

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MATHEUS VIEIRA MAZZUTTI

**ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SILÍCIO
PROMOVE PRODUTIVIDADE NA SOJA EM CONDIÇÕES DE SECA**

MONTE CARMELO

2024

MATHEUS VIEIRA MAZZUTTI

**ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SILÍCIO
PROMOVE PRODUTIVIDADE NA SOJA EM CONDIÇÕES DE SECA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Douglas José Marques

MONTE CARMELO

2024

RESUMO

O estresse hídrico é um desafio para a segurança alimentar. Nesse cenário, a soja se destaca pela versatilidade no uso do grão. O cultivo da cultura em área tropical é afetado pelo estresse abiótico, com destaque a seca e temperatura. Assim, é necessário criar alternativas para reduzir os estresses na soja cultivada em área tropical. A hipótese da pesquisa é que associação de Si (Si) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) amenizam o estresse de seca. O objetivo desse trabalho é estudar alternativas de amenizar efeitos do estresse de seca em plantas de soja usando o Si associado à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares, seus efeitos sobre o metabolismo, produtividade da soja. Durante a pesquisa foram avaliados altura da soja, taxa fotossintética na folha e produtividade. Observamos que a altura das plantas foi superior para ausência do FMA na presença do Si. Para a taxa fotossintética e produtividade a presença do FMA e Si aumentaram para aplicação de 40 e 100% da reposição de água. Assim, conclui-se com a pesquisa, que a presença do Si e FMA incrementou a taxa fotossintética que proporcionou maior produtividade amenizando o estresse de seca na soja. Estes resultados comprovam a hipótese do estudo para associação do FMA e Si podem amenizar os efeitos da seca.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.2 Déficit hídrico no metabolismo da cultura da soja	6
2.3 Uso do Si na amenização do déficit hídrico	8
2.4 Plantas acumuladoras e genes transportadores de Si	9
2.5 Uso de fungos micorrízicos arbusculares na amenização do estresse hídrico.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Delineamento experimental	11
3.3 Manejo da irrigação	12
3.4 Inoculo de FMA	17
3.5 Avaliações.....	17
3.5.3 Produtividade da soja.....	18
3.5.4 Análises estatísticas.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÃO	27
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A seca afeta o sistema solo-planta gerando um estresse no crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja. Quando ocorre no estágio vegetativo e/ou produtivo da cultura, pode afetar o rendimento e até causar a morte das plantas de soja (FERRARI et al., 2015). A demanda hídrica é o principal fator estresse na soja (VIANA et al., 2021) podendo levar a decréscimos nos rendimentos, sendo o principal obstáculo para a produtividade. As condições de falta de água têm sido mais frequentes devido ao aquecimento do globo e podem ser mais longas, ocorrendo com mais frequência em todos os países do mundo e principalmente em áreas semiáridas e áridas (PIZOLATO NETO, 2019).

Nesse sentido, a nossa pesquisa investiga alternativas para amenizar o estresse de seca, usando o silicato de cálcio. A sua ação e constituição é similar às dos carbonatos, podendo ser usado no lugar dos calcários; além disso, é fonte de Si, cálcio e magnésio para o solo e corrige a acidez do mesmo (ALOVISI et al., 2018). O Si participa da função física de regular a transpiração e aumentar a produtividade (NUNES, 2019). Esses efeitos benéficos são atribuídos ao acúmulo de sílica nos tecidos vegetais. Portanto, o uso do silicato nas culturas pode aumentar a resistência das plantas e corrigir a acidez do solo (REIS et al., 2019).

Visando amenizar o estresse da soja existem estudos da inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que melhoram a absorção de água e nutrientes pelas plantas, através da liberação das hifas que exploram o solo (SALGADO et al, 2016). A simbiose planta-FMA ocorre pela colonização das raízes pelas hifas fúngicas, atuando como prolongamento das raízes, possibilitando maior absorção de água e nutrientes e promovendo resistência das plantas aos estresses abióticos (MÉNDEZ, 2016).

Diante do exposto, é necessário criar alternativas para reduzir o estresse de seca na soja. Dessa forma, a associação do Si e FMA pode ser uma importante estratégia para garantir produtividades e contribuir para a segurança alimentar.

Sendo assim, a pesquisa teve como objetivo estudar a amenização do estresse de seca na soja usando associação de Si e inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares, seus efeitos sobre a produtividade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da soja

A cultura da soja é dos grandes pilares do agronegócio brasileiro, gerando renda e empregos diretos e indiretos para o Brasil. A soja ocupou a maior área de produção agrícola brasileira, sendo cultivados 44,0 milhões de hectares com produção de 154 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2023).

O Centro-Oeste brasileiro, composto por Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal, é responsável por 45,1% de toda a produção do Brasil. Somando o cerrado do Oeste baiano, Maranhão, Tocantins e Piauí, temos 53,89% da produção nacional. Assim, o cerrado brasileiro é responsável por mais da metade da produção nacional (IBGE, 2020).

Estima-se que, para esta safra, a produção mineira gire em torno de 8.346,5 mil toneladas, 10% maior que o verificado na safra anterior, representando a maior produção na série histórica estadual. A área cultivada deve alcançar 2.1 milhões de hectares, registrando aumento de 9,3% em relação ao ano anterior. (CONAB, 2023).

A cadeia produtiva da soja representa 19,7% da balança comercial brasileira para o primeiro semestre de 2020, os principais importadores desta mercadoria são os Países Baixos, (Oliveira et al., 2020). A produção deve seguir crescente para garantia da segurança alimentar mundial, pois não há perspectiva para estabilização da população mundial neste século, podendo atingir entre 9,6 e 12,3 bilhões de pessoas até 2100 (GERLAND et al., 2014).

2.2 Déficit hídrico no metabolismo da cultura da soja

Agricultura no Brasil e no mundo é influenciada pelas mudanças climáticas resultantes da instabilidade do clima, como o aumento das temperaturas e a frequência de intensidade crescentes de eventos de seca, o que reduz a produção de grãos (LESK et al., 2016). Em resposta a essas condições, as plantas de soja apresentam baixa turgescência celular, redução da região dos nós, decréscimo nos índices de crescimento vegetal, diminuição na atividade fotossintética, e como consequência, na produção e qualidade dos grãos (SIMEÃO, 2016).

