



Aplicação foliar de ureia, níquel e sacarose em estágio reprodutivo da soja

Ana Clara Dutra KOCHENBORGER¹ , Valdeci ORIOLI JÚNIOR^{1*} ,
Gabriel Augusto SILVA¹ , Mateus Martini SARGENTIM¹ , José Luiz Rodrigues TORRES¹ 

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil.

*E-mail: valdeci@iftm.edu.br

Submetido em 07/04/2022; Aceito em 06/02/2023; Publicado em 14/04/2023.

RESUMO: A aplicação foliar dos nutrientes N e Ni em estágio reprodutivo da soja pode trazer benefícios à cultura da soja. No entanto, ao se utilizar a ureia como fonte para essa prática é comum a ocorrência de fitotoxidez nas folhas. Essa fitotoxidez pode ser reduzida pela adição de Ni e sacarose à calda de pulverização. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a aplicação de uma solução com diferentes concentrações de ureia, com e sem a presença de Ni e sacarose. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro concentrações de ureia (0, 5, 10 e 15% m/v), na presença ou ausência de Ni (30 g ha⁻¹ de Ni), com e sem adição de sacarose (1 mol L⁻¹), aplicadas via folha no início da fase de enchimento de grãos. A aplicação foliar de ureia se mostrou viável somente com a adição de sacarose à calda de pulverização. A adição de sacarose na calda elimina a fitotoxidez nas plantas de soja causada pela aplicação de ureia. Não foram observados benefícios da aplicação isolada ou combinada de Ni e sacarose.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; nutrição de plantas; adubação nitrogenada; micronutriente; urease.

Foliar fertilization of urea, nickel and sucrose in reproductive stage of soybean

ABSTRACT: The foliar application of N and Ni nutrients in the reproductive stage of soybean can bring benefits to the soybean crop. However, when using urea as a source for this practice, the occurrence of phytotoxicity in the leaves is common. This phytotoxicity can be reduced by adding Ni and sucrose to the spray solution. Thus, the present work aimed to evaluate the application of a solution with different urea concentrations, with and without the presence of Ni and sucrose. The experimental design used was in randomized blocks, in a 4x2x2 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of four urea concentrations (0, 5, 10 and 15% w/v), in the presence or absence of Ni (30 g ha⁻¹ of Ni), with and without the addition of sucrose (1 mol L⁻¹), applied to the leaves at the beginning of the grain filling phase. The foliar application of urea proved to be viable only with the addition of sucrose to the spray solution. The addition of sucrose in the spray solution eliminates phytotoxicity in soybean plants caused by urea. No benefits were observed from the isolated or combined application of Ni and sucrose.

Keywords: *Glycine max* L.; plants nutrition; nitrogen fertilization; micronutrient; urease.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal planta oleaginosa cultivada no Brasil, cultura que tem como produto, além do óleo para alimentação e biocombustíveis, o farelo para produção de suínos e aves, e o grão para exportação. A implementação de tecnologias na área de melhoramento genético, agricultura de precisão, fertilidade do solo e nutrição de plantas fez com que a produtividade média da soja tivesse um aumento significativo nos últimos anos e, atualmente, o Brasil se encontra como o maior produtor mundial de soja (SILVA et al., 2022).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), há estimativa de produção de 152,7 milhões de toneladas de soja na safra 2022/23, um aumento de 22,2% em relação à safra 2021/22.

A adubação é um fator determinante para a obtenção de altas produtividades de soja e trata-se de uma operação que ocupa a grande parcela do custo final de produção (SILVA et al., 2022). O alto teor de proteína na semente implica em uma demanda de, aproximadamente, 80 kg de N por tonelada

colhida, dos quais 75% são exportados da área de cultivo (BENDER et al., 2015). Parte considerável dessa quantidade é suprida pela Fixação Biológica Nitrogênio (FBN), o que pode eliminar a necessidade da adubação nitrogenada e tornar o cultivo de soja mais viável financeiramente (SARTORI et al., 2023).

No entanto, o lançamento de cultivares com alto teto de produtividade e resultados de pesquisas, realizadas principalmente nos EUA, mostram uma resposta da soja à aplicação de N no início do enchimento de grãos, o que gera dúvidas sobre a utilização de N na soja de forma tardia (LAMOND; WESLEY, 2001).

Diversos estudos abordaram a capacidade da FBN em suprir toda a demanda de N para a soja. Alguns destes demonstram que não existe a necessidade da adubação nitrogenada complementar para a cultura (VARGAS et al. 1982; MENDES et al., 2003). Por outro lado, outros trabalhos, como os de Wesley et al. (1998), Gan et al. (2002, 2003), Salvagiotti et al. (2009) e Cassim et al. (2020), apontam que somente a FBN não supriria a necessidade da planta,

principalmente em fase reprodutiva, evidenciando assim a necessidade da adubação suplementar.

Segundo Boote et al. (1978), a aplicação foliar de nutrientes na soja aumenta os teores foliares destes, aumentando a taxa fotossintética, principalmente na fase de senescência. Entretanto, os resultados na produtividade não são consistentes. Estudos envolvendo doses e épocas de aplicação de N via foliar são importantes, pois pode haver benefício, mas essa prática também pode trazer problemas ao desenvolvimento da planta em caso de fitotoxicidade causada pelo fertilizante nitrogenado, ocasionada por seu acúmulo nos tecidos foliares.

Segundo Rosolem; Boaretto (1989), a ocorrência de fitotoxicidade devido à aplicação de N foliar poder ser minimizada com a escolha da fonte do nutriente, da ponta de pulverização e do volume de calda, assim como o horário de aplicação. Quanto à fonte, a ureia desperta grande interesse, pois apresenta alta concentração de N e baixo custo por quilograma deste nutriente quando comparada aos demais fertilizantes nitrogenados.

