

Ciências Agrárias e Sustentabilidade dos Sistemas Produtivos

Inovação, manejo, tecnologia e desafios
do desenvolvimento rural contemporâneo



Igor Madruga de Oliveira
Rodrigo Oliveira Miranda
Leonardo Corrêa Costa

Conselho Editorial

Everton Henrique Mesquita De
Arruda
Andressa Santana Batista
Marcelo Carvalho da
Conceição
Patricia da Silva

Avaliadores

Maria Gabrielle Fernandes
Vieira de Sousa

Amanda Veríssimo

Publicação: Editora Publique-se

Número do volume: 01

Páginas: 01 à 650.

Número da edição/revisão: 01

Série: 01.

Cidade: Capão Bonito - SP.

ISBN: 978-65-979876-5-8

DOI: 10.5281/zenodo.19853749

EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO NA TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS DE SOJA (*GLYCINE MAX*) CULTIVADAS EM LATOSSOLO VERMELHO.



10.5281/zenodo.20417831

Joacir Morais.

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) (2007–2012). Possui mestrado em Agronomia/Fitotecnia (2017–2019) e doutorado em Ciências Agrárias (2020–2024), ambos pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atua na área de Ciências Agrárias, com ênfase em produção vegetal, manejo de culturas e desenvolvimento de práticas agrícolas voltadas à sustentabilidade e à produtividade. Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2658219960114244>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8399-9929>. E-mail: marais.joacir@gmail.com

1. Introdução

A cultura da soja (*Glycine max*) ocupa posição estratégica nos sistemas agrícolas tropicais por articular produtividade, inserção econômica e demanda agroindustrial, mas sua centralidade produtiva não elimina a vulnerabilidade imposta pelas oscilações hídricas que atravessam grande parte das regiões produtoras brasileiras. A expansão tecnológica do cultivo, expressa em cultivares mais adaptadas, manejo nutricional refinado, sistemas conservacionistas e intensificação da agricultura em áreas de Cerrado e transição, convive com um limite fisiológico persistente: a disponibilidade de água continua condicionando a emergência, a expansão foliar, a atividade fotossintética, a formação de vagens e o enchimento de grãos. Nesse cenário, o Latossolo Vermelho assume relevância particular, pois sua ampla ocorrência em áreas agrícolas, sua profundidade e sua aptidão ao cultivo mecanizado não anulam os desafios associados à dinâmica físico-hídrica, à fertilidade química e à interação entre estrutura do solo, matéria orgânica, compactação e absorção de nutrientes. Assim, discutir a aplicação foliar de silício na soja cultivada nesse tipo de solo significa inserir uma tecnologia de manejo fisiológico em um problema agrônômico mais amplo, no qual a produtividade resulta da mediação entre ambiente edáfico, regime pluviométrico, capacidade adaptativa da planta e eficiência das intervenções nutricionais.

O estresse hídrico não atua sobre a soja de maneira isolada ou meramente quantitativa, como se a limitação de água pudesse ser reduzida à menor disponibilidade no perfil do solo. Sua incidência reorganiza processos fisiológicos e bioquímicos, reduzindo o potencial hídrico foliar, induzindo fechamento estomático, restringindo a assimilação de CO₂ e comprometendo a produção de fotoassimilados necessários ao crescimento vegetativo e à produção de grãos. A partir desse ponto, a seca passa a operar como fator de desordem metabólica, pois a queda da

fotossíntese se associa à produção de espécies reativas de oxigênio, à instabilidade das membranas celulares, à peroxidação lipídica e à redução da eficiência no uso da água. Em Latossolo Vermelho, essas respostas dependem também da condição estrutural do solo, já que compactação, baixa matéria orgânica ou manejo inadequado da fertilidade podem restringir o aprofundamento radicular e limitar a exploração de água em camadas mais profundas. Por isso, a aplicação foliar de silício não deve ser concebida como correção isolada da seca, mas como componente de uma estratégia complementar voltada à ampliação da tolerância fisiológica da planta, especialmente pela possível redução da transpiração, preservação parcial da integridade foliar, estímulo ao sistema antioxidante e manutenção de estruturas celulares menos suscetíveis ao dano oxidativo.

A literatura recente sobre o uso de silício na soja indica que seus efeitos são promissores, mas variáveis, exigindo interpretação técnica cuidadosa. Nagel (2024) observa que o silício tem sido associado à melhoria da produtividade da soja, sobretudo em condições de seca e solos de menor fertilidade, mas ressalta que a resposta depende do método de aplicação, da dose, do tipo de solo e das condições ambientais, o que impede generalizações simplificadoras. Essa leitura converge com Machado, Silva e Mello (2024), ao tratarem o silício como mitigador do déficit hídrico na soja, especialmente por sua atuação em processos fisiológicos vinculados à tolerância ao estresse, e também com Bortonio (2023), cuja abordagem associa silício e fungos micorrízicos arbusculares como estratégias capazes de amenizar perdas produtivas sob restrição hídrica. A especificidade da aplicação foliar aparece como ponto relevante porque, diferentemente da aplicação ao solo, pode oferecer resposta mais rápida em momentos fenológicos sensíveis, embora não substitua o manejo integrado da fertilidade e da água. Estudos em outras culturas reforçam mecanismos úteis à análise da soja: Araújo et al. (2022), ao avaliarem milho sob déficit hídrico, mostram que a dose de silício precisa ser tecnicamente ajustada, pois níveis excessivos podem reduzir crescimento e produtividade; Teixeira et al. (2020) indicam que o silício pode contribuir para manter o conteúdo hídrico foliar e reduzir danos associados ao déficit; e Dias et al. (2025), em feijão-caupi, demonstram que a pulverização foliar de silício melhora variáveis de crescimento sob restrição hídrica, embora ainda demande aprofundamento experimental.