O estresse hídrico ocorre quando a quantidade da água que é perdida pela quantidade excede a quantidade de água que é absorvida. Quando os níveis de perda são maiores que os de absorção, caracteriza-se o déficit hídrico (DE MORAES CAMPOS, 2021).

De acordo com alguns estudos, há uma associação do teor de água no solo e o desenvolvimento e rendimento das plantas, colocando em evidência a necessidade de manter os níveis de umidade no solo durante o desenvolvimento vegetativo da soja (FERRARI, 2015). Conforme Simeão (2016), durante o estágio reprodutivo, condições de estresse hídrico podem provocar a diminuição na produção, pois há um aumento no abortamento de flores, redução na quantidade de grãos nas vagens, encurtamento no tempo de enchimento de grãos, perda de qualidade dos grãos e antecipação da senescência das folhas.

A água na planta de soja represente cerca de 90% de seu peso e desempenha papel em quase todos os processos bioquímicos e fisiológicos, sendo especialmente exigidas em duas etapas do desenvolvimento da cultura: na germinação-emergência e na floração-enchimento dos grãos (SOUZA, 2013).

A água presente na planta advém do solo, por meio de um balanço entre a demanda evaporativa da atmosfera e a reposição da água perdida, gerando um fluxo de água. A falta de água no solo impede que esse fluxo de água seja continuado criando uma situação de estresse hídrico (FERRARI et al., 2015).

Os cultivos submetidos ao estresse por falta de água apresentam diminuição no percentual germinativo e no vigor de suas sementes e plântulas recém emergidas. Em condições de déficit hídrico acentuado, ocorre o fechamento dos estômatos e a redução na assimilação líquida de dióxido de carbono, afetando as reações de fotossíntese, enquanto em déficit moderados, os processos fotossintéticos não são afetados (FERRARI et al., 2015).

De acordo com Viçosi et al (2017), o déficit de água no início do desenvolvimento das plantas de soja faz com que haja uma diminuição na emissão de novos ramos, impactando na quantidade de nós que produziriam vagens.

A redução na taxa fotossintética tem sido uma das respostas notáveis das plantas ao estresse hídrico, resultante de vários fatores, como a diminuição do turgor e consequente fechamento dos estômatos, a redução do crescimento da área foliar, danos no complexo fotossintético, e a queda antecipada das folhas. Assim, a redução da

fotossíntese restringe o crescimento e desenvolvimento vegetal quando há a restrição de água no solo (PALHARINI, 2016).

Segundo Tavares (2021), as diversas alterações metabólicas que decorrentes do estresse hídrico levam à uma diminuição da fixação de carbono pelo complexo fotossintético, resultando em uma redução na taxa de fotossíntese. Esses fatores podem incluir desde a sensação de uma condição estressante ao vegetal, envio dos sinais, ajuste da expressão gênica e outras alterações que possam ocorrer no metabolismo das plantas de soja.

2.3 Uso do Si na amenização do déficit hídrico

O Si é considerado um elemento mineral benéfico às plantas, ou seja, elas podem sobreviver sem esse elemento, mas sua presença no meio traz benefícios, sendo o ácido monossilícico (H_4SiO_4) a forma de absorção do Si pelas plantas. O processo de absorção do Si pela planta ocorre simultaneamente com a água, através do fluxo de massa, sendo depositado nas regiões de elevada transpiração na forma de ácido silícico polimerizado (NUNES et al, 2019).

De acordo com Nunes et al (2019), os benefícios da presença desse elemento no meio incluem a regulação dos mecanismos de fotossíntese; aumento da resistência mecânica celular; incremento da resistência vegetal às pragas e doenças; a redução da toxicidade por manganês, ferro e outros elementos fitotóxicos; o aumento do metabolismo e absorção dos nutrientes; e o desenvolvimento da capacidade de defesa antioxidante quando a planta está submetida a uma condição de estresse hídrico.

O Si atua como atenuador dos sintomas do déficit hídrico nas plantas quando há o acúmulo de Si nas paredes celulares das folhas, resultando em uma camada protetora reforçada, o que dificulta elevadas perdas de água devido à diminuição da taxa de evapotranspiração vegetal (DOS REIS MOREIRA, 2010).

Em vários estudos, foi observada uma relação favorável entre o acúmulo de Si nas folhas e a redução da taxa de transpiração para algumas culturas quando sujeitas a diferentes níveis de déficit hídrico. Isso indica um aproveitamento adequado da água disponível no solo (MENEGALE; CASTRO; MANCUSO, 2015).

Segundo Araújo (2017), o Si estimula o crescimento das plantas quando abundante no meio, destacando-se especialmente em meios com baixos níveis do

nutriente, principalmente em condições estressantes. O nutriente aumenta a produção de enzimas antioxidantes para proteção das plantas contra as espécies reativas de oxigênio.

Além disso, o Si regula o equilíbrio osmótico, promove a rigidez celular na epiderme das folhas, induzindo a absorção de dióxido de carbono e, como consequência, aumenta a eficiência da fotossíntese e os níveis de clorofila. Dessa forma, reduz os efeitos do déficit hídrico pelo depósito foliar do nutriente Si, funcionando como barreira física e regulador osmótico (SANTOS, 2022).

2.4 Plantas acumuladoras e genes transportadores de Si

O Si é absorvido pelas plantas na forma de molécula não dissociada de ácido ortossilícico (H_4SiO_4), por ser o único composto molecular que pode passar pela membrana plasmática das células das raízes das plantas em faixas de pH fisiológicos. Existem três formas de absorção de Si para as plantas conforme a absorção de água: Ativo, que ocorre de forma rápida e é maior que a absorção de água, ocorrendo a redução da concentração de Si da solução nutritiva do solo; passivo, que a velocidade de absorção de água e Si são equivalente, dessa forma a solução nutritiva do solo se mantém inalterada e a rejeitada, que possui velocidade menor e apresenta menor absorção de Si do que a de água, assim a concentração de Si na solução nutritiva é aumentada (YAN et al, 2018).