A ureia nas plantas pode ser proveniente de diversas fontes, como a absorção direta ou gerada como subproduto da síntese de poliaminas (KUSANO et al., 2007) ou, ainda, pode ser sintetizada durante a degradação de aminoácidos (TODD et al., 2006), sendo o N um dos nutrientes que primeiramente é redistribuído para os grãos a fim de suportar seu desenvolvimento (MARSCHNER, 2012). A eficiência do fornecimento de N está relacionada à alta assimilação desse nutriente pelas plantas, como também está relacionada à hidrólise da ureia na planta, a qual é mediada pela presença do Ni.

O Ni teve sua essencialidade comprovada por Dixon et al. (1975), Eskew et al. (1983, 1984) e Brown et al. (1987). Esse elemento faz parte da urease, uma enzima que catalisa a hidrólise das moléculas de ureia em NH_3 e CO_2 , o que afeta diretamente a eficiência da utilização do N foliar. Segundo Gerendás; Sattelmacher (1997) e Fernández et al. (2015), a deficiência desse nutriente em plantas pode causar um acúmulo de ureia em tecidos foliares devido à baixa atividade da urease, acarretando sintomas de necrose nas folhas, o que pode ser evitado em função do fornecimento de Ni. Recentemente, Ávila (2016) observou que, mesmo em doses mais baixas, o Ni pode apresentar caráter tóxico às plantas, o que restringe seu uso a pequenas quantidades.

Volk; Mcaulife (1954) citaram a sacarose como uma substância que pode diminuir, até certo ponto, injúrias foliares causadas por altas concentrações de ureia, isso por conta da diminuição da taxa de absorção desse nutriente, efeito esse análogo ao obtido por Alecrim (2016), onde a aplicação de sacarose em plantas de café atingidas pela deriva de *Glyphosate* apresentaram melhor taxa fotossintética em relação as que não receberam o tratamento.

A aplicação de ureia foliar pode trazer efeitos benéficos para soja, entretanto, esse fornecimento em altas concentrações pode prejudicar o crescimento da cultura. Dessa forma, a aplicação de Ni em conjunto com a sacarose pode mitigar os efeitos fitotóxicos da aplicação, o que permitiria o fornecimento de maiores doses de N foliar por meio da ureia.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da aplicação foliar de ureia em estágio reprodutivo da soja, na presença e ausência de Ni e sacarose e, caso seja viável, definir a concentração de ureia a ser adotada para essa finalidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi conduzido em condições de campo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – *Campus* Uberaba a 19°39'42" Sul e 47°57'48" Oeste, 790 metros de altitude, com clima local, segundo classificação de Köppen do tipo tropical quente e úmido, com inverno frio e seco (Aw), com precipitação e temperatura média anual de 1500 mm e 21°C, respectivamente. O solo do local é classificado com Latossolo Vermelho distrófico de textura média e o experimento foi conduzido de novembro de 2019 até abril de 2020 em área cultivada com soja sob plantio direto há três anos.

2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4x2x2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na associação da aplicação, via foliar, de solução com diferentes concentrações de ureia (0, 5, 10 e 15% m/v), com e sem aplicação de níquel (30 g ha⁻¹) e com e sem a aplicação de sacarose (1 mol L⁻¹).

Cada unidade experimental foi composta por oito linhas de cinco metros de comprimento espaçadas por 0,5 metros entre si, totalizando quatro metros de largura e uma área de 20 m².

2.2. Preparo da área experimental

Previamente foi realizada a caracterização dos atributos químicos do solo por meio de amostragem e análise química de solo nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m para norteamento da correção do solo, adubação de sementeira e cobertura (Tabela 1).

A sementeira foi realizada mecanicamente e a cultivar utilizada foi a RK6719, adotando-se o espaçamento entrelinhas de 0,50 m, com 20 sementes por metro, procurando-se obter uma população de 400.000 plantas ha⁻¹. Neste momento, foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco, tendo-se como fonte o fertilizante 0-20-20.

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Table 1. Soil chemical attributes in the 0 to 0.20 m and 0.20 to 0.40 m layers.

Profundidade m	pH(CaCl ₂)	P(resina) mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	Al	H+Al	MO g dm ⁻³	V %
0-0,20	5,1	17,6	2,52	23	4,8	0	24	23,8	55,8
0,20-0,40	5,0	9,7	1,06	8,9	2,2	0	29	20,4	29,5

2.3. Aplicação dos tratamentos

A aplicação dos tratamentos foi realizada quando, aproximadamente, 50% das plantas atingiram o estágio R5.1

da cultura, caracterizado pelo início de formação dos grãos, com grãos perceptíveis ao tato, o equivalente a 10% da granação (FEHR; CAVINESS, 1977). Como fontes foram

utilizados o açúcar cristal (99,5% de sacarose), a ureia (45% de N) e o sulfato de níquel (22% de Ni).

Os elementos de cada tratamento foram previamente dissolvidos em um recipiente de plástico e posteriormente misturados em pulverizador costal elétrico de 20 litros, mantendo-se agitação manual até a aplicação. As aplicações foram realizadas no mesmo dia ao final da tarde, com início às 16h30min, adotando-se uma vazão de 200 L ha⁻¹.

2.4. Variáveis avaliadas

Avaliaram-se a massa de 100 grãos, obtida a partir da massa média de 100 grãos cinco amostras por parcela; o número de grãos por planta; vagens por planta e grãos por vagem. Para essas últimas quatro variáveis, por ocasião da colheita, foram amostradas sete plantas em cada parcela. Para as variáveis massa de 100 grãos e massa de grãos por planta realizou-se a correção dos valores para 13% de umidade (base úmida).