Desse modo, a introdução do capítulo deve situar o silício como elemento benéfico inserido em uma problemática agrônômica complexa, e não como insumo de efeito universal. Sua relevância está na possibilidade de modular respostas da soja ao déficit hídrico por meio de mecanismos fisiológicos, anatômicos e bioquímicos, como preservação da área foliar, estabilidade de membranas, melhoria relativa da eficiência hídrica, estímulo antioxidante e

sustentação parcial da fotossíntese em condições adversas. Contudo, a análise precisa manter uma tensão crítica: a eficiência da aplicação foliar depende do estágio fenológico, da intensidade do estresse, da cultivar, da fonte utilizada, da dose aplicada e das propriedades do Latossolo Vermelho em que a cultura se desenvolve. O objetivo do capítulo, portanto, não é afirmar o silício como solução autônoma para a seca, mas discutir em que medida sua aplicação foliar pode integrar práticas de manejo voltadas à maior tolerância da soja ao estresse hídrico, considerando que a produtividade final resulta da convergência entre solo bem manejado, planta fisiologicamente apta, nutrição equilibrada e intervenções agronômicas ajustadas às condições reais do sistema produtivo.

2. Estresse hídrico na cultura da soja em Latossolo Vermelho

2.1. Importância agronômica da soja e sensibilidade ao déficit hídrico

A importância agronômica da soja no Brasil decorre de sua inserção em sistemas produtivos de alta escala, mas sua estabilidade produtiva permanece condicionada à disponibilidade hídrica ao longo do ciclo, especialmente porque o rendimento final resulta de uma sequência de processos fisiológicos dependentes da água, desde a germinação até o enchimento de grãos. A cultura responde de modo sensível às oscilações do regime hídrico porque a água participa da ativação metabólica inicial da semente, da expansão celular, do crescimento radicular, da manutenção da área foliar e da sustentação da fotossíntese, de modo que qualquer interrupção significativa desse fluxo compromete a formação da arquitetura vegetativa e reduz a capacidade de produção de fotoassimilados. Essa dependência torna-se ainda mais crítica em regiões produtoras sujeitas à irregularidade pluviométrica, nas quais o déficit hídrico pode coincidir com fases fenológicas de alta demanda, deslocando a seca de um problema climático para uma limitação fisiológica e produtiva. Nessa perspectiva, Dantas (2018) contribui ao evidenciar que o perfil de extração de água do solo diferencia sistemas de maior e menor produtividade, demonstrando que a capacidade de explorar água em profundidade não é detalhe secundário, mas componente estruturante do desempenho da soja sob restrição hídrica.

A sensibilidade da soja ao déficit hídrico deve ser compreendida como fenômeno progressivo, pois a restrição de água não produz apenas redução imediata do crescimento, mas altera a forma como a planta distribui energia entre manutenção, defesa e produção. Quando ocorre nas fases iniciais, a deficiência hídrica pode prejudicar a germinação, limitar o estabelecimento do estande e reduzir a expansão foliar, comprometendo a interceptação de

radiação e o acúmulo inicial de biomassa. Quando se manifesta durante o crescimento vegetativo, tende a restringir o sistema radicular, diminuir a área foliar funcional e afetar a formação de estruturas que sustentarão a fase reprodutiva. Entretanto, sua incidência no florescimento, na formação de vagens e no enchimento de grãos produz efeitos mais severos sobre o rendimento, pois coincide com períodos em que a planta demanda elevada assimilação de carbono e intensa mobilização de água e nutrientes. Hoppen et al. (2025), ao analisarem níveis de déficit hídrico a partir da formação das vagens na cultivar Brasmax Zeus Ipro, reforçam essa vulnerabilidade da fase reprodutiva, indicando que a imposição da restrição hídrica nesse momento interfere diretamente nos componentes produtivos e na expressão do potencial genético da cultivar.

A relação entre disponibilidade de água, solo e desempenho da soja também precisa ser situada no contexto físico do ambiente de cultivo, pois a planta não responde ao déficit hídrico apenas por suas características genéticas, mas pela possibilidade real de acessar água no perfil do solo. Hansen (2019) mostra que diferentes níveis de compactação interferem no potencial hídrico das plantas de soja, o que permite compreender que a seca agrônômica pode ser intensificada por limitações físicas que reduzem a exploração radicular, mesmo quando ainda existe água em camadas não acessadas. Em Latossolo Vermelho, essa questão assume maior densidade, pois sistemas de preparo, cobertura, estruturação e manejo condicionam a infiltração, a retenção e a disponibilidade de água para a cultura. Bergamaschi, Borsoi e Castilho (2022), ao avaliarem características produtivas da soja em diferentes sistemas de preparo de solo em Latossolo Vermelho, indicam que a produtividade deve ser interpretada a partir da interação entre manejo edáfico e resposta da cultura, enquanto Abraão et al. (2020), ao estudarem hidrogéis em Latossolo Vermelho, evidenciam a busca por tecnologias voltadas à melhoria da disponibilidade hídrica e dos caracteres agrônômicos da soja nesse ambiente.

A centralidade do déficit hídrico na cultura da soja, portanto, não se limita à constatação de perdas produtivas, mas exige compreender os pontos de maior fragilidade fisiológica do ciclo e as condições edáficas que ampliam ou reduzem essas perdas. A fase reprodutiva concentra maior risco porque nela se define a conversão do crescimento acumulado em rendimento econômico, mas essa etapa é condicionada pelo que ocorreu anteriormente na emergência, no crescimento radicular, na expansão foliar e na capacidade da planta de manter atividade fotossintética sob variação hídrica. Minosso, Sostisso e Dranski (2021), ao discutirem componentes de rendimento e produtividade da soja cultivada com hidrogel, reforçam que estratégias voltadas à disponibilidade de água repercutem nos componentes produtivos, enquanto Bulegon et al. (2019), ao examinarem respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e

reguladores vegetais sob déficit hídrico, mostram que o manejo da tolerância envolve múltiplas intervenções fisiológicas. Assim, a importância agrônômica da soja e sua sensibilidade à seca devem ser tratadas como dimensões interdependentes: a cultura é estratégica justamente porque sustenta cadeias produtivas amplas, mas essa mesma centralidade torna mais evidente a necessidade de manejar criticamente a água, o solo e a resposta fisiológica da planta em cada fase do ciclo.