De acordo com Yan et al (2018), a maioria das plantas monocotiledôneas apresentam a absorção de Si ativamente, como o arroz, trigo, aveia, cevada, milho e banana, além de algumas plantas ciperáceas. As plantas dicotiledôneas apresentam, em sua maioria, absorção de Si passiva. Porém, algumas dicotiledôneas como pepino, girassol e cabaça apresentam absorção ativa e o tomate e fava excluem o Si das suas raízes.

No arroz, a absorção do Si da solução nutritiva é feita por OsLsi1 pelo lado distal e é enviado para o apoplasto do aerênquima através do OsLsi2 que ocorre no lado proximal das células exodérmicas, então, o Si é translocado na estela por OsLis1 e OsLis2 através da camada de células endodérmicas. Já nas raízes de milho e cevada, a absorção do Si é feita por HvLsi1/ ZmLsi1 localizados no lado distal das células epidérmicas e corticais, seguindo, o Si é transportado sai simplasto até a endoderme e, posteriormente, é jogado pelo transportadores de efluxo de Si, HvLsi2 e ZmLsi2, e translocado para a estela via apoplasto (YAN et al, 2018).

Baseado em alguns estudos e resultados de simulação de Si, foi apontado um modelo com transportadores de Si, para a distribuição de Si nos nós das plantas. Lsi6 é um possível transportador na transferência de ácido silícico dos pacotes vasculares dilatados com ponto de partida das raízes para as células de transferência do xilema e, posteriormente transportados via simplasto em todas as células da bainha do feixe através do Lsi2. Anteriormente ao transporte para os pacotes vasculares dilatados ligados a panícula, o Lsi3 tem a possibilidade de fazer o transporte de Si por meio das camadas de células do parênquima. Após ultrapassar a barreira apoplástica nas células do invólucro, o Si tem a possibilidade de ser translocado via apoplasto com um misto de fluxos de efluxo por meio de Lsi2, Lsi3 e ponte de células parenquimatosas (YAN et al, 2018).

Conforme Yan et al (2018), quando o Si é transportado por Lsi1 e Lsi2 até a estela, ele é translocado para mais um fluxo de transpiração por meio do xilema. Cerca de 90% do Si translocado é absorvido pela raiz, e parte pode ficar depositado nas paredes celulares das raízes e vasos xilemáticos, o que leva os vasos a não comprimirem quando estiver com elevadas taxas de transpiração. O Si concentrado no xilema permite inferir sobre a correlação com a aptidão de acumular Si em diferentes espécies vegetais.

Por fim, antes do Si ser depositado nas paredes celulares epidérmicas e células específicas caulinares, ele deve ser translocado para fora do xilema através do Lsi6. Essa proteína transportadora é encarregada de transportar o ácido silícico do xilema para as células parenquimáticas do xilema, dessa maneira ocorre a distribuição e deposição de Si decorrentes dentro dos tiros. O gene responsável por codificar o Lsi6 foi encontrado em arroz, cevada e milho. O Transportador OsLsi6 é equivalente ao transportador de influxo de Si, OsLsi1, além disso, da mesma forma que o OsLsi6, os ZmLsi6 e HvLsi6, são expressos tanto nas raízes quanto nos brotos e são capazes de evidenciar a posição polar nas células parenquimáticas do xilema, as quais são limítrofes dos vasos tanto nas bainhas quanto nas lâminas das folhas (YAN et al, 2018).

2.5 Uso de fungos micorrízicos arbusculares na amenização do estresse hídrico

Os FMA (Fungos Micorrízicos Arbusculares) são organismos que estão presentes em qualquer parte do planeta e sobrevivem e se multiplicam obrigatoriamente em plantas vivas hospedeiras (TAVARES, 2021). São pertencentes ao Filo Glomeromycota; de Classe Glomeromycetes; de um grupo com as seguintes classes *Archaeosporales*,

Diversisporales, *Glomerales* e *Paraglomerales*; que abrange onze famílias e vinte e cinco gêneros (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Tavares (2021), os FMA agem através da colonização das raízes das plantas e com suas hifas externas as raízes que funcionam como um alongamento radicular, promovendo a estruturação física do solo e absorção de água e nutrientes, amenizando os efeitos do estresse hídrico. Eles se tornaram uma possibilidade para o cultivo de plantas sob estresse hídrico, já que fazem simbiose com grande parte das plantas, promovendo melhor tolerância aos estresses abióticos (DE OLIVEIRA et al., 2019)

Como vantagens para as plantas, os fungos micorrízicos arbusculares tornam a absorção de nutrientes mais eficiente, especialmente em solos com fertilidade baixa, possibilita condições mais favoráveis de potencial hídrico, além de reagir positivamente às implicações do estresse hídrico. Com as mudanças climáticas e o déficit hídrico ser um cenário comum das lavouras, os estudos buscando novas alternativas que possibilitem o bom desenvolvimento das plantas são de grande relevância (DE OLIVEIRA et al, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, onde as plantas foram conduzidas em vasos com 14 dm³ no Campo Demonstrativo e Experimental – CADEX, durante os anos de 2022 a 2024.

3.1 Delineamento experimental

O experimento foi implantado sob delineamento em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 2x2x2 com quatro repetições o primeiro fator Si (com e sem adição de Si como corretivo do solo) x segundo fator FMA (com e sem adição de FMA) x terceiro fator estresse de seca (40 e 100% de reposição da aplicação de água).

A coleta da temperatura e umidade relativa do ar registradas na casa de vegetação durante os últimos 60 dias do período de condução do experimento estão apresentadas na Figura 1.