2.5. Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos estudados por meio de análise de regressão (doses; causa de variação quantitativa) ou do teste de Tukey (épocas de aplicação; causa de variação qualitativa). Para análise das notas de fitotoxidez os dados foram convertidos para $\sqrt{x+0,5}$. Foi adotado o nível de significância de 5% de probabilidade em todas as análises.

3. RESULTADOS

Para nenhuma das variáveis notaram-se efeitos isolados das causas de variação ou interação tripla entre elas ($p > 0,05$). No entanto, foram verificadas interações entre duas causas de variação para as variáveis número de vagens e grãos por planta, grãos por vagem, massa de grãos por planta e notas de fitotoxidez (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficiente de variação (CV%), valores de F, probabilidade (p) e significância das interações duplas da análise de variância para a massa de 1000 grãos, vagens e grãos por planta, massa de grãos por planta e notas de fitotoxidez.
Table 2. Coefficient of variation (CV%), F values, probability (p) and significance of the double interactions of the analysis of variance for the mass of 1000 grains, pods and grains per plant, mass of grains per plant and phytotoxicity scores.

Causas de variação	Massa de 1000 grãos		Vagens por planta		Grãos por planta		Grãos por vagem		Massa de grãos por planta		Fitotoxidez ¹	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Ni d. Sem sacarose	0,20 ^{NS}	0,6534	1,80 ^{NS}	0,1870	1,52 ^{NS}	0,2234	0,16 ^{NS}	0,6948	1,80 ^{NS}	0,1863	0,01 ^{NS}	0,9144
Ni d. Com sacarose	1,64 ^{NS}	0,2068	2,17 ^{NS}	0,1475	2,12 ^{NS}	0,1519	0,28 ^{NS}	0,6011	2,67 ^{NS}	0,1089	0,33 ^{NS}	0,5664
Sacarose d. Sem Ni	2,75 ^{NS}	0,1043	1,89 ^{NS}	0,1757	1,69 ^{NS}	0,1997	0,01 ^{NS}	0,9582	2,43 ^{NS}	0,1264	36,36 ^{**}	<0,0001
Sacarose d. Com Ni	0,01 ^{NS}	0,9403	2,07 ^{NS}	0,1573	1,93 ^{NS}	0,1712	0,01 ^{NS}	0,9374	2,02 ^{NS}	0,1624	45,10 ^{**}	<0,0001
Ni d. 0% de ureia	0,28 ^{NS}	0,5968	0,01 ^{NS}	0,9747	0,02 ^{NS}	0,8902	0,67 ^{NS}	0,4170	0,07 ^{NS}	0,7873	0,00 ^{NS}	1,0000
Ni d. 5% de ureia	0,18 ^{NS}	0,6720	0,01 ^{NS}	0,9333	0,05 ^{NS}	0,8252	1,01 ^{NS}	0,3201	0,01 ^{NS}	0,9041	0,00 ^{NS}	1,0000
Ni d. 10% de ureia	0,01 ^{NS}	0,9156	2,29 ^{NS}	0,1376	2,16 ^{NS}	0,1490	0,01 ^{NS}	0,9705	1,94 ^{NS}	0,1704	0,00 ^{NS}	1,0000
Ni d. 15% de ureia	1,37 ^{NS}	0,2473	2,07 ^{NS}	0,1572	2,29 ^{NS}	0,1371	0,31 ^{NS}	0,5793	1,88 ^{NS}	0,1771	0,44 ^{NS}	0,5101
Ureia d. Sem Ni												
Regressão linear	0,60 ^{NS}	0,4424	2,27 ^{NS}	0,1392	0,38 ^{NS}	0,0726	6,83 [*]	0,0121	4,02 ^{NS}	0,0510	30,32 ^{**}	<0,0001
Regressão quadrática	0,96 ^{NS}	0,3326	0,01 ^{NS}	0,9777	0,01 ^{NS}	0,9448	0,01 ^{NS}	1,0000	0,02 ^{NS}	0,8868	0,06 ^{NS}	0,8012
Regressão cúbica	0,77 ^{NS}	0,3856	0,04 ^{NS}	0,8460	0,03 ^{NS}	0,8701	0,09 ^{NS}	0,7609	0,12 ^{NS}	0,7332	0,01 ^{NS}	0,9103
Ureia d. Com Ni												
Regressão linear	2,20 ^{NS}	0,1451	0,32 ^{NS}	0,5770	0,44 ^{NS}	0,5094	1,00 ^{NS}	0,3223	0,72 ^{NS}	0,4005	23,78 ^{**}	<0,0001
Regressão quadrática	0,36 ^{NS}	0,5497	4,39 [*]	0,0418	4,40 [*]	0,0416	0,31 ^{NS}	0,5831	3,97 ^{NS}	0,0525	0,05 ^{NS}	0,8298
Regressão cúbica	0,60 ^{NS}	0,4424	2,64 ^{NS}	0,1114	2,37 ^{NS}	0,1305	0,03 ^{NS}	0,8606	1,91 ^{NS}	0,1734	0,01 ^{NS}	0,9234
Sacarose d. 0% de ureia	0,01 ^{NS}	0,9156	1,09 ^{NS}	0,3031	0,79 ^{NS}	0,3802	0,80 ^{NS}	0,3763	0,86 ^{NS}	0,3577	0,00 ^{NS}	1,0000
Sacarose d. 5% de ureia	0,73 ^{NS}	0,3985	0,30 ^{NS}	0,5881	0,32 ^{NS}	0,5728	0,03 ^{NS}	0,8532	0,21 ^{NS}	0,6460	10,68 ^{**}	0,0021
Sacarose d. 10% de ureia	0,56 ^{NS}	0,4596	1,64 ^{NS}	0,2068	1,27 ^{NS}	0,2667	0,73 ^{NS}	0,3963	1,17 ^{NS}	0,2857	24,02 ^{**}	<0,0001
Sacarose d. 15% de ureia	0,28 ^{NS}	0,5968	0,49 ^{NS}	0,4896	0,46 ^{NS}	0,4997	0,03 ^{NS}	0,8532	0,65 ^{NS}	0,4238	97,13 ^{**}	<0,0001
Ureia d. Sem sacarose												
Regressão linear	1,73 ^{NS}	0,1955	0,57 ^{NS}	0,4551	1,14 ^{NS}	0,2920	6,17 [*]	0,0168	1,62 ^{NS}	0,2102	102,51 ^{**}	<0,0001
Regressão quadrática	0,28 ^{NS}	0,6005	0,05 ^{NS}	0,8214	0,02 ^{NS}	0,8906	0,58 ^{NS}	0,4492	0,01 ^{NS}	0,9272	0,38 ^{NS}	0,5418
Regressão cúbica	0,89 ^{NS}	0,3505	0,18 ^{NS}	0,6766	0,21 ^{NS}	0,6504	0,15 ^{NS}	0,6994	0,06 ^{NS}	0,8066	0,63 ^{NS}	0,4328
Ureia d. Com sacarose												
Regressão linear	0,89 ^{NS}	0,3505	1,73 ^{NS}	0,1956	2,07 ^{NS}	0,1575	1,28 ^{NS}	0,2643	2,50 ^{NS}	0,1206	0,07 ^{NS}	0,7973
Regressão quadrática	0,02 ^{NS}	0,8809	5,26 [*]	0,0265	4,69 [*]	0,0356	0,04 ^{NS}	0,8341	4,96 [*]	0,0310	0,33 ^{NS}	0,5664
Regressão cúbica	0,50 ^{NS}	0,4828	1,02 ^{NS}	0,3186	0,85 ^{NS}	0,3628	0,07 ^{NS}	0,7968	0,63 ^{NS}	0,4314	0,60 ^{NS}	0,4424
CV(%)	3,32		18,40		19,35		2,73		19,54		8,03	

