

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 05/07/2023

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until July 05, 2023

TATIANI MAYARA GALERIANI

**SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E BORO MELHORA A EFICIÊNCIA
FOTOSSINTÉTICA E AUMENTA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

TATIANI MAYARA GALERIANI

**SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E BORO MELHORA A EFICIÊNCIA
FOTOSSINTÉTICA E AUMENTA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia – (Agricultura).

Orientador (a): Carlos Alexandre Costa
Crusciol

Botucatu

2021

G154s	Galeriani, Tatiani Mayara Suplementação foliar de cálcio e boro melhora a eficiência fotossintética e aumenta produtividade da soja / Tatiani Mayara Galeriani. -- Botucatu, 2021 48 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol 1. Glycine max (L.) Merr; fertilização foliar; cálcio; boro; floração.. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SUPLEMENTAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E BORO MELHORA A EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E AUMENTA A PRODUTIVIDADE DA SOJA

AUTORA: TATIANI MAYARA GALERIANI

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

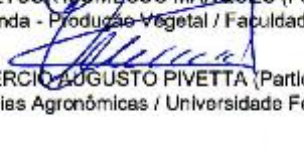
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP



Prof.ª Dr.ª LETUSA GOMES DE MORAES (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. LAÉRCIO AUGUSTO PIVETTA (Participação Virtual)
Depto. Ciências Agrônomicas / Universidade Federal do Paraná

Botucatu, 05 de julho de 2021

*Dedico a toda minha família,
em especial aos meus queridos pais
Moacir Galeriani e Rosalina Dutra da Silva
Galeriani.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por concederem tantas graças em minha vida e por me permitirem concluir mais um sonho, além de colocar pessoas iluminadas no meu caminho.

Aos meus pais, Rosalina Dutra da Silva Galeriani e Moacir Galeriani, por todo o apoio, carinho, amor, paciência, ensinamentos, conselhos e, por serem meus maiores exemplos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, por ter me proporcionado essa oportunidade, pela orientação, ensinamentos e paciência.

Ao meu namorado Bruno Marcos Nunes Cosmo, por todo amor e carinho, pela paciência, atenção, incentivo, apoio e conselhos.

Aos Dr. José Roberto Portugal, Dr. Luiz Gustavo Moretti de Souza, Me. João William Bossolani e ao Me. Vitor Alves Rodrigues, pela amizade, pelos ensinamentos, conselhos, contribuições e apoio durante a pesquisa.

Agradeço a todos que fizeram parte dessa caminhada, Fabrizio Bianchi, Fernanda Marcolan, Guilherme Duarte, Gustavo Barreto, Marcela Checco, Natália Oliveira, Pedro Aguiar, Pedro Viotto, Rafael Vilela, Leila Bernart, Willian Zanetti e, em especial ao Alisson Mariano, Guilherme Noronha, Gabriel Neves, Pedro Viotto, Sirlene Oliveira e Vitor Rodrigues, pelas viagens e boas risadas.

As minhas amigas, Andressa Vogt, Bruna Ricini, Fabiula Novakoski, Luana Garcia, Sirlene Oliveira e Tamara Mundt.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa por meio do processo 133936/2019-8.

A Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), pela oportunidade de realização do mestrado.

E a todos os professores e profissionais envolvidos.

Meu muito obrigada!

“Tudo posso naquele que me fortalece”

BÍBLIA SAGRADA. Filipenses, 4:13. In: **BÍBLIA SAGRADA**. São Paulo: Editora Canção Nova, 2011. p.1447.