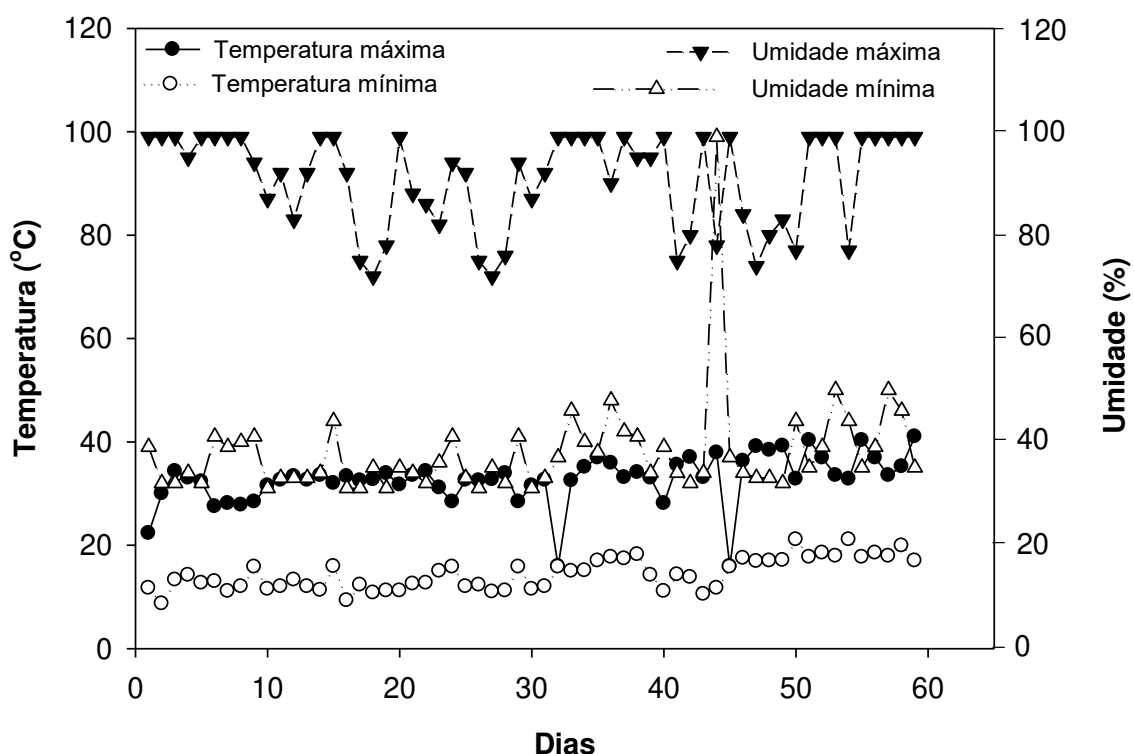


Figura 1. Temperatura máxima, média, mínima e umidade relativa do ar registradas na casa de vegetação durante o período de condução do experimento.

3.2 Cultivar de soja

O genótipo de soja utilizado foi a cultivar GMS 6834 IPRO, de nome comercial Pérola. Segundo a empresa responsável pela comercialização das sementes, este híbrido apresenta ciclo de 120 dias após a semeadura (DAS) e é caracterizado por excelente sanidade foliar, ampla adaptação geográfica e elevado potencial produtivo.

3.3 Manejo da irrigação

Para obtenção da curva características da água do solo foram determinados pontos de baixa tensão (0; 2; 4; 6; 8 e 10 KPa) e de maiores tensões (33; 100; 500 e 1500 KPa). Utilizando-se o programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990), foi gerada uma equação, ajustada segundo modelo proposto por Van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão (potencial matricial). A partir dessa equação e dos valores observados, será gerada a curva de retenção da água no solo para a camada em estudo.

Para o manejo da irrigação foram utilizados tensiômetros de cápsulas porosas instalados em quatro vasos considerados controle, buscando estimar a quantidade de água perdida pela planta. Para a transformar o potencial matricial do solo em umidade volumétrica, foram elaboradas curvas de retenção de água no solo através do modelo proposto por Van Genuchten (1980). Os parâmetros de ajuste utilizados do modelo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água do solo em diferentes texturas.

Textura de Solo	Parâmetros de Ajuste
CXbd	
θ_s	0,51449
θ_r	0,073141
α	0,038183
n	1,5193
m	0,341802

A capacidade de campo, estimada para os vasos foi de $0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para CXbd. O monitoramento dos tensiômetros instalados nos vasos de controle foi realizado diariamente, aproximadamente às 17 horas, sendo seus valores utilizados para a estimativa da umidade atual, posteriormente do volume de água necessário para voltar o vaso à capacidade de campo. Esse volume foi transformado em tempo de irrigação:

Em que:

T_i – tempo de irrigação necessário para se voltar o solo do vaso à capacidade de campo no dia i (h).

θ_{cc} – Umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). θ_{atual} – Umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

V_u – Volume útil de solo no vaso (L). q = vazão do gotejador (L h^{-1}).

A irrigação do experimento foi realizada por gotejamento, sendo controlada de forma automática através de um controlador da marca Rain Bird modelo ESP4MEI.

Foram utilizados emissores tipo botão autocompensantes com vazão de 2,3 L h⁻¹ (Netafim PCJ-CNL). Os emissores foram conectados em tubos de polietileno de baixa densidade (PELBD) com diâmetro de 16 mm e em microtubos do tipo spaghetti com diâmetro de 5 mm. Cada vaso foi equipado com hastes anguladas de 150 mm para instalação dos emissores. Para fornecer as lâminas em estudo, a estratégia consistiu em fixar o tempo de irrigação e variar a vazão dos emissores, conforme Tabela 2. O sistema de irrigação foi alimentado por um conjunto motobomba de 0,5 cv de potência, cujo tempo de funcionamento foi programado por meio de um controlador digital com resolução de 1 minuto.

Tabela 2. Vazão dos emissores (L h⁻¹ vaso⁻¹) utilizados para obter as lâminas de irrigação (%).

Vazão dos emissores (L h ⁻¹ vaso ⁻¹)	Lamina de irrigação (%)
2	40
5	100

A tomada de decisão sobre o momento da irrigação foi realizada através da tensiometria. Foram instalados quatro tensiômetros a 15 cm de profundidade na laminade 100%, que foi utilizada como referência para irrigação. O monitoramento dos tensiômetros foi realizado diariamente, por volta das 17:00 horas. A tensão crítica da laminade referência (100%) para tomada de decisão de irrigação foi adotada como sendo próxima a -30 kPa, conforme recomendação de Guerra (2000).

Em relação ao potencial matricial de água no solo (Figura 2), as maiores tensões foram 75% superiores para 40% da irrigação (-383 mBar).