^{NS} = não significativo; * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ¹Valores transformados em $\sqrt{x+0,5}$.

A massa de mil de grãos não foi significativamente influenciada pelos tratamentos e o valor médio observado foi de 141 g (Figura 1 A, B e C). Já para o número de vagens por planta, quando houve a aplicação de Ni notou-se incremento desta variável à medida em que se aumentou a concentração de ureia até 8,1% (m/v) (Figura 2A). Essa concentração propiciou plantas com aproximadamente 45 vagens, valor

19% superior ao observado sem aplicação de ureia, apenas Ni. Resultado semelhante foi obtido quando considerada a aplicação de sacarose (Figura 2B), ou seja, não houve influência da aplicação de ureia no número de vagens por planta na ausência de sacarose. Todavia, ao se adicionar sacarose na calda de pulverização notou-se aumento dessa variável até a concentração de 8,8% (m/v), com incremento

de 26,6% em relação ao obtido sem a aplicação de ureia. Não se observou interação significativa entre as doses de Ni e sacarose para o número de vagens por planta (Figura 2C).

Do mesmo modo, verificou-se que o número de grãos por planta foi influenciado pelas concentrações de ureia apenas quando se aplicou Ni ou sacarose e, ainda, que não houve interação entre essas últimas causas de variação (Figura 3A, B e C). O aumento da concentração de ureia até 8,2 e 8,8% (m/v) proporcionou aumento na quantidade de grãos por planta, na presença de Ni (Figura 3A) e sacarose (Figura 3B), respectivamente. A aplicação de ureia nessas concentrações propiciou plantas com, aproximadamente, 20 e 24 grãos a mais que as plantas não pulverizadas com ureia, respectivamente para presença de Ni e sacarose.

Todavia, para o número de grãos por vagem, notou-se que houve resposta positiva da aplicação foliar de ureia apenas quando não houve fornecimento de Ni e sacarose. Em ambas as situações se notou incremento linear no número de grãos por vagem em função do aumento da concentração de ureia (Figura 4A e 4B). No entanto, é importante considerar que esses incrementos foram pequenos e correspondem a menos de 0,1 grão por vagem e não foram suficientes para influenciar o número total de grãos (Figura 3A) e a massa de grãos por planta (Figura 5A).

Não ocorreu interação significativa entre as doses de Ni e sacarose para o número de grãos por vagem (Figura 4C).

Embora tenha-se obtido plantas com mais vagens (Figura 2A) e grãos (Figura 3A) ao se aplicar ureia via foliar na presença de Ni, os incrementos não foram suficientes para influenciar significativamente a massa de grãos por planta (Figura 5A). O mesmo não ocorreu para aplicação de ureia e sacarose. Neste caso os resultados foram semelhantes aos obtidos para número de vagens e grãos por planta, ou seja, houve incremento na produtividade da planta ao se aumentar a concentração de ureia na presença de sacarose até 9,1% (m/v), que proporcionou 3,7 g de grãos a mais por planta em relação ao verificado sem a aplicação de ureia (Figura 5B). A interação entre doses de Ni e sacarose não foi significativa (Figura 5C).

Independentemente da dose de Ni e sem a presença de sacarose, notou-se que a aplicação foliar de ureia causou fitotoxidez nas plantas de soja e houve aumento linear de lesões nas folhas à medida que se aumentou a concentração de ureia (Figura 6A e 6B). Todavia, ao se adicionar sacarose à calda de pulverização praticamente não foram mais observadas lesões nas folhas, independentemente da concentração de ureia adotada (Figura 6B e 6C).