RESUMO

O Brasil destaca-se por ser um dos maiores produtores de soja do mundo. Dentre as tecnologias adotadas para o aumento da produtividade, encontra-se a fertilização foliar. A adubação suplementar com cálcio (Ca) e boro (B) é uma prática que vem sendo utilizada no estágio de florescimento da soja com o propósito de aumentar o número de vagens por planta, decorrente da maior retenção de flores e da fixação das vagens, podendo consequentemente elevar a produtividade da cultura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da suplementação foliar de Ca e B durante a floração no desempenho nutricional, metabólico e da produtividade da soja. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu-SP nas safras de soja 2018/2019 e 2019/2020. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), os tratamentos consistiam da presença (+ Ca e B) e ausência de (- Ca e B). As doses utilizadas foram a de 400 g de Ca e 40 g de B ha⁻¹, cujas as aplicações foram realizadas no estágio R1 da soja. Avaliaram-se o estado nutricional da cultura, parâmetros de trocas gasosas, enzima fotossintética (Rubisco), concentração de açúcar solúvel total, teor de proteína na folha, parâmetros agrônômicos e produtividade de grãos. A suplementação de Ca e B proporcionaram aumento do teor de B foliar. A fotossíntese líquida, a condutância estomática, a eficiência do uso da água e a carboxilação aumentaram quando Ca e B foram aplicados. Consequentemente, a melhora da fotossíntese levou ao aumento da concentração de açúcar e proteína na folha. A melhora na atividade metabólica não afetou a massa de grãos por planta, mas aumentou o número de vagens por planta e a produtividade. A alteração na produtividade foi influenciada por uma cascata de eventos, a melhora na atividade fotossintética associada com o aumento da produção de açúcar pode ter aumentado o número de estruturas reprodutivas, culminando diretamente no aumento da produtividade de grãos da soja.

Palavra-chave: *Glycine max* (L.) Merr; fertilização foliar; cálcio; boro; floração.

ABSTRACT

Brazil stands out for being one of the largest producers of soy in the world. Among the technologies used to increase yields is foliar fertilization. Supplemental fertilization with calcium (Ca) and boron (B) is a practice used in the flowering stage of soybean to increase the number of pods per plant, as the flowering is better maintained and the pods are corrected, which can lead to an increase in crop yield. The objective of this work was to evaluate the effects of foliar supplementation of Ca and B on nutritional, metabolic and yield components of soybean. The experiment was conducted in the Experimental Farm Lageado of the Faculty Agronomic Sciences of the State College of São Paulo "Júlio de Mesquita Filho", in Botucatu- SP in the 2018/2019 and 2019/2020 harvest seasons. The experimental design consisted of randomized blocks (DBC), treatments consisted of the presence (+Ca and B) and absence of (-Ca and B). The doses used were 400 g Ca and 40 g B ha⁻¹, which were made as applications at stage R1 of soybean. Plant nutritional status, gas exchange parameters, photosynthetic enzyme (Rubisco), total soluble sugar concentration, leaf protein content, agronomic parameters and grain yield. Addition of Ca and B resulted in an increase in leaf B content. Net photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and carboxylation increased when Ca and B were obtained. Consequently, the improvement of photosynthesis increased the concentration of sugar and protein in the leaf. Improvement in metabolic activity did not affect grain mass per plant, but increased the number of pods per plant and yield. The change in yield was influenced by a cascade of events. The improvement in photosynthetic activity combined with the increase in sugar production may have increased the number of reproductive structures, which directly led to an increase in soybean grain yield.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr, foliar fertilization, calcium, boron, flowering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Balanço hídrico em Botucatu (SP), durante as safras de soja 2018/2019 (a) e 2019/2020 (b).....31
- Figura 2 – Teores foliares de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), B (g), Cu (h) e Zn (i) na soja em função da aplicação foliar de cálcio (Ca) e boro (B) na safra 2018/2019 e 2019/2020.....32
- Figura 3 – Fotossíntese líquida (A) (a), condutância estomática (g_s) (b), concentração de CO_2 na câmara subestomática (C_i) (c), transpiração foliar (E) (d), eficiência do uso da água (EUA) (e) e eficiência de carboxilação (A/C_i) (f) em função da aplicação de cálcio (Ca) e boro (B) na safra 2019/2020.....33
- Figura 4 – Proteína foliar (a) e concentração de açúcar total (c) na safra 2018/2019 e 2019/2020 e atividade da enzima Rubisco (b) na safra 2019/2020, em função da aplicação foliar de cálcio (Ca) e boro (B).....34
- Figura 5 – Componentes de produção: altura de plantas (a), número de vagens por planta (b), número de grãos por vagem (c) e número de grãos por planta (d) e produtividade em função da aplicação de cálcio (Ca) e boro (B) na safra 2018/2019 e 2019/2020.....35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Importância da cultura da soja	21
2.2	Adubação foliar de cálcio e boro.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Área de estudo	25
3.2	Delineamento experimental	26
3.3	Condução do experimento.....	26
3.4	Avaliações e análise estatística.....	27
4	RESULTADOS	31
4.1	Caracterização de fatores climáticos da região	31
4.2	Nutrição foliar, trocas gasosas e metabolismo do carbono	32
4.3	Componentes de produção e produtividade de grãos	34
5	DISCUSSÃO.....	36
5.1	Estado nutricional da cultura.....	36
5.2	Trocas gasosas, metabolismo do carbono e proteína foliar.....	36
5.3	Componentes de produção e produtividade	38
6	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de grãos, sendo a produção da safra 2019/2020 foi em torno de 257 milhões de toneladas, com uma área cultivada de aproximadamente 66 milhões de ha. A produção brasileira de soja na safra 2019/2020 foi de quase 125 milhões de t, com uma área cultivada de aproximadamente 37 milhões de ha, elevando o Brasil ao posto de maior produtor mundial, conforme o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2021).

