes armazenados no substrato, que pode ocasionar a diminuição do crescimento. Como foi visto na análise do substrato (Tabela 1), a adição de altas doses do hidrogel aumenta a retenção de água, principalmente em relação à água remanescente, que, quando em excesso, pode reduzir a aeração das raízes (Navroski et al., 2015).

Segundo (Batista et al., 2013, as avaliações de altura e diâmetro de plantas aos 10, 20 e 30 dias

após o plantio (DAP) não apresentaram diferenças estatísticas entre as doses aplicadas de polímero ou ao estresse hídrico aplicado. Isso demonstra que o polímero não influenciou o desenvolvimento inicial das mudas.

Doses elevadas de hidrogel consequentemente diminuem espaços porosos, dificultando o desenvolvimento radicular, sendo prejudicial para o crescimento da planta como um todo. Já para os resultados expressos na Tabela 4, quanto ao peso de massa, o uso de hidrogel apresentou os menores pesos, evidenciando que o produto foi prejudicial para o desenvolvimento da cultura.

Marques et al. (2013) constataram que devido ao uso do polímero e à consequente maior capacidade de retenção de água no solo, houve maior perfilhamento e maior formação de palhço na cana planta. Nota-se que o uso de hidrogel disponibilizou crescimento vegetativo mais elevado, promovendo gradualmente peso de massa seca, porém, doses elevadas desse produto podem provocar a interrupção do crescimento radicular, interrompendo a absorção de nutrientes e água no solo, deixando assim de ter crescimento vegetativo em expansão.

Já para o número de folhas total, não se obteve diferença entre nenhum tratamento, sendo assim, todos os tratamentos são exatamente iguais, segundo as estatísticas.

Para Rodrigues (2023), o tratamento controle (sem aplicação de hidrogel), 100%CRV (capacidade de retenção e água no vaso e maior teor de umidade do substrato) resultou no maior número de folhas totais, superando todos os demais níveis ao se incrementarem 25 folhas durante o período estudado.

Hidrogéis agrícolas são polímeros que têm a capacidade de reter uma grande quantidade de água e nutrientes, liberando-os gradualmente para as plantas. Essa propriedade é particularmente vantajosa em condições de seca ou em solos com

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros vegetativos da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de hidrogel.

Tratamento	Diâmetro do colmo (mm)	Altura da planta (cm)	Massa seca (g)	Nº de folhas
Controle	9,85 a	23,85 ab	32,90 a	7,01 a
Dose 1	8,25 a	33,03 a	47,11 a	7,93 a
Dose 1	5,56 ab	19,43 ab	10,81 b	4,36 a
Dose 3	1,40 b	10,80 b	3,43 b	3,70 a

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV%: diâmetro do colmo = 45,05; altura da planta = 55,33; massa seca = 33,84; nº de folhas = 61,84.

baixa capacidade de retenção de água. No entanto, há situações em que o uso de hidrogel pode não ser benéfico ou até mesmo reduzir o crescimento vegetativo, como no caso da cana-de-açúcar em certos contextos.

Hidrogéis podem reter água em quantidades além do necessário para a planta, o que pode levar a condições de excesso de umidade no solo. A cana-de-açúcar, apesar de necessitar de água para um bom crescimento, também demanda períodos de menor umidade para o desenvolvimento ótimo. Um solo constantemente úmido pode levar a problemas como menor aeração do solo, o que afeta negativamente o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes.

Os hidrogéis podem alterar o equilíbrio de nutrientes no solo, principalmente pela modulação na liberação de íons e nutrientes. Se o hidrogel não for bem ajustado às necessidades específicas da cultura da cana-de-açúcar, pode haver deficiências ou desequilíbrios nutricionais que afetam o crescimento vegetativo.

Em algumas condições, os hidrogéis podem influenciar a temperatura do solo. Por exemplo, um solo mais úmido pode ter uma temperatura mais baixa, o que pode afetar o desenvolvimento das raízes e a atividade metabólica da cana-de-açúcar, especialmente em regiões que necessitam de temperaturas mais elevadas para o crescimento ideal.