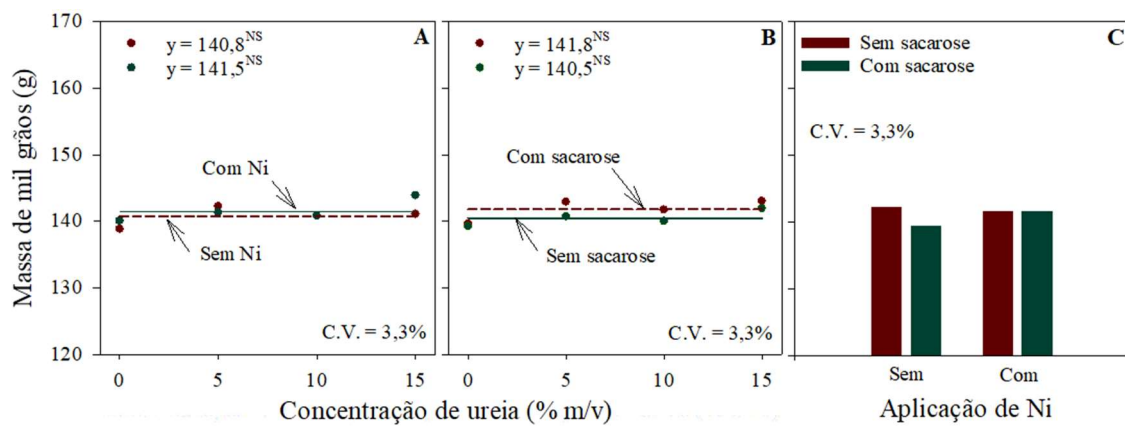


Figura 1. Massa de mil grãos de soja em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo (R5.1).

Figure 1. Mass of a thousand soybean grains as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in the reproductive stage (R5.1).

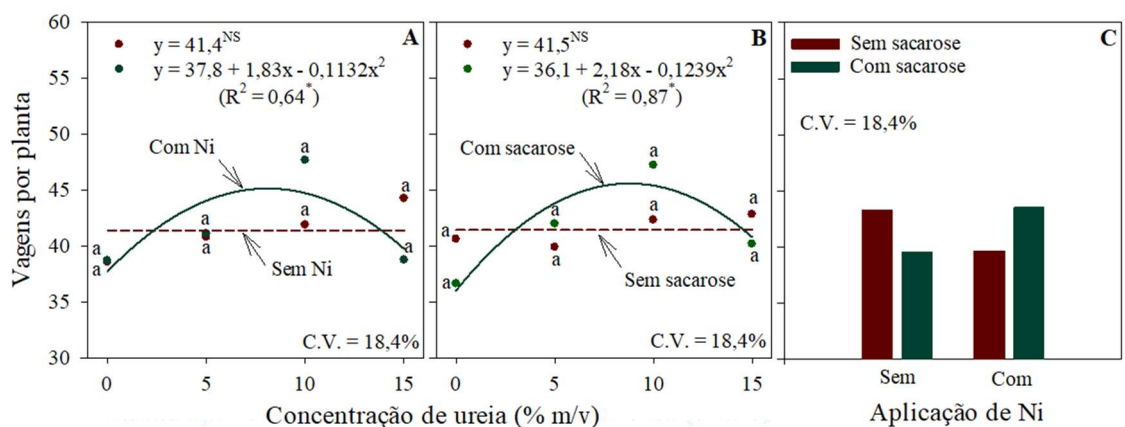


Figura 2. Número de vagens por planta de soja em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo (R5.1).

Figure 2. Number of pods per soybean plant as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in the reproductive stage (R5.1).

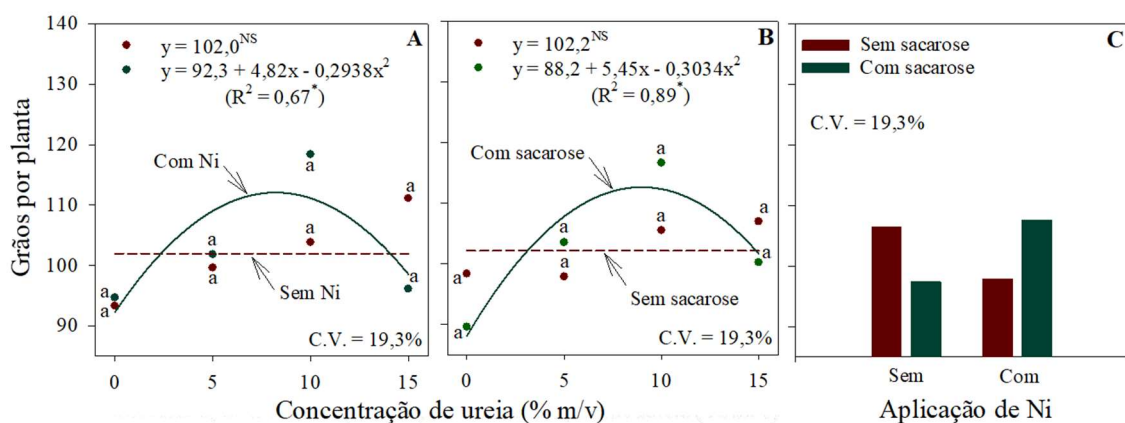


Figura 3. Número de grãos por planta de soja em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo (R5.1).

Figure 3. Number of grains per soybean plant as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in the reproductive stage (R5.1).