2.2. Efeitos fisiológicos e bioquímicos do estresse hídrico em plantas de soja

A limitação hídrica em plantas de soja deve ser compreendida como um processo fisiológico de desorganização progressiva, no qual a redução da água disponível no solo se converte em queda do potencial hídrico foliar, perda de turgescência, fechamento estomático e limitação da assimilação de CO₂. Esse encadeamento compromete a fotossíntese porque a planta, ao reduzir a abertura estomática para conter a transpiração, também restringe a entrada de carbono necessário à produção de fotoassimilados, afetando diretamente o acúmulo de biomassa e a manutenção do crescimento vegetativo. Em termos agrônômicos, essa resposta defensiva possui caráter ambivalente: conserva água no curto prazo, mas reduz a eficiência metabólica que sustenta expansão foliar, crescimento radicular, formação de estruturas reprodutivas e enchimento de grãos. Barcelos (2022), ao tratar da tolerância ao estresse hídrico na cultura da soja, permite situar essa condição como problema fisiológico integrado, no qual a perda de vigor não decorre apenas da menor disponibilidade de água, mas da alteração de processos celulares que sustentam o metabolismo produtivo da planta.

A restrição hídrica também desencadeia respostas bioquímicas associadas ao estresse oxidativo, uma vez que a limitação da fotossíntese e o desequilíbrio metabólico favorecem a formação de espécies reativas de oxigênio. Quando esses compostos excedem a capacidade de neutralização da planta, ocorrem danos a lipídios, proteínas e membranas, intensificando a peroxidação lipídica e o extravasamento de eletrólitos, indicadores frequentemente utilizados para mensurar a perda de integridade celular. Nesse contexto, a ativação de sistemas antioxidantes constitui resposta defensiva, mas não necessariamente suficiente para preservar o desempenho produtivo quando o déficit hídrico é severo ou prolongado. Ferreira (2025), ao analisar o papel do silício e do potássio na mitigação de danos por déficit hídrico em feijão e milho, sustenta a interpretação de que a defesa antioxidante é um eixo decisivo na resposta das plantas ao estresse, pois a tolerância não depende apenas de conservar água, mas de reduzir a propagação de danos oxidativos nos tecidos. Essa perspectiva também contribui para interpretar

a soja, ainda que a intensidade das respostas varie conforme espécie, cultivar, estágio fenológico e condição ambiental.

A redução da área foliar e o menor acúmulo de biomassa expressam, no plano morfológico, os efeitos acumulados dessas alterações fisiológicas e bioquímicas. A planta sob déficit hídrico tende a restringir a expansão foliar como estratégia de redução da superfície transpirante, mas essa adaptação compromete a interceptação de radiação e diminui a capacidade fotossintética do dossel, gerando perdas que repercutem na produção final. Ruaro (2023), ao discutir o comportamento fisiológico de sementes e plantas de soja sob estresse hídrico, permite compreender que a restrição de água afeta diferentes momentos do desenvolvimento, desde a fase inicial até a consolidação do crescimento vegetativo. Cabral (2025), ao abordar soja sob alta temperatura do solo e déficit hídrico, amplia essa leitura ao indicar que a resposta da cultura é condicionada pela interação solo, planta e microrganismos, o que impede reduzir os efeitos da seca a uma variável isolada. Calzada (2021), embora situada no contexto da salinidade em soja, também contribui ao evidenciar que estresses abióticos compartilham mecanismos de desequilíbrio osmótico e oxidativo, nos quais a estabilidade celular se torna parâmetro central de tolerância.

A análise dos efeitos fisiológicos e bioquímicos do déficit hídrico em soja revela, portanto, que a perda de produtividade não corresponde apenas à diminuição visível do crescimento, mas à convergência entre fechamento estomático, redução da assimilação de CO₂, queda da taxa fotossintética, instabilidade de membranas e redirecionamento metabólico para mecanismos de defesa. Essa convergência explica por que plantas submetidas à restrição hídrica podem apresentar menor vigor mesmo antes de sintomas externos acentuados, já que parte do dano se instala em nível celular e bioquímico. Dos Santos et al. (2021), ao discutirem o papel do silício nas plantas, ajudam a situar a relevância de estratégias capazes de preservar tecidos, reduzir danos oxidativos e melhorar respostas fisiológicas frente a estresses, mas essa possibilidade precisa ser interpretada sem determinismo, pois a eficiência de qualquer mitigador depende da intensidade do déficit e da capacidade da planta de manter equilíbrio entre conservação hídrica, atividade fotossintética e defesa antioxidante. Assim, o tópico deve sustentar a ideia de que a tolerância da soja ao estresse hídrico é menos uma propriedade fixa da cultura e mais uma resposta integrada entre água, metabolismo, estrutura celular e manejo agrônomo.

2.3. Particularidades do Latossolo Vermelho na dinâmica da água e dos nutrientes

O Latossolo Vermelho constitui uma das bases edáficas mais recorrentes da agricultura brasileira, especialmente em áreas de cultivo intensivo de grãos, e sua relevância para a soja decorre da combinação entre profundidade, ampla distribuição territorial e possibilidade de mecanização em sistemas tropicais. Entretanto, sua aptidão agrícola não pode ser confundida com ausência de limitações, pois se trata de um solo altamente intemperizado, marcado pela presença expressiva de óxidos de ferro e alumínio, pela acidez natural e por uma dinâmica de nutrientes que exige correção e manejo contínuos. A relação entre soja e Latossolo Vermelho, portanto, precisa ser compreendida para além da fertilidade química imediata, pois a produtividade depende da capacidade do solo de armazenar e disponibilizar água, permitir crescimento radicular, sustentar trocas gasosas no sistema radicular e manter nutrientes em formas acessíveis à planta. Kórcelski (2019), ao tratar das propriedades químicas e físico-hídricas de Latossolo Vermelho em sistemas integrados de produção, contribui para situar esse solo como ambiente dinâmico, cuja funcionalidade agrícola depende diretamente do manejo adotado e da conservação de sua estrutura.

