

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 18/10/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTERAÇÃO ENTRE ALUMÍNIO E MANGANÊS NO
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CANA-
ENERGIA E CANA-DE-AÇÚCAR**

**Diego Correia Sodré
Engenheiro Agrônomo**

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTERAÇÃO ENTRE ALUMÍNIO E MANGANÊS NO
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CANA-
ENERGIA E CANA-DE-AÇÚCAR**

Discente: Diego Correia Sodré

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

S679i

Sodré, Diego Correia

Interação entre alumínio e manganês no crescimento e nutrição de mudas de cana-energia e cana-de-açúcar / Diego Correia Sodré. -- Jaboticabal, 2022

80 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta

1. Saccharum officinarum. 2. Agrocombustíveis. 3. Plantas Efeito do alumínio. 4. Plantas Efeito do manganês. 5. Interação genótipo-ambiente. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: INTERAÇÃO ENTRE ALUMÍNIO E MANGANÊS NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CANA-ENERGIA E CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: DIEGO CORREIA SODRÉ

ORIENTADOR: JÁIRO OSVALDO CAZETTA

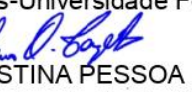
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JÁIRO OSVALDO CAZETTA (Participação Virtual)
Departamento de Tecnologia / FCAV UNESP Jaboticabal

p/ 
Prof. Dr. DANIEL PEREIRA PINHEIRO (Participação Virtual)
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) / Capanema/PA

p/ 
Prof. Dr. CÉSAR MARTORELI DA SILVEIRA (Participação Virtual)
CTA / FCAV / UNESP - Jaboticabal

p/ 
Prof. Dr. JESSIVALDO RODRIGUES GALVÃO (Participação Virtual)
Departamento de Solos-Universidade Federal Rural da Amazônia / Belém / PA

p/ 
Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 18 de outubro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DIEGO CORREIA SODRÉ – natural da cidade de Belém, Estado do Pará, nasceu no dia 17 de setembro de 1991. Iniciou o curso de graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus de Belém – UFRA, no ano de 2010. Durante o período de graduação foi estagiário no programa de educação tutorial – PET Agronomia, realizando diversas atividades no eixo pesquisa-ensino-extensão, assim como atividades técnico-científicas no departamento de solos da universidade. Em 2015, conclui o curso de Agronomia. Em 2015, iniciou o curso de Mestrado junto ao programa pós-graduação em Agronomia da UFRA de Belém, concluindo em julho de 2017. Em agosto de 2017, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, pelo Programa de Ciência do Solo, na Faculdade de ciências agrárias e veterinárias-Unesp, Campus de Jaboticabal.

AGRADEÇO

A Deus hoje e sempre ter iluminado meus caminhos e estar ao meu lado nesses anos em busca deste tão almejado título.

DEDICO

À minha mãe Ana Claudia Lopes Correia, que foi muito mais que uma mãe, foi uma amiga e meu porto seguro psicológico para todo os momentos.

OFEREÇO

À minha tia/madrinha Edilene Gonzaga Sodré, por todo apoio financeiro e muitos conselhos durante toda minha vida estudantil, pois sem a mesma nada disso teria sido possível.

HOMENAGEIO

À minha querida e já falecida avó Dalva Lopes Corrêa. Foi a pessoa que sempre quis que seus netos fossem “doutores” ou seja, formados, e mesmo em dificuldades devido a seu câncer, nunca deixou de nos amar e sonhar com um excelente futuro para nós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, pelo dom da vida e por ter me ajudado a segurar os fardos pesados nos momentos que mais precisei durante este período.

À FCAV/UNESP, que é a realização concreta de um sonho/objetivo, ao Departamento de Tecnologia e ao programa de Ciência do Solo, pela oportunidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, por todos os conhecimentos passados e o apoio durante a realização da pesquisa.

Ao técnico do laboratório de análise de plantas Senhor Carlos por toda paciência e dedicação nos momentos de realizar e ensinar a manipular os equipamentos.

Aos Professores, Dr^a. Mara Cristina Pessôa da Cruz, Dr. Renato de Mello Prado, Dr. Afonso Lopes pela amizade e oportunidade de ser seu aluno.

Aos colegas de laboratório, Bruno, Laura, Maria, Leonardo, Bianca e Paula, por toda ajuda e companheirismo dentro e fora do ambiente de trabalho.

À empresa GRANBIO pela parceria que resultou na disponibilidade do material Vertex para realização deste trabalho.

À república Caboré formada pelos amigos Isaias, Jonathan e Paulo, pelos momentos de convivência e pelo companheirismo morando juntos.