Considerando a importância econômica mundial da cultura e alinhando-se com a crescente demanda por alimentos, é necessário aumentar a produção agrícola da cultura da soja. O aumento da produtividade das culturas está associado com os avanços tecnológicos do setor produtivo. Dentre tais tecnologias, está a adubação foliar, que tem se mostrado uma ferramenta importante, não apenas com a função nutricional, mas também é uma estratégia adicional que permite melhorias no rendimento (GOMES et al., 2017).

Dessa forma, a adubação foliar assume a função suplementar que, quando aplicada em baixas doses do nutriente e em determinados estádios fenológicos, pode proporcionar um efeito estimulante, e, ainda pode melhorar a atividade fotossintética, a translocação de açúcares e aumentar o crescimento e a produtividade vegetal (RODRIGUES et al., 2021).

A suplementação foliar de Cálcio (Ca) e boro (B) na soja, é um manejo cujos os efeitos ainda não são totalmente esclarecidos. O Ca e o B são elementos de baixa mobilidade e possuem funções semelhantes (BROW; SHELP, 1997). O Ca é necessário como um elemento estrutural e desempenha um papel na sinalização celular (WILKINS et al., 2016; BANG et al., 2020). Além de estar envolvido na estabilidade da membrana, na integridade e divisão celular (WHITE; BROADLEY, 2003), na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico (ZHENG et al., 2019).

A importância do B não se resume apenas à função estrutural, mas também a sua participação em vários processos no metabolismo da planta. Muitas de suas funções ainda não são esclarecidas, acredita-se que este atua na estrutura da parede celular e da membrana (por ser um agente ligante) (CHORMOVA; MESSENGER;

FRY, 2013), na reprodução (formação do tubo polínico) e no metabolismo vegetal (ciclo ascorbato, fenóis, nitrogênio e fotossíntese) (WANG et al., 2015).

A adubação suplementar com Ca e B é uma prática que vem sendo utilizada pelos agricultores, quando a planta está no estágio de florescimento, como é o caso da cultura da soja. Dentre as funções desses elementos, em específico, ambos estão envolvidos na germinação do pólen e no crescimento do tubo polínico (MUSSKOPF; BIER, 2010; GOMES et al., 2017; FIOREZE et al., 2018; VARANDA et al., 2018) e a falta destes na soja interfere na retenção de flores e fixação de vagens (MUSSKOPF; BIER, 2010).

Como o Ca e o B das folhas não são redistribuídos para os órgãos jovens (brotações novas, flores e vagens) (BROWN; SHELP, 1997; WHITE; BROADLET, 2003) e, associado ao elevado potencial abortivo das estruturas reprodutivas da soja. Acredita-se que o xilema das flores de soja não são funcionais, por ser um órgão jovem o xilema encontra-se vivo, portanto, não funcional fisiologicamente (MILFONT et al., 2013).