A dinâmica da água no Latossolo Vermelho é condicionada por textura, porosidade, teor de matéria orgânica e grau de compactação, fatores que regulam infiltração, retenção e redistribuição hídrica no perfil. Em condições bem manejadas, a profundidade e a estrutura desse solo favorecem o aprofundamento radicular da soja, permitindo maior exploração de água em camadas subsuperficiais; sob compactação, degradação estrutural ou baixa cobertura vegetal, a mesma profundidade deixa de ser plenamente aproveitada, pois o sistema radicular encontra resistência mecânica e menor continuidade de poros. Da Costa Rabelo, Caetano e Cruz (2019), ao analisarem alterações de atributos químicos e físicos em Latossolo Vermelho na sucessão milho-soja, indicam que a sucessão de culturas interfere diretamente na qualidade edáfica, o que desloca o debate da simples caracterização do solo para a análise do sistema de manejo. Essa questão é decisiva para interpretar o estresse hídrico, pois a seca percebida pela planta nem sempre corresponde apenas à ausência de chuva, mas também à incapacidade do solo manejado de armazenar, conduzir e entregar água ao sistema radicular no momento de maior demanda fisiológica.

A fertilidade do Latossolo Vermelho também interfere na resposta da soja ao déficit hídrico porque nutrição mineral e disponibilidade de água são processos interdependentes. A absorção de nutrientes depende da umidade do solo, do crescimento radicular e do fluxo de massa, de modo que a deficiência hídrica reduz simultaneamente o suprimento de água e a eficiência nutricional da planta. Pereira e Moraes (2025), ao discutirem a contribuição da braquiária para a fertilidade de um Latossolo Vermelho e para o aprofundamento radicular da

soja, reforçam a importância de sistemas que aumentem a qualidade física e biológica do solo, pois a presença de raízes, palhada e ciclagem de nutrientes cria condições mais favoráveis à exploração hídrica. Ribeiro (2023), ao abordar o efeito residual de pó de rocha silicática como fonte de silício e remineralizador, e Siqueira (2025), ao examinar pó de basalto combinado à adubação orgânica em culturas de grãos em Latossolo Vermelho, dialogam com essa perspectiva ao situarem fontes minerais e práticas de remineralização como estratégias ligadas à reconstrução gradual da fertilidade, ainda que sua eficiência dependa do tempo de reação, da granulometria, da interação com a matéria orgânica e das condições químicas do solo.

A eficiência de tecnologias aplicadas à soja, incluindo o uso foliar de silício, não pode ser dissociada desse contexto edáfico, pois o desempenho fisiológico da planta resulta da interação entre solo, clima, cultivar e manejo. A aplicação foliar pode atuar de modo mais direto sobre tecidos vegetais e respostas fisiológicas em momentos de restrição hídrica, mas sua expressão agrônômica será limitada se o Latossolo Vermelho apresentar compactação, baixa matéria orgânica, fertilidade desequilibrada ou baixa capacidade de retenção de água disponível. Souza et al. (2025), ao discutirem o efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas, permitem pensar o silício não apenas como insumo isolado, mas como parte de uma arquitetura de manejo que envolve solo, ciclagem e equilíbrio químico. Assim, a particularidade do Latossolo Vermelho está em sua dupla condição: é um solo de grande potencial produtivo para a soja, mas esse potencial só se converte em tolerância relativa ao estresse hídrico quando seus atributos físicos, químicos e biológicos são manejados de forma integrada, criando condições para que qualquer intervenção complementar, inclusive a aplicação foliar de silício, encontre uma planta fisiologicamente capaz de responder.

3. Aplicação foliar de silício como estratégia de mitigação do estresse hídrico

3.1. Silício como elemento benéfico e sua absorção pelas plantas

O silício ocupa posição singular na nutrição mineral de plantas porque sua relevância agrônômica não deriva da condição clássica de elemento essencial, mas de sua capacidade de modular respostas vegetais diante de ambientes adversos. Essa distinção é decisiva para evitar uma leitura reducionista: a ausência de essencialidade fisiológica universal não significa ausência de função agrônômica, sobretudo em culturas submetidas a déficit hídrico, salinidade, pressão biótica ou desequilíbrios nutricionais. Em espécies acumuladoras, como gramíneas, os efeitos do silício são mais documentados, em razão de sua absorção e deposição em tecidos vegetais, mas o interesse crescente em dicotiledôneas, como a soja, decorre justamente da

possibilidade de que mesmo plantas menos acumuladoras apresentem ganhos funcionais quando expostas a condições de estresse. Lanna, Ferreira e De Filippi (2021), ao discutirem o silício na sustentabilidade do arroz de terras altas no Cerrado, ajudam a compreender a força desse elemento em ambientes tropicais sujeitos a restrições edafoclimáticas, enquanto sua transposição analítica para a soja exige cautela, pois diferenças anatômicas, fisiológicas e genéticas interferem diretamente na absorção, na redistribuição e na expressão dos efeitos do elemento.

A ação do silício nas plantas é atravessada por variáveis que impedem formulações universais, uma vez que espécie, cultivar, fonte empregada, dose, forma de aplicação e condição ambiental determinam a magnitude da resposta. Essa variabilidade torna o silício um insumo de manejo dependente de contexto, não um componente de resposta linear. Em soja, tal condição é ainda mais sensível porque a cultura não apresenta o mesmo padrão de acúmulo observado em gramíneas, o que obriga a diferenciar o fornecimento via solo, associado à disponibilidade do elemento na solução e ao comportamento radicular, da aplicação foliar, orientada para respostas mais rápidas em tecidos diretamente expostos. A aplicação via solo pode favorecer efeitos mais prolongados, especialmente quando integrada à correção da fertilidade e à melhoria do ambiente radicular, mas sua eficiência depende de reações químicas no solo, solubilidade da fonte e capacidade de absorção pela planta. A aplicação foliar, por outro lado, pode ser mais adequada em estádios de maior demanda fisiológica ou sob ocorrência de estresse, embora também dependa de concentração, tecnologia de pulverização, absorção cuticular, cobertura foliar e compatibilidade com o estado metabólico da planta.