Aos amigos de Curso que a Unesp me proporcionou: Antônio, Gelza, Michael (Shaolin), que levarei para vida toda, e muitos outros que fizeram parte da minha história em Jaboticabal.

Aos meus pais, Pedro e Claudia, que apesar das dificuldades, sempre acreditaram em mim e estiveram ao meu lado.

Aos meus irmãos Saulo, Debora, Dayana e Glauber, pelo companheirismo, amizade e por sempre estarem no meu coração;

Aos meus avós Varlindo e Floripes, por proporcionarem uma criação digna e formada em cima de valores e princípios, por estarem ao meu lado em todos os momentos e por sempre desejarem o melhor para mim;

Aos meus tios Heliomar, Edilene e Alexandre, porque tudo que sou hoje devo a cada um de vocês. Em primeiro lugar agradeço ao meu tio Heliomar pela amizade, por sempre estar pronto a ajudar, em tudo durante minha jornada no ensino fundamental e médio. Agradeço de coração à minha tia e madrinha Edilene, por sempre acreditar em mim, me ajudar de diversas formas. E por fim, e não menos importante, agradeço imensamente a meu tio Alexandre por sempre acreditar em meu potencial, pelos puxões de orelha e por sempre estar presente, me incentivando a sempre estudar.

Aos meus familiares tios, primos, cunhada e sobrinhos, pelo amor, compreensão, e por acreditarem nos meus estudos, sempre buscando me dar forças;

À minha querida e amada namorada Carmen Andrea por todo suporte, ajuda e colaboração no decorrer das etapas de desenvolvimento e finalização de meu trabalho, além de sua amizade e amor que me acolheu e me auxiliou de todas as formas possíveis, nunca medindo esforços para me amparar e me apoiar nos momentos de dificuldades pessoais, psicológicas e financeiras, a amo e agradeço muito.

A todas as pessoas que confiaram em mim e me auxiliaram a transpor os obstáculos dessa trajetória para que pudesse alcançar esse objetivo

INTERAÇÃO ENTRE ALUMÍNIO E MANGANÊS NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CANA-ENERGIA E CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima utilizada para a produção de açúcar e etanol no Brasil, o maior produtor mundial desta cultura. As toxicidades por alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}) são duas das principais restrições à produção de culturas em solos ácidos. Embora se conheça relativamente bem o efeito tóxico desses elementos isoladamente, pouco se sabe sobre o efeito interativo deles. Além disso, a maioria dos estudos de toxicidade de Al e Mn são realizados com genótipos de cana-de-açúcar tradicionais, sendo escassos estudos sobre toxicidade de Al e Mn em genótipos de cana-energia. Portanto, na presente tese foram desenvolvidos experimentos com mudas de cana-de-açúcar (IACSP95-5000) e cana-energia (Vertex 9 e Vertex 2), nas condições de hidroponia alternativa adaptado em casa de vegetação com o objetivo verificar se a toxicidade de Al e Mn agem de forma independente ou de forma interativa sobre aspectos da nutrição nitrogenada e sobre o crescimento das plantas. Para isso foram desenvolvidos dois experimentos. No primeiro avaliou-se a interação fitotóxica do Al^{3+} e Mn^{2+} em mudas de cana-de-açúcar (IACSP95-5000), e constou de um esquema fatorial 2×5 , sendo 2 níveis de Al (presença e ausência), combinados com 5 níveis de Mn^{2+} (0, 200, 400, 600, 800 mg L^{-1}). O segundo experimento constou de um esquema fatorial 3×2 , no qual as mudas dos 3 genótipos (IACSP95-5000, Vertex 9 e Vertex 2) foram submetidas a 2 níveis de Al (ausência e presença de 60 mg L^{-1}). Ambos os experimentos foram instalados e conduzidos no delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Transcorrido 50 dias da aplicação dos tratamentos, foram avaliados os efeitos dos mesmos sobre as variáveis biométricas das plantas, o teor, o acúmulo e as eficiências nutricionais (absorção, translocação e utilização) de nitrogênio para ambos os experimentos. No primeiro experimento ainda foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre os teores de fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio. Observou-se efeito significativo ($p > 0,01$) para interação $\text{Al}^{3+} \times \text{Mn}^{2+}$ na maioria das variáveis avaliadas, sendo que o efeito fitotóxicos da interação é maior que a soma individual dos efeitos. Os efeitos fitotóxicos causados pela interação dos metais foram prejudiciais ao desenvolvimento das mudas de cana-de-açúcar, com destaque para teor, acúmulo e eficiência de utilização de nitrogênio que foram drasticamente reduzidos. A cana-energia apresentou maior tolerância que a cana-de-açúcar quando submetidas ao mesmo nível de alumínio do sistema. somente a variável eficiência de utilização de N a cana-de-açúcar foi mais eficaz que os de cana-energia quando submetidas a ausência de alumínio (Al0)