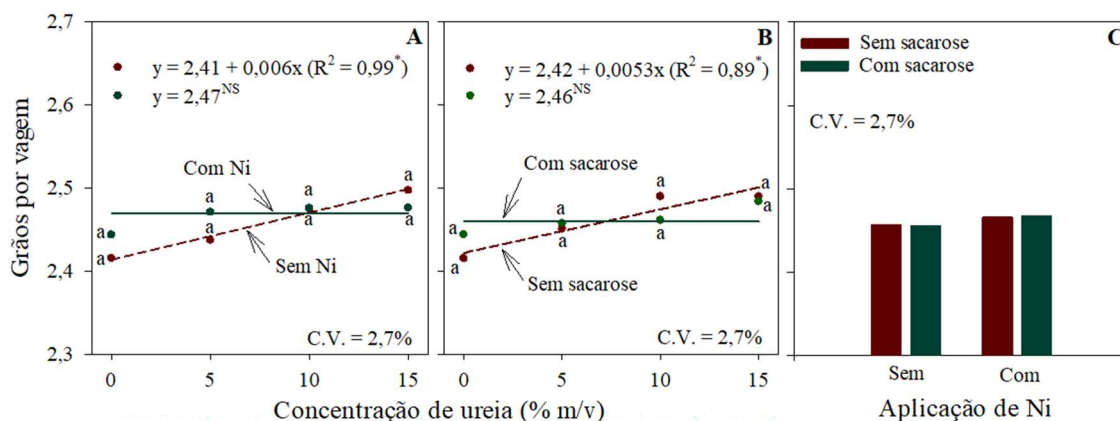


Figura 4. Número de grãos por vagem de soja em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo (R5.1).

Figure 4. Number of grains per soybean pod as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in the reproductive stage (R5.1).

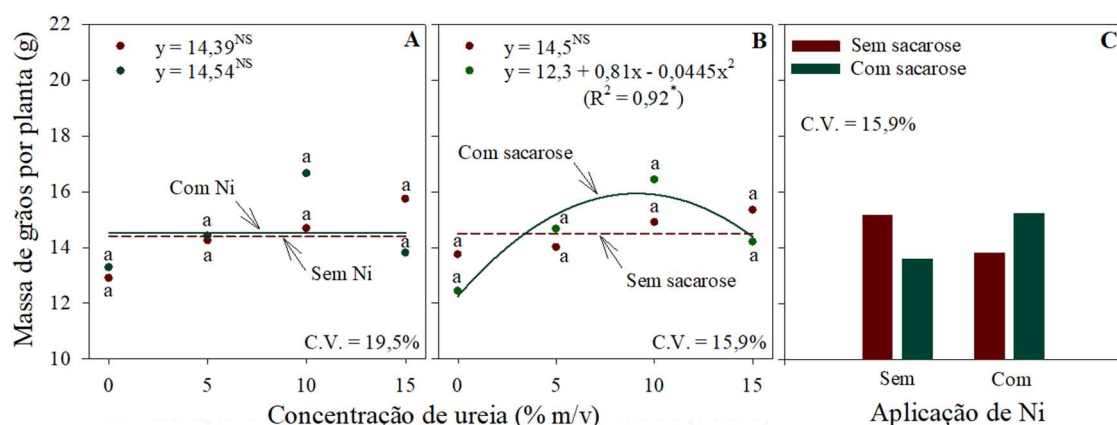


Figura 5. Massa de grãos por planta de soja em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo (R5.1).

Figure 5. Grain mass per soybean plant as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in the reproductive stage (R5.1).

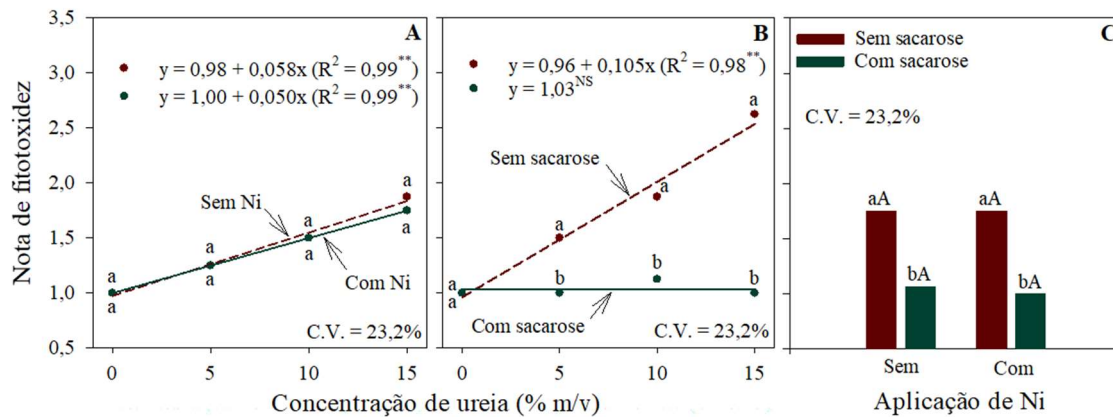


Figura 6. Notas de fitotoxidez em função da concentração de ureia, dose de Ni e sacarose aplicadas via foliar em estágio reprodutivo da soja (R5.1). No item C letras minúsculas referem-se à comparação da dose de sacarose dentro de cada dose de Ni e letras maiúsculas à comparação de doses de Ni dentro de cada dose de sacarose.

Figure 6. Phytotoxicity score as a function of urea concentration, Ni and sucrose rates applied via foliar in soybean reproductive stage (R5.1). In item C, lowercase letters refer to the comparison of sucrose rate within each Ni rate and capital letters to the comparison of Ni rate within each sucrose rate.

