**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Alterações fisiológicas na cana-de-açúcar causadas pela colonização por
*Leifsonia xyli subsp. xyli***

Fernando Henrique Silva Garcia

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica
de Plantas

**Piracicaba
2019**

Fernando Henrique Silva Garcia
Engenheiro Agrônomo

Alterações fisiológicas na cana-de-açúcar causadas pela colonização por
Leifsonia xyli subsp. Xyli
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO ALFREDO KLUGE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração Fisiologia e Bioquímica
de Plantas

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Garcia, Fernando Henrique Silva

Alterações fisiológicas na cana-de-açúcar causadas pela colonização por *Leifsonia xyli subsp. xyli* / Fernando Henrique Silva Garcia. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

107 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Raquitismo das soqueiras 2. Metabolismo de carbono 3. Nutrição de plantas
4. Interação planta-patógeno I. Título

RESUMO

Alterações fisiológicas na cana-de-açúcar causadas pela colonização por *Leifsonia xyli subsp. xyli*

A doença do Raquitismo das Soqueiras (RS) é uma doença na cana-de-açúcar cujo agente causal é uma bactéria patogênica denominada *Leifsonia xyli subsp. xyli*. O patógeno se estabelece e coloniza os feixes vasculares do xilema podendo ser também encontrado nas células da bainha e do mesofilo da folha ao longo do desenvolvimento da doença na planta. Com ausência de sintomas específicos, o principal dano ocorre na produtividade, onde as plantas doentes apresentam menor formação e crescimento dos colmos. O impacto da doença no campo está diretamente associado com o crescimento do título bacteriano, que desencadeia alterações fisiológicas na planta. Contudo, a doença ainda é um enigma, faltando esclarecimentos sobre como a doença afeta a produtividade na cana-de-açúcar ou como a doença induz o estado de déficit hídrico ou se os sintomas da doença estão associados a um desbalanço nutricional na planta. Nesta tese, nós buscamos responder essas hipóteses, procurando entender melhor a doença a partir do estudo da fisiologia da planta. Ao longo dos capítulos estudados, nós verificamos no capítulo 1, que a colonização da bactéria não leva as plantas ao estado de déficit hídrico hídrica. No capítulo 2 nós evidenciamos que RS afeta a produtividade da cana-de-açúcar por alterar seu desenvolvimento e o particionamento de carbono na planta. A cana-de-açúcar com alto título de *Lxx* exibiu acumulou mais açúcar no colmo principal em detrimento da menor formação de órgãos drenos, devido a menor formação de perfilhos. No capítulo 3, nós mostramos que os sintomas da RS também estão associados a um desbalanço nutricional na planta. As plantas com RS apresentaram um aumento na absorção de enxofre (S), magnésio e cálcio. O aumento da absorção de S, foi acompanhando com a menor absorção de molibdênio pela raiz. Desta forma, sintomas de RS podem estar associados ao aumento na absorção de S levar a deficiência molibdênio ao longo do desenvolvimento da planta. Portanto, a partir desta investigação, foi descoberto que RS aumenta a demanda hídrica na planta. Além disso, que o crescimento do título bacteriano na cana-de-açúcar altera o particionamento de carbono e o estado nutricional da planta.

Palavras-chave: Raquitismo das soqueiras, Metabolismo de carbono, Nutrição de plantas, Interação planta-patógeno

ABSTRACT

Physiological changes in sugar cane caused by colonization *Leifsonia xyli subsp. xyli*

Ratoon stunting disease (RS) is a sugarcane disease whose causative agent is a pathogenic bacterium called *Leifsonia xyli subsp. xyli*. The pathogen establishes and colonizes xylem vascular bundles and can also be found in leaf sheath and mesophyll cells throughout the disease development in the plant. The disease does not have specific symptoms, the main damage occurs in yield, where diseased plants have less tillers formation and growth. The impact of the disease on the field is directly associated with the growth of bacterial titers, which triggers physiological changes in the plant. However, the disease is still an enigma, lacking clarification as to how the disease affects sugarcane productivity or the disease induces water deficit or whether the symptoms of the disease are associated with nutritional imbalance in the plant. In this thesis, we seek to answer these hypotheses, seeking to better understand the disease from the study of plant physiology. Throughout the chapters studied, we found in chapter 1 that the colonization of the bacteria does not lead the plants to the state of water deficit. In chapter 2 we show that RS affects sugarcane productivity by altering its development and carbon partitioning in the plant. The sugarcane with high *Lxx* titers exhibited accumulated more sugar in the main stalk in function of the lower formation sinks due to the lower formation of tillers. In Chapter 3, we show that RS symptoms are also associated with a nutritional imbalance in the plant. Plants with RS showed an increase in sulfur (S), magnesium and calcium absorption. Increased absorption of S was accompanied by lower absorption of molybdenum from the root. Thus, symptoms of RS may be associated with increased absorption of S leading to molybdenum deficiency throughout plant development. Therefore, from this investigation, it was found that RS increases the water demand in the plant. In addition, the growth of bacterial titer in sugarcane alters the carbon partitioning and nutritional status of the plant.