Palavras-chave: Estresse abiótico, genótipo, IACSP5000, *Saccharum spp*, Vertex 2, Vertex 9

ALUMINUM AND MANGANESE INTERACTION ON THE GROWTH AND NUTRITION OF ENERGY CANE AND SUGAR CANE SEEDLINGS

ABSTRACT – Sugarcane is the main raw material used to produce sugar and ethanol in Brazil, the world's largest producer of this crop. Aluminum (Al^{3+}) and manganese (Mn^{2+}) toxicities are two of the main constraints to crop production in acidic soils. Although the toxic effect of these elements in isolation is relatively well known, little is known about their interactive effect. In addition, most studies of Al and Mn toxicity are carried out with traditional sugarcane genotypes, with few studies on Al and Mn toxicity in energy cane genotypes. Therefore, two experiments were carried out with sugarcane seedlings (IACSP95-5000) and energy cane (Vertex 9 and Vertex 2), under alternative hydroponics conditions adapted in a greenhouse, to verify if Al and Mn toxicity act independently or interactively on aspects of nitrogen nutrition and plant growth. The first experiment evaluated the phytotoxic interaction of Al^{3+} and Mn^{2+} in sugarcane seedlings (IACSP95-5000), using a completely randomized 2x5 factorial scheme design, with 2 levels of Al^{3+} (presence and absence), combined with 5 levels of Mn^{2+} (0, 200, 400, 600, 800 mg L^{-1}). The second experiment consisted of a 3x2 factorial scheme, in which the seedlings of the 3 genotypes (IACSP95-5000, Vertex 9 and Vertex 2) were submitted to 2 levels of Al^{3+} (absence and presence, 60 mg L^{-1}). Both experiments were installed and conducted in a completely randomized design, with 4 replications. After 50 days, treatment effects on biometric variables such as content, accumulation, and nutritional efficiencies (absorption, translocation, and utilization) of nitrogen were evaluated for both experiments. In the first experiment, was also evaluated the effect on phosphorus, potassium, sulfur, calcium, and magnesium was also evaluated. A significant effect ($p>0.01$) was observed for $\text{Al}^{3+} \times \text{Mn}^{2+}$ interaction in most of the variables evaluated, and the phytotoxic effect of the interaction is greater than the individual sum of the effects. The phytotoxic effects caused by the interaction of metals were harmful to the development of sugarcane seedlings, with emphasis on nitrogen content, accumulation, and efficiency of use, which were drastically reduced. The energy cane showed greater tolerance than the sugar cane when submitted to the same level of aluminum in the system. only the variable N utilization efficiency in sugarcane was more effective than energy cane when subjected to the absence of aluminum (Al0)

Keywords: Abiotic stress, genotype, IACSP5000, *Saccharum spp*, Vertex 2, Vertex 9

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro, por ser a principal matéria-prima utilizada pela indústria para a produção de açúcar e etanol. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, com produção na safra de 2020/2021 de aproximadamente 654 milhões de toneladas em 8,6 milhões de hectares. O estado de São Paulo é o maior produtor, com 4,4 milhões de hectares de área colhida, cuja produção é destinada a fabricação de açúcar e etanol (CONAB, 2021).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2016), o consumo de etanol produzido a partir da cana-de-açúcar no mercado global foi de 28,79 bilhões de litros em 2015, com um crescimento estimado de 50 bilhões de litros até 2030. O Brasil se destaca no mundo por sua liderança na produção e uso de biocombustíveis, mantendo-se como um dos principais fornecedores, devido ao déficit entre a oferta e a demanda mundial desse produto (Neves e Kalaki, 2016; EPE, 2018). Nesta perspectiva, observa-se crescente utilização de etanol, visando produção maior de biomassa de cana-energia por ser uma planta de fácil adaptabilidade a solos com baixa fertilidade e com custo de produção menor em comparação a cana-de-açúcar (Nunes Junior, 2016).

Apesar da boa perspectiva de demanda de açúcar e etanol para os próximos anos, fatores abióticos relacionados a causas edafoclimáticas respondem por grande parte do estresse para a planta, destacando-se a toxicidade por alumínio (Al), que em plantas é considerado um dos principais fatores que limitam a produtividade vegetal na agricultura (Zhou et al., 2015; Maia et al., 2018; Yan et al., 2019). No caso da toxicidade por manganês (Mn), ele aparece inicialmente em folhas jovens, caracterizando-se por clorose marginal. A elevada disponibilidade de Mn e de Al comumente ocorre em solos com valores de pH abaixo de 5,5, condição na qual geralmente a maioria das plantas tende a acumular níveis tóxicos desses elementos em seus tecidos, afetando seu crescimento (Guo et al., 2015; Yang et al., 2015).