A literatura sobre silício em diferentes culturas permite sustentar essa leitura contextualizada. Barbosa (2021), ao tratar o silício como agente indutor de resistência a pragas na soja, demonstra que seus efeitos não se restringem ao déficit hídrico, mas se inserem em uma lógica mais ampla de fortalecimento da planta frente a pressões bióticas e abióticas. Em outro recorte, Ferreira (2025), ao analisar silício aplicado via fertirrigação associado a regimes hídricos no feijão, reforça que a forma de fornecimento interfere no modo como a planta responde à restrição de água, o que aproxima a discussão da necessidade de comparar vias de aplicação conforme o sistema de cultivo. Rossetti (2022), ao examinar fertirrigação com silício na mitigação do estresse hídrico em cana-de-açúcar, também contribui para compreender que o fornecimento radicular ou via solução nutritiva tende a produzir efeitos distintos daqueles esperados pela pulverização foliar. Já Junior (2025), ao abordar aplicação foliar de silício em videira, permite situar a via foliar como alternativa técnica em culturas perenes e em ambientes

de alta demanda fisiológica, indicando que essa modalidade de aplicação não deve ser avaliada apenas pela quantidade total absorvida, mas pela oportunidade agrônômica de intervenção.

No caso da soja sob déficit hídrico, o reconhecimento do silício como elemento benéfico exige deslocar a análise da pergunta sobre sua essencialidade para a pergunta sobre sua funcionalidade em condições específicas de estresse. A aplicação foliar interessa justamente por poder atuar em momentos nos quais a planta enfrenta restrição hídrica e necessita preservar tecidos fotossintéticos, integridade celular e eficiência metabólica, ainda que sua resposta dependa da cultivar, da dose, da fonte e da intensidade do estresse. Reis (2023), ao investigar silício na mitigação de estresse nutricional e hídrico em mudas de eucalipto, reforça que o efeito do elemento precisa ser interpretado a partir da interação entre nutrição, ambiente e fase de desenvolvimento, e Rocha (2022), ao estudar plantas forrageiras sob déficit hídrico, amplia essa compreensão ao mostrar que a tolerância mediada por silício não é homogênea entre espécies. Assim, a aplicação foliar de silício em soja deve ser compreendida como estratégia de manejo fisiológico de resposta potencialmente rápida, mas tecnicamente condicionada, cuja validade agrônômica depende menos de uma propriedade abstrata do elemento e mais da adequação entre momento de aplicação, condição hídrica, capacidade de absorção e demanda metabólica da planta.

3.2. Mecanismos fisiológicos, anatômicos e antioxidantes associados ao silício

Os mecanismos associados ao silício na tolerância da soja ao déficit hídrico devem ser compreendidos como um conjunto de respostas fisiológicas, anatômicas e bioquímicas que podem reduzir a intensidade do dano provocado pela limitação de água, mas não eliminam a dependência da planta em relação às condições do solo, do clima e do estágio fenológico. Sob restrição hídrica, a planta tende a reduzir a abertura estomática para conter a perda de água por transpiração, o que simultaneamente limita a assimilação de CO₂ e diminui a taxa fotossintética. Nesse ponto, o silício passa a ser investigado como elemento capaz de modular a relação entre conservação hídrica e manutenção metabólica, favorecendo a retenção de água nos tecidos, a preservação parcial da área foliar funcional e a redução de danos celulares. Silva et al. (2022), ao analisarem silício e sombreamento sob déficit hídrico no metabolismo e no crescimento foliar de mudas de *Dipteryx alata*, ajudam a sustentar essa leitura ao indicar que o silício pode interferir em processos metabólicos e morfológicos ligados à manutenção do crescimento sob limitação hídrica, ainda que a extrapolação para soja exija atenção às diferenças entre espécies e ambientes de cultivo.

A contribuição anatômica do silício decorre, em grande medida, de sua relação com a estrutura dos tecidos vegetais, especialmente quando sua deposição favorece maior espessura foliar, reforço de paredes celulares e redução relativa da perda de água. Em condições de déficit hídrico, a preservação da integridade foliar não é apenas uma alteração morfológica, mas um componente funcional da tolerância, pois folhas menos vulneráveis à desidratação tendem a manter por mais tempo sua capacidade de interceptar radiação, realizar trocas gasosas e sustentar a produção de fotoassimilados. Esse efeito, no entanto, não deve ser tomado como automático, uma vez que a resposta ao silício depende da absorção efetiva, da fonte aplicada, da dose e da capacidade da cultura de converter o elemento em benefício fisiológico. Oliveira Filho (2021), ao discutir a mitigação de danos do déficit hídrico em soqueira de cana-de-açúcar e cana-energia, reforça a importância de considerar o silício como modulador de respostas ao estresse em espécies com maior capacidade de acúmulo, o que oferece um parâmetro comparativo útil, mas também evidencia que a soja pode apresentar respostas menos uniformes por ser uma dicotiledônea com dinâmica distinta de absorção e deposição do elemento.

No plano bioquímico, o silício tem sido associado à redução do dano oxidativo, especialmente pela possibilidade de estimular sistemas antioxidantes e limitar os efeitos das espécies reativas de oxigênio geradas sob seca. A restrição hídrica desorganiza o metabolismo fotossintético e aumenta a pressão oxidativa sobre membranas, pigmentos e proteínas, o que pode ser observado por indicadores como peroxidação lipídica, extravasamento de eletrólitos e perda de estabilidade celular. Nesse contexto, a atuação do silício se torna agronomicamente significativa quando contribui para preservar membranas e manter maior teor relativo de água, pois tais respostas indicam menor colapso fisiológico diante do estresse. Mota (2025), ao relacionar *Bacillus aryabhattai* e silício em plantas sob estresse hídrico, aproxima essa discussão da interação entre mecanismos morfofisiológicos e atividade biológica do solo, sugerindo que a tolerância não resulta de um único fator, mas de redes de resposta que articulam planta, microrganismos e ambiente. Figueiredo et al. (2024), ao tratarem de agentes promotores da mitigação do déficit hídrico em mudas, também reforçam que a resposta ao estresse envolve múltiplas vias de adaptação, entre as quais a proteção antioxidante ocupa posição central.