A eficácia dos hidrogéis depende da sua aplicação correta em termos de quantidade e técnica. Um manejo inadequado pode levar ao uso excessivo ou insuficiente, ambos podendo afetar negativamente o crescimento vegetativo.

Portanto, enquanto o hidrogel oferece benefícios significativos em termos de conservação de água e eficiência no uso de nutrientes, seu impacto no crescimento vegetativo da cana-de-açúcar depende de uma série de fatores que devem ser cuidadosamente gerenciados. A adequação de seu uso deve ser avaliada com base nas condições locais de cultivo, características do solo, clima e práticas agronômicas específicas.

4.2 Biometria avaliada por meio da taxa de brotação

A taxa de brotação é calculada com base na porcentagem das gemas que brotaram com sucesso em relação ao número total de gemas testadas. Para os resultados obtidos percentualmente, apresenta-se

que o polímero hidrogel interferiu na brotação da planta, não deixando que as raízes se expandissem ou que sua parte aérea se desenvolvesse, porém, para a dose $\frac{1}{2}$, destacou-se o sucesso de brotação.

A taxa de brotação respondeu de forma não linear às doses de hidrogel. Considerando $n=20$ gemas por tratamento (cinco repetições, quatro gemas/vaso), a $\frac{1}{2}$ dose ($2,5 \text{ g vaso}^{-1}$) apresentou o melhor desempenho (85%), superando o controle (65%). Em contraste, as doses superiores reduziram acentuadamente a emergência: uma dose (5 g vaso^{-1}) resultou em 35% e duas doses (10 g vaso^{-1}) em $\approx 15\%$. Esses dados apontam para um ótimo resultado em baixa dose, com perda de desempenho em doses mais altas.

Do ponto de vista ecofisiológico, esse padrão é compatível com o papel do hidrogel em modular o balanço água-ar no substrato. Em pequena quantidade, o polímero tende a amortecer a flutuação hídrica na zona da gema, favorecendo a protrusão do broto. Entretanto, incrementos de dose podem elevar a saturação hídrica e colapsar macroporos, reduzindo a aeração e a difusão de O_2 , o que dificulta a emergência e o estabelecimento inicial. Em condições de vaso (volume restrito e drenagem limitada), tais efeitos físicos do substrato se amplificam, explicando a queda progressiva da brotação nas doses 1 e 2.

Há também coerência interna com as demais variáveis vegetativas do estudo: as doses mais altas que deprimiram a brotação foram igualmente associadas à menor altura de planta, ao menor diâmetro de colmo e à menor massa seca (Tabela 4), ao passo que a $\frac{1}{2}$ dose — que maximizou a emergência — se situou entre os melhores desempenhos no crescimento inicial. Esse paralelismo sugere que a brotação funciona como preditor do arranque vegetativo sob as condições testadas, reforçando a existência de uma zona ótima de uso do hidrogel em baixos níveis.

Do ponto de vista aplicado, os resultados indicam que para mudas de cana-de-açúcar em vasos de 8,5 L, doses conservadoras são preferíveis. Recomenda-se, em protocolos de produção, ajustar a dose ao volume de substrato, assegurar distribuição homogênea (p.ex., pré-hidratação do polímero) e sincronizar a irrigação para evitar saturação prolongada. Para refinar a recomendação de manejo, estudos subsequentes devem explorar níveis intermediários entre $2,5$ e 5 g vaso^{-1} , diferentes texturas de substrato e medidas diretas das propriedades físico-hídricas (porosidade de

aeração, condutividade de ar e curva de retenção), de modo a delimitar com maior resolução a faixa ótima de dose e sua janela operacional.