Frequentemente, níveis tóxicos de alumínio e de manganês nos solos ocorrem simultaneamente, afetando o crescimento e a produtividade das plantas. Entretanto, a existência de interação entre a ação tóxica do Al e do Mn é ainda pouco estudada.

Existem evidências de que sob condições de baixo pH, o Al pode diminuir o acúmulo de Mn ou retardar seus sintomas de toxicidade. No entanto, os efeitos do Mn na toxicidade do Al variam com espécies de plantas e condições experimentais (Khan e McNeilly, 1998; Culvenor, 1985; Taylor et al., 1998; Blair e Taylor, 1997). Assim é necessário promover e investigar se há interação entre a toxicidade de alumínio e manganês e seus mecanismos em plantas superiores. Desse modo, objetivou-se avaliar se existe relação de interação entre Al^{3+} e doses de Mn^{2+} , com a finalidade de observar a interferência no desenvolvimento inicial e nutrição de mudas de cana-de-açúcar, bem como verificar se existe resposta diferenciada entre cana-de-açúcar e cana-energia.

4. Conclusão

Os efeitos deletérios causado pelo alumínio afetou todas as variáveis estudadas, sendo que para diâmetro de colmo os genótipos 1 e 2 de cana-energia foram superiores em 25,9% e 32,4% ao genótipo 3, assim como teor e acúmulo de nitrogênio na parte aérea e raiz na AlO.

Os genótipos de cana-energia foram cerca de 9,47% (parte aérea) e 53,39% (na raiz) superiores a cana-de-açúcar. A eficiência de utilização de nitrogênio, na AlO o genótipo 3 (cana-de-açúcar) foi cerca de 44,4% mais eficiente do que nas cana-energia.

5. Referências Bibliográficas

- Abreu LGF, Grassi MCB, Carvalho LM, Silva JJB, Oliveira JVC, Bressiani JÁ, Pereira GAG (2020) Energy cane vs sugarcane: Watching the race in plant development. **Industrial Crops & Products** 156, 1128683. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112868>
- Araldi R, Silva FML, Ono EO, Rodrigues JD (2010) Florescimento de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, 40(3):694-702. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000033>.
- Awasthi JP, Saha B, Regon P, Sahoo S, Chowra U, Pradhan A, Roy A, Panda SK (2017) Morphophysiological analysis of tolerance to aluminum toxicity in rice varieties of Northeast India. **PLOS ONE** 12(4): e0176357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176357>.
- Barbosa JC, Maldonado Junior W (2015) **Experimentação Agrônômica & Agroestat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Funep, 396 p.
- Bassi D, Menossi M, Mattiello L (2018) Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific Reports** 8, 2327. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1>
- Behling M, Felipe RTA, Farias JB, Carvalho G, Neves JCL (2018). Relações entre parte aérea e raízes em povoamentos de teca. **Revista Ceres**, 65(6): 463-473. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865060001>.
- Behmann J, Mahlein AK, Rumpf T, Römer C, Plümer L (2015) A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. **Precision Agriculture** 16(3): 239-260. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9372-7>.
- Borges CE, Cazetta JO, Sousa FBF, Oliveira KS (2020) Aluminum toxicity reduces the nutritional efficiency of macronutrients and micronutrients in sugarcane seedlings. **Ciência e Agrotecnologia**, 44: e015120. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044015120>.
- Butare L, Rao I, Lepoivre P, Polania J, Cajiao C, Cuasquer J, Beebe S (2011) New genetic sources of resistance in the genus *Phaseolus* to individual and combined stress factors of combined aluminum toxicity and progressive soil drying stresses. **Euphytica** 181:385-404. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0468-0>.
- Carlin SD, Rhein AFL, Santos DM (2012) Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, 33(2):553-564. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744112012>
- CONAB (2021) **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Safra 2020/21, quarto levantamento. Brasília: Observatório Agrícola, p. 1-57. ISSN: 2318-7921. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.

Dantas ACM, Fortes GRL, Silva JB, Nezi NA, Rodrigues AC (2001) Tolerância ao alumínio em porta-enxertos somaclonais de macieira cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36(4):615-623. <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6176/3241>

Fagan EB, Ono EO, Rodrigues JD, Soares LH, Dourado Neto D (2016) **Fisiologia vegetal: Metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Editora Andrei, 212p.