Assim, a adubação foliar de Ca e B no florescimento da soja pode aumentar o número de vagens por planta, decorrente de maior retenção de flores e da fixação das vagens, e, por consequente, na produtividade da cultura. Ainda, para que isto ocorra, é provável que a adubação suplementar com Ca e B incremente a eficiência fisiológica da planta, tanto na assimilação de carbono, quanto na síntese de carboidratos, dada a função destes nutrientes. Porém, ainda existem poucas informações em relação a eficiência dessa aplicação, sendo necessários mais estudos com este foco.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho, avaliar os efeitos proporcionados pela suplementação nutricional de Ca e B via foliar no estado nutricional, metabólico, nos componentes de produção e na produtividade da cultura da soja.

6 CONCLUSÕES

O estudo evidenciou que a suplementação foliar de Ca e B promoveu efeito positivo na atividade fotossintética e da produção de açúcar nas folhas da soja, levando ao aumento da produção de vagens e do rendimento de grãos. Esses efeitos também refletem a importância do Ca e B durante a fase reprodutiva das lavouras. A fertilização foliar com Ca e B no início da fase reprodutiva da soja é uma ferramenta viável para aumentar o metabolismo do carbono e garantir a formação e fixação de vagens, levando diretamente a um maior rendimento de grãos da soja.

No entanto, os efeitos de ambos os elementos não foram totalmente elucidados, dificultando a atribuição de benefícios a um nutriente específico. O boro não atua apenas na formação e desenvolvimento dos órgãos reprodutivos das plantas, mas também desempenha um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, além de afetar o transporte e o metabolismo dos produtos fotossintéticos. Por outro lado, o cálcio é essencial para várias vias do metabolismo vegetal, podendo atuar em resposta ao estresse ambiental, na regulação das reações fotossintéticas e na fase reprodutiva.

Portanto, a suplementação contribui para a eficiência fisiológica da planta, resultando em plantas metabolicamente mais eficientes e produtivas, caracterizando-se por uma prática viável a ser adotada pelos agricultores.

REFERÊNCIAS

- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; van RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Leguminosas e oleaginosas**. In: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p.189-191.
- BANG, T. C.; HUSTED, S.; LAURSEN, K. H.; PERSSON, D. P. SCHJOERRING, J. K. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist Foundation**, v.229, p.2246-2469, 2020.
- BEATO, V. M.; REXACH, J.; NAVARRO-GOCHIOCA, M. T.; CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; HERRERA-RODRÍGUEZ, M. B.; MALDONADO, J. M.; GONZÁLEZ-FONTES, A. A tobacco asparagine synthetase gene responds to carbon and nitrogen status and its root expression is affected under boron stress. **Plant Science**, v. 178, n.3, p.289-298, 2010.
- BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA FILHO, P. M.; POSSENTI, J. C. Aplicação foliar de cálcio e boro e componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p. 31-34, 2002.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.
- BRAND, J. J.; BECKER, D. W. Evidence for direct roles of calcium in photosynthesis. **Journal of Bioenergetics and Biomembranes**, v.16, n.4, p.239-249, 1983.
- BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, v.77, p.497-505, 1996.
- BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v.193, p.85-101, 1997.
- BROWN, P. H.; BELLALLOUI, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, E. S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANNEL, F.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biol**, v.4, n.2, p. 205-223, 2002.
- CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; SANTOS, C. H. Adubação boratada foliar na cultura da soja. **Colloquium Agrariae**, v.6, n.2, p.20-26, 2010.
- CALONEGO, J. C.; PALMA, H. N.; FOLONI, J. S. S. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e ureia na cultura do milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.1, n.1, p.34-44, 2012.
- CAMACHI-CRISTÓBAL, J. J.; REXACH, J.; GONZÁLEZ-FONTES, A. Boron in plants: Deficiency and toxicity. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.50, n.10, p.1247-1255, 2008.