Oliveira et al. (2004) relataram maior brotação e maior número de perfilhos em viveiros de produção com o uso de polímero hidroabsorvente. Já para a cana-soca (Marques et al., 2013) também houve um maior perfilhamento, que pode ser explicado pela persistência do polímero no solo. Observa-se que o percentual de brotação visa fortemente ao uso de hidrogel no solo, porém, sua quantidade excessiva prejudica a brotação da planta.

Conclusão

A eficácia dessa tecnologia não se apresentou de maneira uniformemente benéfica sob as condições experimentais aplicadas. Observou-se que embora os hidrogéis possuam propriedades potencialmente vantajosas para a retenção de umidade e nutrição no solo, as interações específicas com a biologia e as exigências agrônômicas da cana-de-açúcar não se alinharam de forma adequada a essas propriedades.

Enquanto a tecnologia de hidrogel mantém um potencial promissor em termos de melhorar a eficiência hídrica em culturas agrícolas, sua aplicação na cultura da cana-de-açúcar demanda uma investigação mais aprofundada, sendo essencial que futuros estudos se concentrem em determinar a dosagem e a formulação ideais que harmonizem a capacidade de retenção de água e nutrientes do hidrogel com as necessidades fisiológicas e ambientais da cana-de-açúcar. Ajustes precisos na aplicação do hidrogel poderiam, eventualmente, desbloquear os benefícios dessa tecnologia, otimizando tanto a sustentabilidade quanto a produtividade agrícola.

Referências

Azevedo, T. L., Bertonha, A., & Gonçalves, A. C. A. (2018). Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, 3(5), 23-31.

Barbosa, Jc., & Maldonado Júnior, W. (2015). AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: FUNEP. 396p.

Batista, S.C.O., Carvalho, D.F., Rocha, H.S., Thaner dos Santos, H., & Medici, L.O. (2013). Production of lettuce automatically watered with

a low cost controller. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(2), 485-489.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2023). *Produção de cana-de-açúcar cresce 10,9%, estimada em 677,6 milhões de toneladas na safra 2023/24*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5295-producao-de-cana-de-acucarcrece-10-9-estimada-em-677-6-milhoes-de-toneladas-na-safra-2023-24>

Doorenbos, J., & Kassan, A. H. (1979). *Yield response to water* (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 33, 193 p.). Rome: Food and Agriculture Organization.

Ibrahim, A. (2021). *Utilização de polímeros de hidrogel na agricultura*. Brasília: Edicoes Nosso Conhecimento.

Marques, T. A., & Pinto, L. E. (2019). Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(7), 680-685.

Marques, T. A., Santos, A. T., & Marques, P. A. A. (2013). Polímero hidrogel e profundidade de plantio na produção de cana-de-açúcar. *Irriga*, 18(1), 126-138.

Navroski, C. M., Araújo, M. M., Reininger, S. R. L., Muniz, B. F. M., & Pereira, O. M. (2015). Influencia do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. *Floresta*, 45(2), 315-328.

Oliveira, C. P., Alvarez, R. D. C. F., Lima, S. F., & Contardi, L. M. (2017). Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. *Agrarian*, 7(23), 245-251.

Oliveira, R. A., Rezende, L. S., Martinez, M. A., & Miranda, G. V. (2004). Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 160-163.

Prevedello, C. L., & Balena, S. O. (2020). Efeitos de polímeros hidro retentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(5), 251-258.

Raij, B. van, Cantarella, H., Quaggio, J.A., & Furlani, A.M.C. (2022). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (IAC, Boletim Técnico, 100, 3 ed.). Campinas: Instituto Agronômico.

Rodrigues, C.E.P. (2023). *Uso do hidrogel no cultivo de peperomia obtusifolia em substratos submetidos a diferentes capacidades de retenção de água* (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Silva, J. P., Souza, M. R., & Oliveira, A. L. (2020). *Técnicas de cultivo e avaliação da cana-de-açúcar*. Piracicaba: Editora Agronômica.

Yonezawa, U. G. (2016). *Síntese, caracterização e aplicação de hidrogéis nanoestruturados contendo nanoargila para melhorar a germinação e qualidade de muda de hortaliça* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.