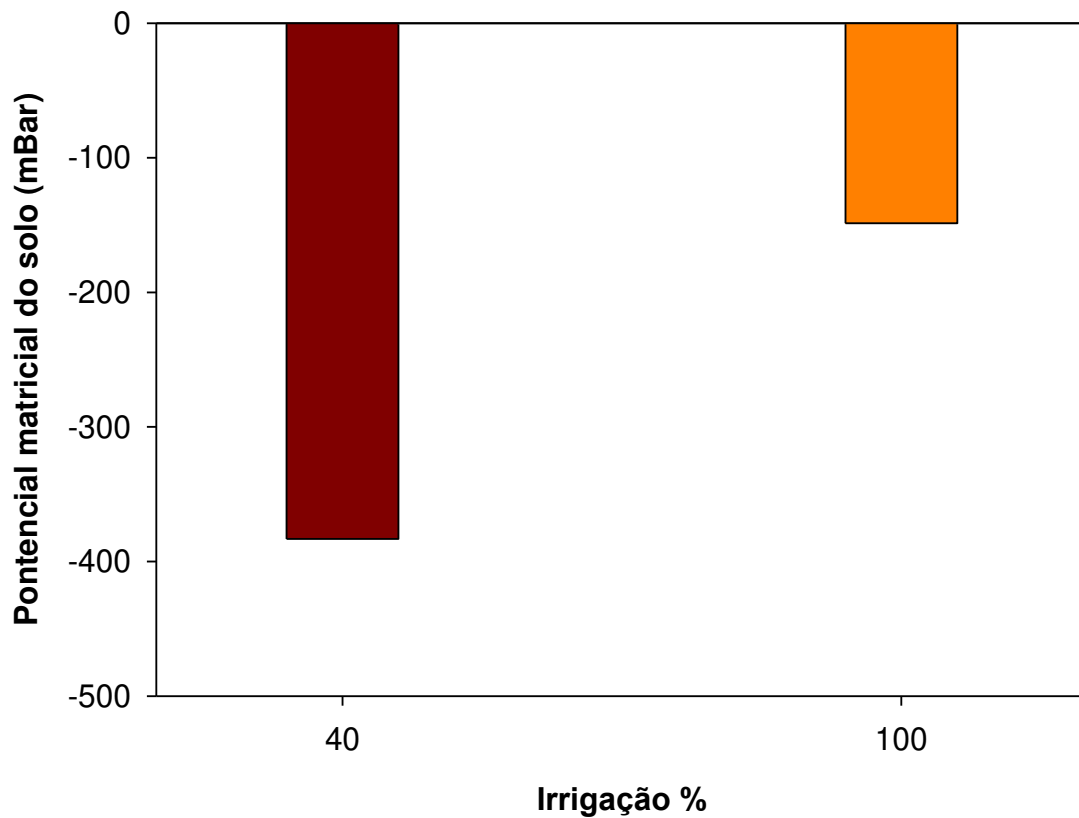


Figura 2. Potencial matricial da água do solo para lâminas de irrigação de 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%) ao longo de todo o ciclo.

Para a maior umidade do solo (Figura 3), a lamina de irrigação recomendada de 100% foi superior em relação à lamina de irrigação de 40% da reposição de água.

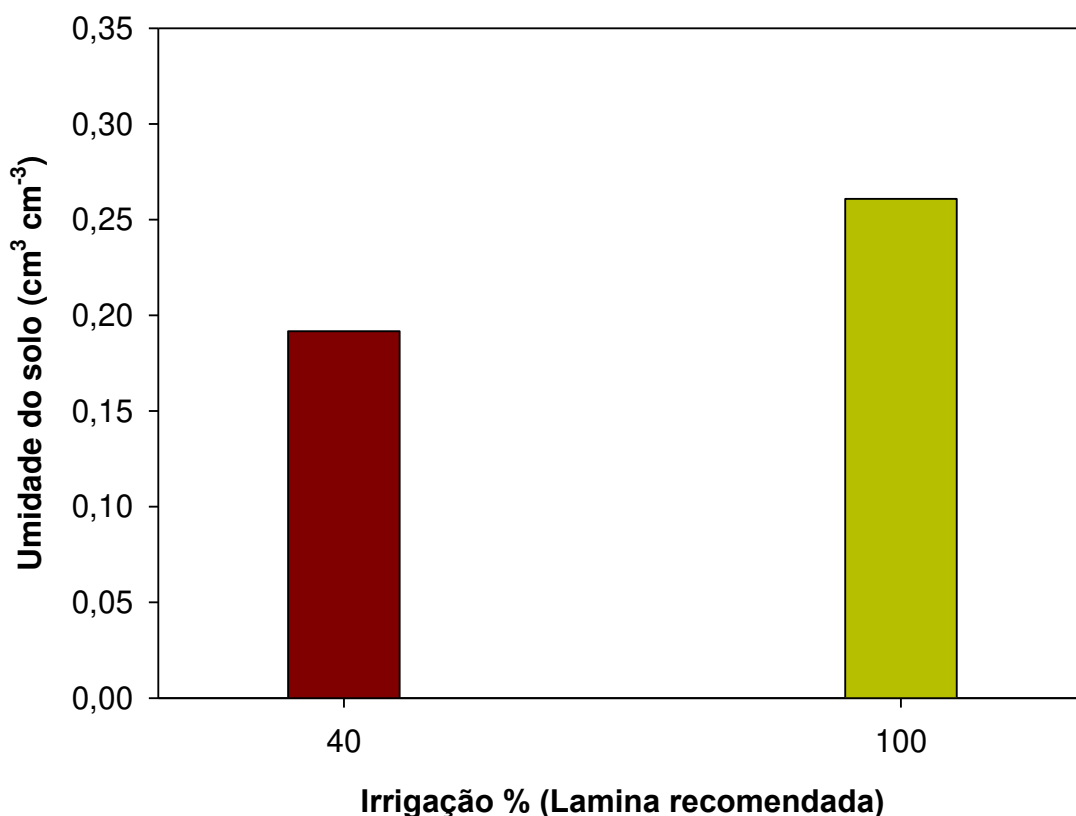


Figura 3. Umidade do solo para lâminas de irrigação de 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%).

Para o volume de água (Figura 4), o maior volume de água aplicado foi para a lamina de irrigação recomendada de 100%, sendo essa medida obtida pelo volume total aplicado ao longo do tempo pela lâmina. Essa diferença é atribuída à variação das lâminas de acordo com o gotejador, onde o tempo de irrigação foi o mesmo e referenciado pela tensão coletada do tratamento de referência da lamina de 100%.