CERVILLA, L. M.; BLASCO, B.; RÍOS, J. J.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. **Annals of Botany**, v.100, p.747-756, 2007.

CHORMOVA, D.; MESSENGER, D. J.; FRY, S. C. Boron bridging of rhamnogalacturonan-II, monitored by gel electrophoresis, occurs during polysaccharide synthesis and secretion but not post-secretion. **The Plant Journal**, v.77, n.44, p.534-546, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Produção e balanço de oferta e demanda de grão**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acessado em: 21 maio 2021.

COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M.; ZANETTI, W. A. L. Aplicação prática da escala fenológica na cultura da soja. In: CONGRESSO ONLINE PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DO MILHO E SOJA, 2., 2019, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: COMSOJA, 2019. p.1-4.

DALASTRA, G. M.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; HACHMANN, T. L.; INAGAKI, A. M. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com e dois frutos por planta. **Bragantia**, Campinas, v.73, n.4, p.365-371, 2014.

DOMINGOS, C. S.; BESEN, M. R.; ESPER NETO, M.; COSTA, E. J. O.; SCAPIM, C. A.; INOUE, T. T.; BASTISTA, M. A.; BRACCINI, A. L. Can calcium and boron leaf application increase soybean yield and seed quality?. **Acta Agriculturae Scandinavica**, p.171-181, 2021.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

DURBAK, A. R.; PHILLIPS, K. A.; PIKE, S.; O'NEILL, M. A.; MARES, J.; GALLAVOTTI, A.; MALCOMBER, S. T.; GASSMANN, W.; MCSTEEN, P. Transport of boron by the *tassel-less1* aquaporin is critical for vegetative and reproductive development in maize. **The Plant Cell**, v.26, n.7, p.2978-2995, 2014.

EL-SHINTINAWY, F. Structural and functional damage caused by boron deficiency in sunflower leaves. **Photosynthetica**, v.36, p.565-573, 2000.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SOARES, L. H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: Metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Editora Andrei, 2015. 212p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; **Iowa State University Cooperative Extension Service, Special Report 80**. Iowa State University of Science and Technology: Ames, 1977.

FERNÁNDEZ, V.; BROWN, P. H.; From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.1-5, 2013.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: Fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015.

FIOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.1, p.1432-1439, 2013.

FIOREZE, S. L.; CARNEIRO, J. P. C.; PINTO, D. D.; RODRIGUES, J. D. Foliar application of calcium and kinetin on soybean at reproductive stage. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, p.2602-2610, 2017.

FIOREZE, S. L.; TOCHETTO, C.; COELHO, A. E.; MELO, H. F. Effects of calcium supply on soybean plants. **Comunicata Scientiae**, v.9, n.2, p.219-225, 2018.

GOMES, I. S.; BENETT, C. G. S.; SILVA JUNIOR, R. L.; XAVIER, R. C.; BENETT, K. S. S.; SILVA, A. R.; CONEGLIAN, A. Boron fertilization at different phenological stages of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n.8, p.1026-1032, 2017.

HAN, S.; TANG, N.; JIANG, H. X.; YANG, L. T.; LI, Y.; CHEN, L. S. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. **Plant Science**, v.176, p.143-153, 2009.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contexto mundial brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.

IWAI, H.; HOKURA, A.; OISHI, M.; CHIDA, H.; ISHII, T.; SAKAI, S.; SATOH, S. The gene responsible for borate cross-linking of pectin Rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.103, n.44, p. 16592-16597, 2006.

JARVIST, A. J.; MANSFIELD, T. A.; DAVIES, W. J. Stomatal behavior, photosynthesis and transpiration under rising CO₂. **Plant, Cell & Environment**, v.22, p.639-648, 2002.

KAMESHWAR, A. K. S.; QIN, W. Structural and functional properties of pectin and lignin-carbohydrate complexes de-esterases: A review. **Bioresources and Bioprocessing**, v.5, n.43, p.1-16, 2018.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.291-297, 2008.