A análise desses mecanismos permite afirmar que o silício pode favorecer a tolerância da soja ao déficit hídrico ao atuar sobre transpiração, teor relativo de água, estabilidade de membranas, proteção antioxidante, estrutura foliar, crescimento radicular e preservação parcial da fotossíntese, mas essa formulação precisa permanecer condicionada pela variabilidade experimental registrada na literatura. A presença de respostas positivas em diferentes culturas não autoriza supor efeito universal na soja, pois a intensidade do estresse, a cultivar, a forma de

aplicação e o ambiente edáfico podem ampliar, reduzir ou neutralizar os ganhos esperados. De Lima e Rezende (2025), ao analisarem pigmentos foliares no tomateiro em função da reposição hídrica e aplicação de silício, indicam que os efeitos do elemento precisam ser interpretados em associação ao regime hídrico efetivamente imposto, e Reis (2023), ao investigar silício em condições de estresse nutricional e hídrico em eucalipto, reforça que o benefício depende da combinação entre condição fisiológica da planta e contexto de manejo. Assim, no caso da soja cultivada em Latossolo Vermelho, o silício deve ser tratado como ferramenta potencial de mitigação, não como resposta agronômica invariável, pois sua eficiência se define na interação entre anatomia foliar, metabolismo antioxidante, acesso à água, desenvolvimento radicular e capacidade produtiva da planta sob restrição hídrica.

3.3. Indicadores de avaliação da tolerância ao estresse hídrico após aplicação de silício

A avaliação da tolerância da soja ao estresse hídrico após aplicação de silício exige um conjunto integrado de indicadores, pois a resposta da planta não pode ser inferida apenas pela aparência do dossel ou pela permanência momentânea de folhas verdes sob restrição de água. A seca atua simultaneamente sobre crescimento, trocas gasosas, estabilidade celular, metabolismo antioxidante e formação dos componentes produtivos, de modo que a mensuração isolada de uma variável tende a produzir interpretações parciais. Nesse sentido, indicadores morfológicos como altura de plantas, área foliar, massa seca da parte aérea e massa seca de raiz permitem observar a expressão visível do estresse e sua possível mitigação pelo silício, enquanto variáveis fisiológicas, como teor relativo de água, condutância estomática, taxa fotossintética, índice de clorofila e fluorescência da clorofila, revelam o grau de manutenção funcional da planta. Kühn (2023), ao discutir bioestimulantes na mitigação do déficit hídrico em soja, contribui para essa compreensão ao situar a tolerância como resposta mensurável em múltiplas dimensões, e não como simples permanência vegetativa diante da restrição hídrica.

No plano morfológico, a aplicação foliar de silício deve ser examinada a partir da capacidade de preservar a expansão foliar, sustentar o crescimento radicular e reduzir perdas de biomassa, pois tais respostas indicam se a planta conseguiu manter desenvolvimento mesmo sob menor disponibilidade de água. A área foliar, em particular, expressa a tensão entre economia hídrica e capacidade fotossintética: sua redução pode diminuir a transpiração, mas também restringe a interceptação luminosa e a produção de fotoassimilados. A massa seca de raiz, por sua vez, permite avaliar se o tratamento favoreceu maior exploração do solo, especialmente em condições nas quais o acesso à água depende da profundidade e da distribuição radicular. Magalhães et al. (2024), ao tratarem do manejo do déficit hídrico em soja

com inoculação de microrganismos, e Da Silva et al. (2024), ao abordarem microrganismos e bioestimulantes sob deficiência hídrica, reforçam que a avaliação da tolerância precisa incluir a interação entre crescimento vegetal, atividade biológica e manutenção fisiológica. Gundim (2022), ao investigar fungos entomopatogênicos aplicados no sulco para mitigação de perdas por déficit hídrico, também indica que a resposta produtiva da soja depende de intervenções que atuam antes da expressão final do rendimento, tornando indispensável acompanhar variáveis intermediárias de crescimento e vigor.

As variáveis fisiológicas e bioquímicas permitem aprofundar a leitura dos efeitos do silício porque revelam alterações que podem anteceder a perda produtiva visível. A manutenção do teor relativo de água indica maior capacidade de retenção hídrica nos tecidos, enquanto condutância estomática e taxa fotossintética mostram se a planta preserva trocas gasosas em nível compatível com o crescimento. O índice de clorofila e a fluorescência da clorofila possibilitam avaliar a integridade do aparato fotossintético, especialmente quando a restrição hídrica compromete pigmentos e eficiência fotoquímica. No campo bioquímico, a atividade de enzimas antioxidantes, a peroxidação lipídica e o extravasamento de eletrólitos são parâmetros centrais para interpretar a estabilidade das membranas e o grau de dano oxidativo. Alves et al. (2024), ao relacionarem níquel disponível no solo e plantas de soja sob déficit hídrico, contribuem para pensar a interface entre nutrição mineral e resposta fisiológica ao estresse, enquanto Dos Santos (2022), ao avaliar a mitigação do déficit hídrico com bioprotetor em soja, reforça que tratamentos mitigadores precisam ser verificados por indicadores fisiológicos e produtivos articulados. Nardocci (2025), ao discutir épocas de aplicação e fontes alternativas de potássio na soja, também dialoga com essa perspectiva, pois evidencia que o momento de aplicação e a fonte empregada interferem na eficiência da resposta agrônômica.

A etapa produtiva deve ser compreendida como síntese dos efeitos acumulados ao longo do ciclo, razão pela qual número de vagens, número de grãos por planta, massa de grãos e produtividade final precisam ser analisados em conjunto com os indicadores anteriores. Uma planta pode apresentar menor sintomatologia visual e ainda assim acumular perdas fisiológicas capazes de reduzir enchimento de grãos ou massa final, do mesmo modo que uma resposta inicial positiva ao silício pode não se converter em rendimento se o estresse ocorrer em fase reprodutiva crítica. Ecco, Backes e Reuter (2022), ao tratarem do manejo de boro no cultivo da soja, mostram que componentes produtivos dependem de equilíbrio nutricional e de manejo ajustado ao ciclo da cultura, enquanto Zanin (2022), ao abordar a reaplicação de gesso no desenvolvimento da soja, reforça a importância de condições edáficas favoráveis para que a planta expresse crescimento e rendimento. Assim, a avaliação do silício foliar sob estresse

hídrico deve operar como matriz integrada de diagnóstico, articulando morfologia, fisiologia, bioquímica e produção, pois a tolerância real não se define pela ausência de sintomas aparentes, mas pela capacidade de preservar funcionamento metabólico, integridade celular e conversão produtiva sob restrição de água.