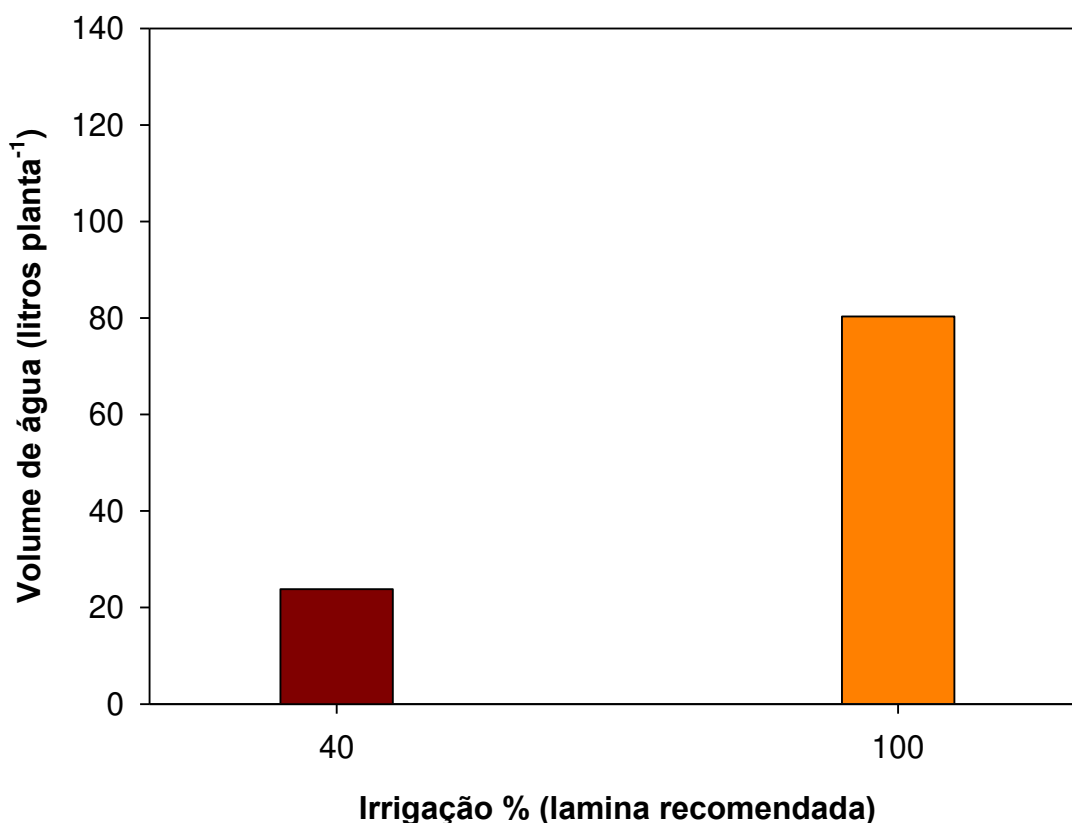


Figura 4. Volume de água aplicado no solo para lâminas de irrigação de 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%), segundo estimativas de volume do emissor pelo tempo.

3.4 Inoculo de FMA

Os fungos micorrízicos arbusculares utilizados pertencem a Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Um inóculo misto, elaborado a partir da mistura de quantidades iguais dos seguintes isolados de FMAs: *Acaulosporalongula* PNB101A, *Rhizophagusclarus* SCT720A, *Gigasporaalbida* PRN200A, *Dentiscutataheterogama* MGR610A, *Rhizophagusintraradices* SCT736J, *Acaulosporamellea* SCT063B foi aplicado nos 5 cm superficiais, no centro do vaso, antes da semeadura, na dose de 12 g de inóculo vaso⁻¹.

3.5 Avaliações

3.5.1 Altura de plantas

A altura da planta foi realizada com trena, tomando como base o colo da planta até o ápice da planta no final da pesquisa.

3.5.2 Avaliação fisiológica

A avaliação das trocas gasosas foi realizada no quarto trifólio (sem pecíolo), a partir do ápice, na haste principal no início do florescimento (estádio R1), utilizando o medidor portátil LI-6400XT no período da manhã, entre 8 e 12 h. As medições foram realizadas utilizando-se a câmara LI-6400-02B com fonte de luz, onde a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa foi fixada em $1000 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A taxa fotossintética líquida (A) foi avaliada durante a pesquisa.

3.5.3 Produtividade da soja

No final da pesquisa foi avaliada a produtividade da soja por planta. Os resultados obtidos foram convertidos após a correção da umidade para 14%, conforme demonstrado abaixo:

$$PF=PI*(100-UI/100-UF)$$

Onde:

PF: peso final da amostra (g);

PI: peso inicial da amostra (g);

UI: umidade inicial da amostra (%);

UF: umidade final da amostra (14%)

3.5.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em caso de interação significativa, os efeitos foram desdobrados dentro dos níveis de cada fator. As médias dos fatores Si e FMA foram comparadas pelo teste de *Scott Knott*. Todas as análises foram realizadas no software RStudio. Para todas as análises estatísticas, o nível de significância adotado foi de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as figuras 5A e 5B, independente da presença e ausência de Si e FMA, observou-se maior altura nos tratamentos com maior lamina de água. A inoculação prévia

dos fungos promoveu incremento na altura das plantas na lamina de 40%, ou seja, em condição de estresse de seca. Foi observado que a associação de fungos micorrízicos às raízes da soja resulta em uma maior eficiência no processo de formação de raízes finas, proporcionando um melhor suprimento nutricional e condições mais favoráveis ao crescimento da planta. Isso ocorre porque os fungos micorrízicos aumentam a capacidade de absorção de nutrientes do solo (SILVA,2006).