KASTORI, R.; PLESNICAR, M.; SAKAC, P. E. Z. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and soluble carbohydrates in sunflower leaves as affected by boron deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.9, p.1751-1763, 2008.

KNIGHT, H.; TREWAVAS, A. J.; KNIGHT, M. R. Calcium signaling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity. **Plant Jour**, v.12, n.5, p.1067-1078, 1997.

KOCH, K. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.47, p.509-540, 1996.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

KOSHIBA, T.; KOBAYASHU, M.; MATOH, T. Boron deficiency: How does the defect in cell wall damage the cells?. **Plant Signaling & Behavior**, p. 557-558, 2009.

KOSHIBA, T.; KOBAYASHU, M.; ISHIHARA, A.; MATOH, T. Boron nutrition of cultured tobacco By - 2 cells. VI. Calcium is involved in early responses to boron deprivation. **Plant & Cell Physiology**, v. 51, n.2, p.323-327, 2010.

KRISHNAN, H. B.; NATARAJAN, S. S. A rapid method for depletion of rubisco from soybean (*Glycine max*) leaf for proteomic analysis of lower abundance proteins. **Phytochemistry**, v.70, p.1958-1964, 2009.

LAWSON, T.; BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v.164, p.1556-1570, 2014.

LEONARD, A.; HOLLOWAY, B.; GUI, M.; RUPE, M.; YU, G.; BEATTY, M.; ZASTROW-HAYES, G.; MEELEY, R.; LLACA, V.; BUTLER, K.; STEFANI, T.; JAQUETH, J.; LI, B. *Tassel-less1* Encodes a boron channel protein required for inflorescence development in maize. **Plant & Cell Physiology**, v.55, n.6, p.1044-1054, 2014.

LEVENE, H. **Robust tests for equality of variances**. In: Contributions to probability and statistics: Essays in Honor of Ingram. OLKIN, L.; GHURYE, S. G.; HOEFFDING, W.; MADOW, W. G.; MANN, H. B. Palo Alto: Stanford University Press, 1960. p. 278-292.

LIANG, W.; WAG, M.; AI, X. The role of calcium in regulating photosynthesis and related physiological indexes of cucumber seedlings under low light intensity and suboptimal temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v.123, p.34-38, 2009.

LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSON, M. N. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA in soybeans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. **Annals of Botany**, London, v.94, p.405-411, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. A. **Evaluation of nutritional status of plants: Principles and applications**. 2.ed. Potafós: Piracicaba. 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. Ed. London: Academic Press, 1995.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plantas**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

MATTHEWS, J. S. A.; VIALET-CHABRAND, S.; LAWSON, T. Role of blue and red light in stomatal dynamic behavior. **Journal of Experimental Botany**, v.71, p.2253-2269, 2020.

MILFONT, M. O.; ROCHA, E. E. M.; LIMA, A. O. N.; FREITAS, B. M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators a sustainable alternative to pesticides and autopollination. **Environmental Chemistry Letters**, v.11, p.335-341, 2013.

MONDAL, M. M. A.; FAKIR, M. S. A.; PRODHAN, A. K. M. A.; ISMAIL, M. R.; ASHRAFUZZAMAN, M. Deflowering effect on vasculature and yield attributes in raceme of mungbean [*Vigna radiate* (L). Wilczek]. **Australian Journal of Crop Science**, Collingwood, v.5, p.1339-1344, 2011.

MUSSKOPF, C.; BIER, V. A. Efeito da aplicação de fertilizante mineral cálcio e boro via foliar na cultura da soja (*Glycine max*). **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.3, n.4, p.83-91, 2010.

NONOKAWA, K.; NAKAJIMA, T.; NAKAMURA, T.; KOKUBUN, M. Effect of synthetic cytokinin application on pod setting of individual florets within raceme in soybean. **Plant Production Science**, v.15, n.2, p.79-81, 2012.

OHTO, M.; ONAI, K.; FURUKAWA, Y.; AOKI, E.; ARAKI, T.; NAKAMURA, K. Effects of sugar on vegetative development and floral transition in arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 127, p.252-261, 2001.