4. DISCUSSÃO

A ausência de efeito significativo dos tratamentos na massa de mil grãos está relacionada possivelmente ao fato de, embora possa ser influenciada pelo ambiente, trata-se de um componente de produção determinado principalmente pela genética do cultivar (NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002; RIBEIRO et al., 2016) e, portanto, com menor probabilidade de alteração em função dos tratamentos deste estudo.

As repostas positivas decorrentes da aplicação foliar de ureia apenas na presença de Ni notadas no número de vagens e grãos por planta, provavelmente, devem-se a um não suprimento da demanda de N da planta somente pela FBN, tendo em vista que o pico dessa demanda se encontra justamente no enchimento de grãos (WEAVER; FREDERICK, 1974; SINGLETON; TAVARES, 1986; THIES et al., 1991, 1995) e ao aumento da atividade da urease na presença de Ni, o que potencializa o uso desse N, fornecido via foliar, pela planta (GERENDÁS; SATTELMACHER, 1997; WITTE, 2011).

Com relação ao efeito benéfico da aplicação de ureia na presença de sacarose, esse pode ser associado à redução dos efeitos fitotóxicos da ureia quando combinada com a sacarose. Segundo Ellerton; Dunlop (1966), isso pode ser explicado pela formação de dímeros ureia-sacarose e ureia-ureia que reduzem a velocidade de absorção da ureia, fazendo que, à medida que é absorvida, seja utilizada pela planta, não ficando armazenada nos tecidos foliares.

5. CONCLUSÕES

A aplicação foliar de ureia em estágio reprodutivo da soja (R5.1) é viável tecnicamente apenas com adição de sacarose à calda de pulverização. A concentração de ureia que proporciona a maior produtividade por planta é de 9,1% (m/v).

A adição de sacarose na calda de pulverização elimina a fitotoxidez nas plantas de soja causada pela aplicação de ureia, até a concentração de 15% (m/v).

Não há benefício da aplicação isolada ou combinada de Ni e sacarose nos componentes de produção da soja.

6. REFERÊNCIAS

ALECRIM, A. D. O. Sacarose na desintoxicação de plantas de cafeeiro com deriva de glyphosate. 69f.

Dissertação [Mestrado em Agronomia/Fitotecnia] – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

- ARMON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to cooper. **Plant Physiology**, v. 14, p. 371-375, 1939. <https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.14.2.371>
- BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, v. 140, p. 433-443. 2006. <https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.105.072983>
- BAREL, D. **Foliar applications of phosphorus compounds**. Ph.D. dissertation. Library, Iowa State University, Ames, Iowa, 1975.
- BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2. p. 563-573, 2015. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0435>
- BERTTRAND, D. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les Rhizobium des nodosités des légumineuses. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Deances de L'Academie des Sciences**, v. 276, p. 1855-1858, 1973.
- BOOTE, K. J.; GALLAHER, R. N.; ROBERTSON, W. K.; HINSON, K.; HAMMOND, C. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, v. 70, p. 787-791, 1978. <https://doi.org/10.2134/agronj1978.00021962007000050022x>
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, H. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987. <https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.85.3.801>
- CASSIM, B. M. A. R.; MACHADO, A. P. M.; FORTUNE, D.; MOREIRA, F. R.; ZAMPAR, E. J. D. O.; BATISTA, M. A. Effects of foliar application of urea and urea-formaldehyde/triazone on soybean and corn crops. **Agronomy**, v. 10, e1549, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101549>

- CONAB_Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de Grãos 2022/2023 – Quarto levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 31 jan. 2022.
- DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 2.5.1.5). A metalloenzyme. A simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, p. 4131-4133, 1975. <https://doi.org/10.1021/ja00847a045>
- DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N. et al. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2741-2752, 2012.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. **Science Journal**, v. 222, n. 4624, p. 621-623, 1983. <https://doi.org/10.1126/science.222.4624.621>
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984. <https://doi.org/10.1104/pp.76.3.691>
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. 2 ed. New York: Macmillan, 1987. 525p.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Iowa, Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12p.
- FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015. 150p.
- GAN, Y.; STULEN, I.; VAN KEULEN, H.; KUIPER, P.J.C. Physiological response of soybean genotypes to plant density. **Field Crops Research**, v. 74, p. 231-241, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00212-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00212-X)
- GARCIA, R. L. **Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period** Retrospective Theses and Dissertations, Iowa, 1976.
- GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Significance of N source (urea vs. NH_4NO_3) and Ni supply for growth, urease activity and nitrogen metabolism of zucchini (*Cucurbita pepo* convar. giromontina). **Plant and Soil**, v. 196, p. 217-222, 1997.
- GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; WALKER, C. D. A role for nickel in the resistance in plants to rust. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 3, 1985, Hobart. **Annals...** Hobart: Australian Society of Agronomy, 1985. 337p.
- HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970. <http://www.jstor.org/stable/4253176>
- KUSANO, T.; YAMAGUCHI, K.; BERBERICH, T.; TAKAHASHI, Y. Advances in polyamine research. **Journal of Plant Research**, v. 120, p. 345-350, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10265-007-0074-3>
- KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, v. 363, p. 61-75, 2013. <https://www.jstor.org/stable/42952848>
- LAMOND, R. E.; WESLEY, T. L. Adubação nitrogenada no momento certo para soja de alta produtividade. **Informações Agrônomicas**, v. 95, p. 6-7, 2001.
- LANGE, E. C. Soja, uma história de sucesso. In: BARBIERI, R. L. (Ed.); STUMPF, E. R. T. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 781-802.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.
- MANGINI, D.; PAULA, de M. B.; CARVALHO, de J. G.; DIAS, F. P.; GUIMARÃES, R. J. Efeito da aplicação de boro e zinco na presença de sacarose, ureia e cloreto de potássio via foliar na nutrição mineral de produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24., Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1998. p.198-200.
- MARSCHNER, P. (Ed.) **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 649p.
- MENDES, I. C.; VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Resposta da soja à adubação nitrogenada na semeadura, em sistemas de plantio direto e convencional na Região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 15p. (Boletim de Pesquisa, 12).
- MIFLIN, B. J.; LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, v. 15, p. 873-885, 1976. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)84362-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)84362-9)
- MITAL, B. K.; STEINKRAUS, K. H. Utilization of oligosaccharides by lactic acid bacteria during fermentation of soy milk. **New York State Agricultural Experiment Station**, v. 40, n. 2068, p. 114-118, 1975. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb03749.x>
- NAVARRO JUNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.
- NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; DESTRO, D. Estádios de desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed). **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Editora Mecenaz, 2013. p.15-44.
- RODAK, B. W.; MORAES, M. F.; PASCOALINO, J. A. L.; ALVES, S. J. F.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Níquel: atividade da enzima urease em soja cultivada em solos de texturas contrastantes. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo. **Anais...** Londrina: IAPAR, 2013. 76p.
- REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agrônomicas**, v. 147, p. 10-24, 2014.
- RIBEIRO, F. C.; COLOMBO, G. A.; SILVA, P. O. S.; DA SILVA, J. I. C.; ERASMO, E. A. L.; PELUZIO, J. M. Desempenho agrônomico de cultivares de soja na região central do Estado do Tocantins, safra 2014/2015. **Scientia Plena**, v. 12, n. 7, p. 1-7, 2016. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2016.070201>
- ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E. Avaliação do estado nutricional das plantas cultivadas. In: BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. (Eds.) **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 117-144.
- SALVAGIOTTI, F.; SPECHT, J.; CASSMAN, K. G.; WALTERS, D. T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A.