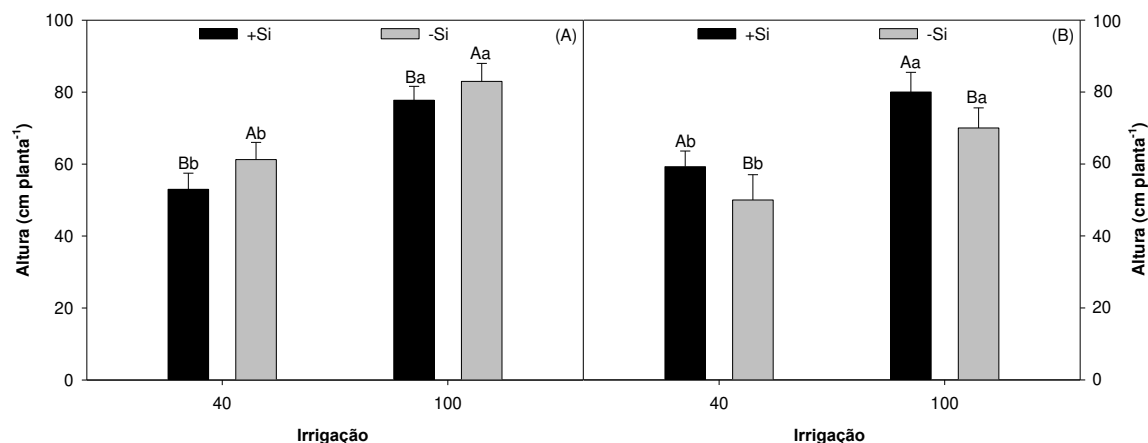


Figura 5. Altura da planta em função na presença e ausência de Si, 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%) e em função da presença do +FMA (Figura A) e ausência do -FMA (Figura B) na soja. Colunas com letras minúsculas diferentes comparam dentro das lâminas de irrigação e letras maiúsculas nas colunas de cores iguais comparam entre a presença e ausência do Si indicando diferenças significativas em relação ao teste de ScottKnott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a +FMA nas aplicações de 40 e 100% irrigação recomendada, houve incremento de 15% na taxa fotossintética (Figura 6). A mesma tendência foi observada para -FMA na lamina de irrigação 40% e 100%, com incremento 17% na taxa fotossintética. As respostas das plantas causadas pela restrição hídrica podem ser de natureza fisiológicas e bioquímicas, portanto, podem ocorrer reduções na eficiência fotossintética. (OLIVEIRA, 2019). Entretanto, mesmo com a lamina de 40% de irrigação, na presença de Si, observa-se que as taxas fotossintéticas foram pouco afetadas pela condição de estresse seca em comparação com a lamina de 100% de irrigação, onde a planta se encontra em condições ideais. Essa situação ocorre devido aos efeitos do mineral

Si, causando melhoria na arquitetura foliar; e no metabolismo vegetal, especialmente no processo fotossintético. (LIMA FILHO,2005).

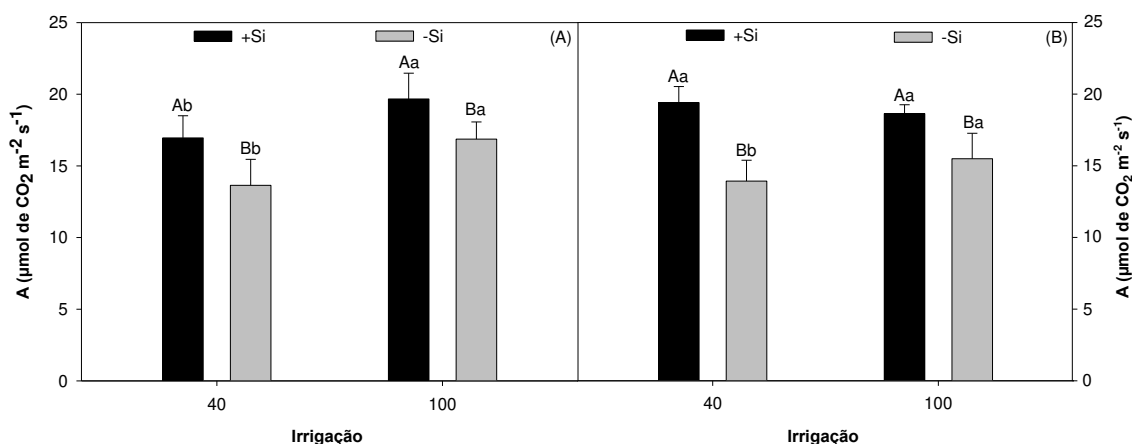


Figura 6. Taxa fotossintética na folha em função na presença e ausência de Si, 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%) e em função da presença do +FMA (Figura A) e ausência do -FMA (Figura B) na soja. Colunas com letras minúsculas diferentes comparam dentro das lâminas de irrigação e letras maiúsculas nas colunas de cores iguais comparam entre a presença e ausência do Si indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a produtividade da soja com reposição de água no solo de 40 % observamos aumento de 15% na presença de Si e FMA. Para 100% da reposição de água no solo, houve um aumento de 17% na produtividade na presença de Si. A inoculação dos fungos micorrízicos incrementou a produtividade da soja, mesmo em condição de estresse seca, em comparação na ausência do FMA (Figura 7). Segundo Oliveira (2019), o benefício dos FMA para a maior produtividade se deve à colonização micorrízica, que pode aumentar o crescimento das plantas e diminuir os efeitos negativos de estresses, como o déficit hídrico, pela indução do crescimento das hifas, que penetram nas raízes, formando uma extensão.