OIKONOMOU, A.; LADIKOU, E. V.; CHATZIPEROU, G.; MARGARITOPOULOU, T.; LANDI, M.; SOTIROPOULOS, T.; ARANITI, F.; PAPADAKIS, I. E. Boron excesso imbalances root/shoot allometry, photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters and sugar metabolism in apple plants. **Agronomy**, v.9, n.11, p.1-17, 2019.

OLIVEIRA NETO, A. A. **A produtividade da soja: Análise e perspectivas**. Brasília: Conab, 2016. 35p.

PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; MITCHELL, R. A. C.; MADGWICK, P. J.; CHAVES, A. J. Manipulação de Rubisco: Quantidade, atividade, função e regulação. **Journal of Experimental Botany**, v.54, p. 1321-1333, 2003.

PAPADAKIS, I. E.; TSIANTAS, P. I.; TSANIKLIDIS, G.; LANDI, M.; PSYCHOYOU, M.; FASSEAS, C. Changes in sugar metabolism associated to stem bark thickening partially assist Young tissues of *Eriobotrya japonica* seedlings under boron stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 231, p.337-345, 2018.

PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; SCALES, J. C.; SALVUCCI, M. E.; CARMO-SILVA, A. E.; ALONSO, H.; WHITNEY, S. M. Rubisco activity and regulation as targets for crop improvement. **Journal of Experimental Botany**, v.64, p.717-730, 2013.

PEGO, J. V.; KORTSTEE, A. J.; HUIJSER, C.; SMEEKENS, S. C. Photosynthesis, sugars and the regulation of gene expression. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.407-416, 2000.

PEREIRA, E. G.; SARAIVA, A. G.; DIAS, A. C.; FERREIRA, N. S.; LIMA, B. R.; FERNANDES, E. C.; BUCHER, C.A.; FERNANDES, M. S. O metabolismo do nitrogênio em plantas de arroz é severamente afetado pela deficiência de cálcio e magnésio. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.3, p.15353-15361, 2020.

PINHO, L. G. R.; CAMPOSTRINI, E.; MONNERAT, P. H.; TORRES NETTO, A.; PIRES, A. A.; MARCIANO, C. R.; SOARES, Y. J. B. Boron deficiency affects gas Exchange and photochemical efficiency (JPI teste parameters) in green dwarf coconut. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.3, p.439-451, 2011.

PRINCI, M. P.; LUPINI, A.; ARANITI, F.; LONGO, C.; MAUCERI, A.; SUNSERI, F.; ABENAVOLI, M. R. Boron toxicity and tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives. IN: AHMAD, P. **Plant metal Interaction**. 2016. 115-147p.

QUAGGIO, J.A.; van RAIJ, B. **Correção da acidez do solo**. In: Recomendações de adubações e calagem para o Estado de São Paulo. In: van Raij, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 14-19.

REID, C. D.; TISSUE, D. T.; FISCUS, E. L.; STRAIN, B. R. Comparison of spectrophotometric and radioisotopic methods for the assay of rubisco in ozone-treated plants. **Physiologia Plantarum**, v.101, p.398-404, 1997.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a Corn Plant Develops**; Iowa State University Cooperative Extension Service: Ames, IA, USA, 1993.

RODRIGUES, V. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; MUNDT, T. T.; OLIVEIRA, S. L.; GARCIA, A.; CALONEGO, J. C.; LOLLATO, R. P. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plant**, v.10, p.1-17, 2021.

ROLLAND, F.; MOORE, B.; SHEEN, J. Sugar sensing and signaling in plants. **Plant Cell**, v.14, p.185-205, 2002.

ROLIM, G.; SENTELHAS, P.; BARBIERE, V. Planilhas no ambiente excel para os calculos de balanço hídricos: Normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 2002.

SCHOCK, A. A. **Respostas fisiológicas em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. submetidas à estrobilurinas e alagamento**. 2015. 67f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas/ Instituto de Biologia, Pelotas, 2015.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n.3, p.591-611, 1965.