4. Considerações finais

A aplicação foliar de silício em plantas de soja cultivadas em Latossolo Vermelho apresenta-se como uma estratégia agronômica com potencial de contribuir para a mitigação dos efeitos do déficit hídrico, sobretudo por atuar em processos relacionados à conservação da água nos tecidos, à estabilidade das membranas celulares, à manutenção parcial da atividade fotossintética e à ativação de mecanismos antioxidantes. No entanto, sua adoção não pode ser interpretada como resposta uniforme ou automaticamente eficaz em qualquer condição de cultivo, pois os resultados dependem da fonte empregada, da dose aplicada, do momento da pulverização, da cultivar utilizada, da intensidade e duração do estresse hídrico, bem como das características físico-químicas do solo. Em Latossolo Vermelho, a profundidade e o potencial agrícola do solo não eliminam limitações associadas à fertilidade, à compactação, à matéria orgânica e à capacidade de retenção de água, fatores que interferem diretamente na resposta da soja a qualquer tecnologia de manejo. Assim, o silício deve ser compreendido como componente de um sistema produtivo mais amplo, e não como insumo capaz de compensar isoladamente deficiências estruturais do solo ou falhas no manejo hídrico.

Os mecanismos associados ao silício indicam que sua aplicação foliar pode favorecer respostas fisiológicas e estruturais úteis em situações de restrição hídrica, especialmente quando contribui para reduzir perdas por transpiração, preservar o teor relativo de água, proteger tecidos contra danos oxidativos e sustentar o crescimento vegetativo em fases críticas do ciclo. Ainda assim, a tolerância da soja à seca não se define pela presença isolada de um elemento benéfico, mas pela articulação entre genética, ambiente, nutrição mineral, desenvolvimento radicular, disponibilidade de água e equilíbrio metabólico. A planta submetida ao déficit hídrico enfrenta uma sequência de limitações que envolve fechamento estomático, redução da assimilação de carbono, queda no acúmulo de biomassa, maior produção de espécies reativas de oxigênio e prejuízos aos componentes produtivos. Nesse contexto, o silício pode atenuar parte desses processos, mas não elimina a dependência da cultura em relação a um solo bem estruturado, a uma nutrição equilibrada e a práticas de manejo capazes de reduzir a intensidade do estresse.

A análise do tema também evidencia que a avaliação da eficiência do silício não deve se apoiar apenas na observação visual das plantas ou em respostas pontuais de crescimento. A

ausência de sintomas aparentes não significa preservação plena da atividade fisiológica, assim como pequenas alterações morfológicas podem ocultar perdas metabólicas que se manifestarão posteriormente na formação de vagens, no enchimento de grãos e na produtividade final. Por isso, estudos sobre a aplicação foliar de silício em soja sob déficit hídrico devem integrar indicadores morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e produtivos, permitindo compreender se a tecnologia apenas reduz sinais imediatos de estresse ou se efetivamente contribui para a manutenção do desempenho agrônomo. Essa distinção é decisiva para evitar recomendações apressadas, especialmente em sistemas cultivados sobre Latossolo Vermelho, nos quais a resposta da cultura depende da interação entre atributos do solo, regime climático, manejo adotado e capacidade adaptativa da cultivar.

Diante disso, a aplicação foliar de silício deve ser tratada como prática promissora, mas ainda dependente de maior refinamento técnico para sua recomendação em sistemas de produção de soja. Pesquisas futuras precisam aprofundar a comparação entre fontes de silício, concentrações, frequências de aplicação, estádios fenológicos, cultivares e níveis de déficit hídrico, considerando também a condição física e química do Latossolo Vermelho. A construção de recomendações mais precisas exige experimentos que aproximem respostas fisiológicas de resultados produtivos, evitando que ganhos isolados em crescimento, clorofila ou atividade antioxidante sejam confundidos com aumento real de tolerância agrônomo. Dessa forma, o avanço no uso do silício dependerá menos de sua apresentação como solução para a seca e mais de sua inserção criteriosa em estratégias integradas de manejo, nas quais solo, planta, água e nutrição sejam considerados de forma conjunta para sustentar a produtividade da soja sob condições ambientais restritivas.

Referências

- ABRAÃO, Patrícia Clemente et al. Hidrogéis nos teores nutricionais e caracteres agrônômicos da cultura da soja em um latossolo vermelho. 2020.
- ALVES, Gustavo de Oliveira et al. Níquel disponível no solo e o seu efeito em plantas de soja sob déficit hídrico. 2024.
- BARBOSA, Rhanielle Larissa Pereira. Silício como agente indutor de resistência a pragas na cultura da soja. 2021.
- BARCELOS, Gabriel Ferreira. **Efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura de soja.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BERGAMASCHI, Hodonys Machado; BORSOI, Augustinho; CASTILHO, Carolina. Características produtivas da soja em diferentes sistemas de preparo de solo em Latossolo Vermelho. **Revista Cultivando o Saber**, v. 15, p. 28-35, 2022.

BORTONIO, Marcus Vinícius de Mattos. Associação de fungos micorrízicos arbusculares e silício amenizam estresse hídrico na produtividade da soja. 2023.

BULEGON, Lucas Guilherme et al. Respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais em condições de déficit hídrico. **Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.

CABRAL, Camila Domingos. **Soja sob alta temperatura do solo e déficit hídrico: interações solo-planta-microrganismos**. 2025. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CALZADA, Kolima Peña. Silício como atenuante dos efeitos da salinidade em plantas de soja. 2021.

DA COSTA RABELO, Arlindo José; CAETANO, Jeander Oliveira; CRUZ, Sihélio Júlio Silva. Alterações de atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho na sucessão milheto-soja. **Científica**, v. 47, n. 2, p. 221-230, 2019.

DA SILVA, Nelmício Furtado et al. Manejo do déficit hídrico em plantas de soja via aplicação de microrganismos e bioestimulantes. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p. e12980-e12980, 2024.

DANTAS, João Paulo de Sá. **Perfil de extração de água do solo pela cultura de soja de alta e baixa produtividade de grãos**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE LIMA, Eduarda Fiais; REZENDE, Roberto. Pigmentos foliares no tomateiro em função da reposição hídrica e aplicação de silício na cultura. **Revista Campo Digital**, v. 20, 2025.