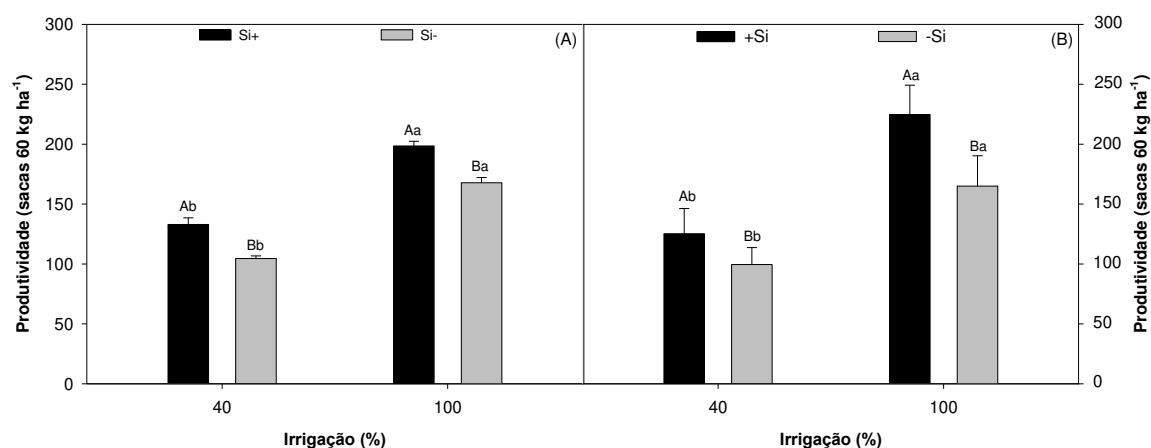


Figura 7. Produtividade da soja em função na presença e ausência de Si, 40% e 100% da reposição de água considerada ideal pelo tensiômetro (100%) e em função da presença do +FMA (Figura A) e ausência do -FMA (Figura B) na soja. Colunas com letras minúsculas diferentes comparam dentro das lâminas de irrigação e letras maiúsculas nas colunas de cores iguais comparam entre a presença e ausência do Si indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

5 CONCLUSÕES

A presença de Si (Si) e FMA teve um impacto positivo na produtividade da soja, especialmente em condições de estresse hídrico.

A inoculação prévia dos fungos promoveu um aumento significativo na altura das plantas e na taxa fotossintética, enquanto o Si mostrou-se eficaz na melhoria da arquitetura foliar e no metabolismo vegetal, especialmente no processo fotossintético.

A presença combinada de Si e FMA resultou em um incremento ainda maior na produtividade da soja, mesmo em condições de estresse seca. Isso sugere que a associação simbiótica entre as plantas de soja, o Si e os FMA podem oferecer uma estratégia promissora para aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico e melhorar sua capacidade de crescimento e produção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOVISI, A. M. T. et al. Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. **Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 40, p. 150-158, 2018.
- ARAÚJO, E. D. **Si como atenuador do estresse hídrico em feijão-caupi por meio do mecanismo antioxidante e desempenho agrônômico**. 2017. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Campo Grande, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **SOJA – Maio/2023**. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em: 20 nov. 2023.
- DE MORAES CAMPOS, Anna Júlia; SANTOS, Sarah Medeiros; NACARATH, Inaia Rhavene Freire Fagundes. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 15, p. 311101523155-e311101523155, 2021.
- DE OLIVEIRA, T.C. et al. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 4, p. 530-535, 2019.
- DOS REIS MOREIRA, Aparecido et al. Resposta da cultura de soja a aplicação de Si foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (2022/23)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 21 out. 2023.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.
- FERRARI, M. et al. Hidroretentores: alternativa para maior tolerância ao déficit hídrico na cultura da soja. **Global Science and Technoogy**, Rio Verde, v.08, n.03, p.21-29, 2015.
- GERLAND, Patrick et al. World population stabilization unlikely this century. **Science**, v. 346, n. 6206, p. 234-237, 2014.
- LIMA FILHO, O. F; OESTE. **Embrapa Agropecuária**. O Si é um fortificante e Antiestressante Natural para as plantas. 2005.
- LIMA, Tatiana Melo. **Diagnóstico da fertilidade do solo e do nível tecnológico de propriedades rurais no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. 2019. 138 p. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MÉNDEZ, D. F. S. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares e sua relação com atributos do solo em área de milho sob monocultivo e em consórcio com forrageiras no Cerrado**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MENEGALE, M. L. de C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Si: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, ed. especial, p. 435454, 2015.

NUNES, A. M. C. et al. Si na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, 21, n.2, 2019.

OLIVEIRA, T. C. et al. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 4, p. 530-535, 2019.

OLIVEIRA, T. C. **Desempenho de soja associada com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* sob déficit hídrico**. 2018. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2018.

PALHARINI, W. G. **Influência do estresse hídrico sobre caracteres agronômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em soja**. 2016. 36f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

PIZOLATO NETO, A. **Tolerância ao déficit hídrico em soja: respostas bioquímicas, fisiológicas e fenotípicas**. 2019. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

RAMOS, C. M. et al. Competitividade e inserção da soja brasileira no mercado internacional. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. spe1, p. 74-85, 2020.

REIS, M. C.; ANDRADE, B. B.; VASCONCELOS, G. R. Silicato de cálcio e magnésio no milho segunda safra: fitossanidade, fertilidade do solo e produtividade. **Revista do COMEIA**, vol. 1, n. 1, 2019.

SALGADO, F. H. M. et al. Fungos micorrízicos arbusculares e estimulantes micorrízicos afetam o acúmulo de matéria seca e nutrientes em plantas de feijão e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 4, p. 367-373, 2016.

SANTOS, C. C. et al. The role of silicon in the mitigation of water stress in *Eugenia myrcianthes* Nied. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022.

SILVA, A. C. et al. Micorrização e épocas de dessecação de *Brachiaria brizantha* no desenvolvimento da soja. **Planta Daninha**, v. 24, p. 271-277, 2006.

- SIMEÃO, M. **Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo**. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, 2015.
- SOUZA, Gustavo M. et al. Soja sob déficit hídrico: respostas fisiológicas e de produtividade. **Uma Pesquisa Abrangente da Pesquisa Internacional da Soja - Genética, Fisiologia, Agronomia e Relações com Nitrogênio**, p. 273-298, 2013.
- TAVARES, G.G. **Alterações fisiológicas em plantas de soja submetidas a níveis de déficit hídrico e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares**. 2021. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde. 2021.
- VIANA, J. S. et al. Condicionantes para cultivo de soja tolerante ao déficit hídrico no Semiárido Nordeste. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e16710413980, 2021.
- VIANA, J. S. et al. Conditioners for cultivation soybean tolerant to the water deficit in the Northeast Semi-arid. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e16710413980, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13980.
- VIÇOSI, K. A. et al. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, Suplemento 1, p. 36-42, 2017.
- VITAL, R. G. Mecanismos da tolerância ao déficit hídrico e à alta temperatura em cultivares de soja. **Instituto Federal Goiano**. 2019.
- YAN, G. et al. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. **Journal of Integrative Agriculture**. v. 17, n. 10, p. 2138–2150, 2018.