- Growth and nitrogen fixation in high-yielding soybean: Impact of nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 958-970, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0173x>
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; PEREIRA, E. M. Efeito do adubo foliar nutrintes na produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Franca. **Anais...** Brasília: MAA-PROCAFÊ, 1998. p. 63-64.
- SARTORI, F. F.; ENGROFF, T. D.; SANCHES, T. H. G.; SOAVE, J. M.; PESSOTTO, M. V.; FELISBERTO, G.; HILGEMBERG JÚNIOR, V. E.; REIS, A. F. de B.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; JACCOUD-FILHO, F. D. A.; DOURADO-NETO D. Potentially harmful effects of seed treatment and pre-inoculation on soybean biological nitrogen fixation and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 142, e126660, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126660>
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. da; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed). **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009. p. 1-5
- SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 53, n. 2, p. 257-277, 2006. <http://dx.doi.org/10.1134/S1021443706020178>
- SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. (eds) **Soja: do plantio à colheita**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. 312p.
- SILVA, J. C.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, A. A. Atividade de invertase e sacarose sintase em plantas de cafeeiro pulverizadas com solução de sacarose. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 239-244, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200006>
- SILVA, M. A. da; SILVA, R. P. da; SOUZA, E. J. de; BERTO'ITI, J. A. A.; NUÑEZ, D. N. C. Custo de produção da cultura da soja sob manejos de fitopatógenos e doses de boro. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 12, p. 49-62, 2022.
- SINGLETON P. W.; TAVARES J. W. Inoculation Response of Legumes in Relation to the Number and Effectiveness of Indigenous Rhizobium Populations. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 51, n. 5, p. 1013-1018, 1986. <https://doi.org/10.1128/aem.51.5.1013-1018.1986>
- SMITH, N. G. WOODBURN, J. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. **Naturwissenschaften**, v. 71, n. 4, p. 210-211. 1984.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 449-484.
- THIES, J. E.; BOHLOOL, B. B. SINGLETON, P. W. Environmental effects on competition for nodule occupancy between introduced and indigenous rhizobia and among introduced strains. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 6, p. 493-500. 1992. <https://doi.org/10.1139/m92-081>
- TODD, C. D.; TIPTON, P. A.; BLEVINS, D. G.; PIEDRAS, P.; PINEDA, M.; POLACCO, J. C. Update on ureide degradation in legumes. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 1, p. 5-12, 2006. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj013>
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J. R. R.; SUHET, A. R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, p. 1127-1132, 1982.
- VOLK, R.; McAULIFFE, C. Factors Affecting the Foliar Absorption of N¹⁵ Labelled Urea by Tobacco. **Proceedings of the American Society of Soil Science**, v. 18, p. 308-12, 1954.
- WEAVER, R.W.; FREDERICK, L.R. Effect of inoculum rate on competitive nodulation of *Glycine max* (L.) Merrill. II. Field studies. **Agronomy Journal**, v. 66, p. 233-236, 1974.
- WITTE, C. P. Urea metabolism in plants. **Plant Science**, v. 180, p. 431-438, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.010>

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de bolsa de estudos acadêmica para o primeiro autor.

Contribuições dos Autores:

A.C.D.K. – investigação ou coleta de dados, redação (esboço original); V.O.J. – conceituação, aquisição de financiamento, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística, administração ou supervisão, redação (esboço original); G.A.S - investigação ou coleta de dados; M.M.S. - investigação ou coleta de dados; J.L.R.T. – validação, redação (revisão e edição). Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamentos:

Não aplicável.

Declaração do Conselho de Revisão Institucional:

Não aplicável.

Comitê de Ética da área:

Não aplicável.

Disponibilização de dados:

Os dados desse estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente, via e-mail. Não está disponível em sites, pois o projeto de pesquisa ainda está em desenvolvimento.

Conflito de interesse:

Os autores declaram que não existem conflitos de interesses.