DE SOUSA ARAÚJO, Vinícius et al. Influência da aplicação foliar de silício no desenvolvimento e produtividade do milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e25711528051-e25711528051, 2022.

DIAS, Guilherme Felix et al. Silício como agente mitigador da restrição hídrica em feijão-caupi: avaliação de parâmetros de crescimento. **Journal of Education Science and Health**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2025.

DOS SANTOS, Brenner Cabalheiro. **Mitigação do déficit hídrico em plantas de soja tratadas com o Bioprotetor H2 Protector**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás (Brazil).

DOS SANTOS, Leônidas Canuto et al. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e3810716247-e3810716247, 2021.

ECCO, Martios; BACKES, Julio Cesar; REUTER, Rafael Felipe. Manejo de aplicação de boro no cultivo da soja. **Revista Científica Rural**, v. 24, n. 1, p. 12-25, 2022.

FERREIRA, Kailaine do Nascimento. Silício aplicado via fertirrigação associado a regimes hídricos no cultivo de feijão. 2025.

FERREIRA, Patrícia Messias. Silício e potássio mitigam os danos causados pelo déficit hídrico ao estimular o mecanismo de defesa antioxidante em plantas de feijão e de milho. 2025.

FIGUEIREDO, Vanda Maria de Aquino et al. Agentes promotores da mitigação do déficit hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St. Hil) Radlk. 2024.

GIOVANELLA, Tharsos Hister. **Modelagem agrometeorológica com dados de reanálise para a cultura da soja na região oeste do Paraná.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GUNDIM, Alice da Silva. **Potencial de mitigação de perdas por déficit hídrico na cultura da soja pela aplicação dos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizum anisopliae* no sulco de plantio.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HANSEN, Larissa Leite Momoli. **Potencial hídrico em plantas de soja sob diferentes níveis de compactação.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HOPPEN, Maisa Verônica et al. Impacto de níveis de déficit hídrico a partir da formação das vagens na cultura da soja cultivar Brasmax Zeus Ipro. 2025.

JUNIOR, Elson Mendes Duraes. Aplicação foliar de silício em videira ‘Arra Sweeties’ em Petrolina-PE. 2025.

KORCELSKI, Cleiton. Propriedades químicas e físico-hídricas de um Latossolo vermelho sob sistemas integrados de produção agropecuária. 2019.

KÜHN, Irineu Eduardo. Ação de bioestimulantes na mitigação dos efeitos do déficit hídrico na cultura da soja. 2023.

LANNA, Anna Cristina; FERREIRA, Carlos Magri; DE FILIPPI, Marta Cristina Corsi. Importância do silício para a sustentabilidade da produção de arroz de terras altas no Cerrado brasileiro. **Embrapa, Comunicado Técnico**, v. 259, 2021.

MACHADO, Viviane Vieira; DA SILVA, Alasse Oliveira; DA COSTA MELLO, Simone. Silício como mitigador do déficit hídrico na cultura da soja. 2024.

MAGALHÃES, Yan Carlos Moraes et al. Manejo do déficit hídrico em plantas de soja com a inoculação de microrganismos. In: **CICURV-Congresso de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde.** 2024.

MINOSSO, Rafael Raul; SOSTISSO, Gabriel Luiz; DRANSKI, João Alexandre Lopes. Componentes de rendimento e produtividade da soja cultivada com hidrogel. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 1, p. 69-82, 2021.

MOTA, Kele da Silva. Contribuição de *Bacillus aryabhattai* e silício em *Mimosa caesalpinhiifolia* sob estresse hídrico: respostas morfofisiológicas e atividade biológica do solo. 2025.

NAGEL, Jordana Caroline. O uso do silício na cultura da soja: avanços recentes e impactos na produtividade. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 62, p. e3140-e3140, 2024.

NARDOCCI, João Victor Duran. Épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio na cultura da soja. 2025.

NETO, Jose Gomes Martins et al. Manejo do déficit hídrico em plantas de soja via aplicação de bioestimulantes. In: **CICURV-Congresso de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde**. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Antonio Santana Batista de. Silício mitiga danos do déficit hídrico em soqueira de cana-de-açúcar e cana-energia. 2021.

PEREIRA, Matheus Batista Néri; MORAES, Moacir Tuzzin de. **Contribuição do uso de braquiária na fertilidade de um Latossolo Vermelho para o aprofundamento radicular de soja**. 2025. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALA/BC).

REIS, Eduarda Gonçalves. Silício na mitigação de estresse nutricional de fósforo e de déficit hídrico em mudas de eucalipto propagadas por sementes e por ministesquia. 2023.

RIBEIRO, Mariana Carvalho. Efeito residual da aplicação de pó de rocha silicática como fonte de silício e remineralizador de solos. 2023.

ROCHA, Juan Ricardo. Silício na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em plantas forrageiras. 2022.

ROSSETTI, Heitor Maschietto. Fertirrigação com silício na mitigação do estresse hídrico ocasionados em cana-de-açúcar. 2022.

RUARO, Jean Roberto. **Efeito de Bacillus aryabhattai sobre o comportamento fisiológico de sementes e plantas de soja em condições de estresse hídrico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Agronomia.

SILVA, Márcio Santos da et al. Silício e sombreamento atenuam os efeitos do déficit hídrico no metabolismo e no crescimento foliar de mudas de Dipteryx alata Vog. 2022.

SIQUEIRA, João Ourique. Pó de basalto combinado à adubação orgânica: uma estratégia sustentável de fertilização de culturas de grãos em latossolo vermelho. 2025.

SOUZA, Aila Rios et al. Efeito do silicato de cálcio e magnésio em sistemas de sucessão de culturas. 2025.

TEIXEIRA, Gelza Carliane Marques et al. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Científica**, v. 48, n. 2, p. 170-187, 2020.

TEIXEIRA, Gelza Carliane Marques et al. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Científica**, v. 48, n. 2, p. 170-187, 2020.

TEIXEIRA, Gelza Carliane Marques. Silício na mitigação do déficit hídrico de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento. 2018.

ZANIN, Pedro Henrique Telles. **Efeito da reaplicação de gesso no desenvolvimento da cultura da soja**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