Foy CD, Fleming AL (1978) The Physiology of Plant Tolerance to Excess Available Aluminum and Manganese in Acid Soils. In: Jung GA (ed.) **Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions**, 32: 301-328. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub32.c14>.

Furlani PR, Furlani AM (1988) **Composição de pH de solução nutritiva para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 34 p. (Boletim Técnico, 121).

Gimenez DFJ, Dedemo GC, Vantini JS, Silva ACB, Tezza RID, Dabbas KM, Mutton MA, Ferro MIT (2013) Análise dos parâmetros biométricos, acúmulo de prolina e identificação de genes envolvidos na resposta ao déficit hídrico em cana-de-açúcar, por cDNA-AFLP. **Científica**, 41(2): 209-225. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2013v41n2p209-225>.

Hermann ER, Câmara GMS (1999) Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, 17(5):32-34.

Macêdo CEC, Jan VVS (2008) Effect of aluminum stress on mineral nutrition in rice cultivars differing in aluminum sensitivity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 12(4):363–369. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400005>.

Maia C, Almeida C, Costa P, Melo Júnior JAG, Silveira G, Peernelli LA, Barbosa MHP, Bhering LL (2018) Phenotypic plasticity of sugarcane genotypes under aluminum stress. **Journal of Experimental Agriculture International** 22(3):1-11. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/40984>.

Matsuoka S, Kennedy AJ, Santos EGD, Tomazela AL, Rubio LCS (2014) Energy Cane: Its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, article ID 597275. <https://doi.org/10.1155/2014/597275>.

Nunes Junior D (2016) **Cana Energia um novo produto para o setor sucroenergético**. 2016. Disponível em: <http://www.ideaonline.com.br/conteudo/cana-energia-um-novo-produto-para-o-setor-sucroenergetico-por-dib-nunes-jr-142901.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.

Paiva LR (2021) Cana Online. Paiva & Baldin Editora: Ribeirão Preto, SP.

Queiroz RJB, Santos DMM, Ferraudo AS, Carlin SD, Silva MA (2011) Biochemical and physiological responses of sugarcane variedades to soil water deficiencies. **Scientia Agrícola**, 68(4): 469-476. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000400012>.

Silva JJB (2021) **Análise da variação diurna de carboidratos e metabólitos de cana-energia e cana-de-açúcar**. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, SP.

Sousa FBF, Cazetta JO, Nascimento SS (2018) The different response of sugarcane genotypes in multiple stress. **Ciência e Agrotecnologia**, 42(5):527-539. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018425020718>.

Souza LCF, Freitas ME, Lourente ERP, Serra AP, Rech J, Frota F, Loureiro GES (2016) The effects of crop rotation systems on maize agronomic traits under no-tillage in optimal and dry cropping seasons. **African Journal of Agricultural Research**, 11(27):2369-2377. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11179>.

Tabaldi LA et al. (2009) Oxidative stress is an early symptom triggered by aluminum in Al-sensitive potato plantlets. **Chemosphere**, 76(10):1402–1409. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.06.011>.

Taiz L, Zeiger E (2013) **Fisiologia vegetal** (5ªed.) Porto Alegre: Editora Artmed, 918p.

Tamás L, Huttová J, Mistrík I, Šimonovičová M, Široká M (2006) Aluminium-induced drought and oxidative stress in barley roots. **Journal of Plant Physiology** 163(7):781-784. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.08.012>.

Tistama R, Widyastuti U, Sopandie D, Yokota A, Akashi K, Suharsono (2012) Physiological and biochemical responses to aluminum stress in the root of a biodiesel plant *Jatropha curcas* L. **HAYATI Journal of Biosciences**, 19(1):37-43. <https://doi.org/10.4308/hjb.19.1.37>.

UNICA (União Da Indústria da Cana-de-açúcar) (2020) **Balanço de atividades de 2012/13 a 2018.2019**. Disponível em: <https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Relatorio-Atividades-201213-a-201819.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

Yan L, Riaz M, Liu J, Liu Y, Zeng Y (2019) Boron alters carboxyl group binding capacity and Al transport pathway to relieve Al toxicity. **BioRxiv**, 12:1-42. <https://doi.org/10.1101/2019.12.12.874412>.

Zhou XX, Yang LT, Qi YP, Guo P, Chen LS (2015) Mechanisms on boron-induced alleviation of aluminum-toxicity in citrus grandis seedlings at a transcriptional level revealed by cDNA-AFLP analysis. **PLOS ONE** 10(3): e0115485. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115485>.