SILVA, N. F.; CLEMENTE, G. S.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; AZEVEDO, L. O. S. Use of foliar fertilizers for the specific physiological management of different soybean crop stages. **American Journal of Plant Sciences**, n.8, p. 810-834, 2017.

SOILCONTROL. **Medidor portátil de umidade tipo caneca**. 2021. Disponível em: <https://www.soilcontrol.com.br/produto/92906/medidor-portatil-de-umidade-tipo-caneca.aspx>. Acesso em: 23 maio 2021.

SPARKS. **O futuro da soja nacional**. Brasil: IEag/ abag, 2015?.

STANGOULIS, J.; TATE, M.; GRAHAM, R.; BUCKNALL, M.; PALMER, L.; BOUGHTON, B.; REID, R. The mechanism of boron mobility in wheat and canola phloem. **Plant Physiology**, v.153, p.876-881, 2010.

TANAKA, M.; FUJIWARA, T. Physiological roles and transport mechanisms of boron: Perspectives from plants. **European Journal of Physiology**, v.456, p.671-677, 2008.

TAYLOR, S. H.; ORR, D. J.; SILVA, E. C.; LONG, S. P. During photosynthetic induction, biochemical and stomatal limitations differ between *Brassica* crops. **Plant, Cell & Environment**, v.43, n.110, p.2623-2636, 2020.

THOR, K. Calcium: Nutrient and messenger. **Frontiers in Plant Science**, v.10, n.440, p.1-7, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance Climatology. Laboratory of climatology, New Jersey**, 1995.

UNICAMP. Center of meteorological and climatic research applied to agriculture. **Botucatu: Municipalities climate of São Paulo State**. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras>. Acesso em: 05 jun. 2021.

USDA. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed.; USDA—Natural Resources Conservation Service: Washington, DC, USA, 2014.

van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC, 1997. 285p.

VARANDA, M. A. F.; MENEGON, M. Z.; NASCIMENTO, V. L.; CAPONE, A.; BARROS, H. B. Efeitos da aplicação foliar de boro na produtividade de soja na várzea irrigada. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.11, n.2, p.15-22, 2018.

VIALET-CHABRAND, S. R. M.; MATTHEWS, J. S. A.; MCAUSLAND, L.; BLATT, M. R.; GRIFFITHS, H.; LAWSON, T. Temporal dynamics of stomatal behavior: Modeling and implications for photosynthesis and water use. **Plant Physiology**, v.174, p.603-613, 2017.

WANG, N.; YANG, C.; PAN, Z.; LIU, Y.; PENG, S. Boron deficiency in woody plants: Various responses and tolerance mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p. 1-14, 2015.

WANG, Q.; YANG, S.; WAN, S.; LI, X. The significance of calcium in photosynthesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, n.6, p. 1-14, 2019.

WEAVER, M. L.; TIMM, H.; NAG, H.; BURKE, D. W.; SILBERNAGEL, M. J.; FORTER, K. Effects of soil moisture tension on pod retention and seed yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **HortiScience**, Alexandria, v.19, p.567-569, 1984.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v.92, p.487-511, 2003.

WILKINGS, K. A.; MATTHUS, E.; SWARBRECK, S. M.; DAVIES, J. M. Calcium-Mediated abiotic stress signaling in roots. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-17, 2016.

ZHANG, X.; MEI, X.; WANG, Y.; HUANG, G.; FENG, F.; LIU, X.; GUO, R.; GU, F.; HU, X.; YANG, Z.; ZHONG, X. LI, Y. Stomatal conductance bears no correlation with transpiration rate in wheat during their diurnal variation under high air humidity. **PeerJ**, v.8, p.1-16, 2020.

ZHENG, R. H.; SU, S.; XIAO, H.; TIAN, H. Q. Calcium: A critical factor in pollen germination and tube elongation. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, p.1-12, 2019.

ZOZ, T.; STEINER, F.; SEIDEL, E. P.; CASTAGNARA, D. D.; SOUZA, G. E. Foliar application of calcium and boron improves the spike fertility and yield of wheat. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.32, n.4, p.873-880, 2016.