Keywords: Ratoon stunting disease, Carbon metabolism, Plant nutrition, Plant-pathogen interaction

1.1 INTRODUÇÃO

Diversos países no mundo estão adotando políticas de redução na emissão dos gases de efeito estufa, objetivando minimizar o aquecimento global e variação do clima no planeta. Após o acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 43% até 2030 (NDC BRASIL, 2015). A utilização de energia limpa é uma das estratégias adotadas pelo Brasil para reduzir a emissão destes poluentes, feito a partir do aumento da participação do biocombustível na sua matriz energética. A cana-de-açúcar é a principal cultura utilizada para produção de etanol como biocombustível e seu uso nos veículos automotores promoveu uma economia de 27,5 toneladas de CO₂ (MACEDO, 2007).

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar no mundo, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor com 52% da área de plantio (CONAB, 2018). A cana-de-açúcar colhida no campo é destinada à indústria para produção de etanol e açúcar. A produção de etanol é destinada ao abastecimento no mercado interno para uso como biocombustível, enquanto o açúcar é comercializado no mercado interno e externo. A expansão no plantio da cana-de-açúcar causou a preocupação dos órgãos ambientais, devido sua expansão poder ser realizada em áreas florestais ou em substituição aos cultivos agrícola, para produção de biocombustível (ALTIERI; BRAVO, 2007). Contudo, a expansão da cana-de-açúcar não ocorreu em áreas florestais e tampouco em substituição a culturas produtoras de alimentos, mas em solos degradados que antes estavam ocupados pela pastagem (Bordonal et al. 2018). Apesar do aumento na área de plantio, foi registrado uma redução de 3,7% na a produção anual de cana-de-açúcar (CONAB, 2018).

Em condições de campo, a cana-de-açúcar está exposta a vários fatores adversos que podem limitar sua produção, como a incidência de doenças. Raquitismo das soqueiras (RS) é uma doença causada pela bactéria *Leifsonia xyli subsp. xyli* (Lxx) que pode reduzir a produtividade da cana-de-açúcar em até 26%, resultando em prejuízo econômico que podem alcançar em até US \$ 1.000 t ha⁻¹ ano⁻¹ (MONTEIRO-VITORELLO et al., 2004; URASHIMA et al., 2017). A doença altera o desenvolvimento da planta, havendo um menor crescimento e formação dos colmos (BAILEY; BECHET, 1995, 1997). No campo, a doença é disseminada

durante a colheita e pela utilização de material infectado como plantio no campo. O único método de controle utilizado nos cultivos é o tratamento térmico dos toletes, feito pela imersão dos toletes em água quente (50-52°C) por 30 minutos (BENDA et al. 1977; CARVALHO et al., 2016). Todavia, o tratamento térmico não elimina o patógeno no material de plantio, servindo apenas para reduzir o título bacteriano nos toletes em até 50% (QUECINE et al., 2016). A presença da bactéria nos genótipos de cana-de-açúcar no mundo (URASHIMA et al., 2017), pode ser devido essa bactéria ser um organismo endofítico na cana-de-açúcar, que estabeleceu-se nos genótipos comerciais a partir da disseminação de material de plantio resultante da hibridização interespecífica entre *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum* (YOUNG, 2016).

Leifsonia xyli subsp. xyli é uma bactéria gram-positiva e fastidiosa, que coloniza o lúmen dos feixes vasculares do xilema da planta, podendo se espalhar para o mesófilo e bainha na folha (EVTUSHENKO et al., 2000; QUECINE et al., 2016; WEAVER; TEAKLE; HAYWARD, 1977). O genoma da bactéria se caracteriza por conter poucos genes de patogenicidade, além de ausência de enzimas de biossíntese de aminoácidos, de modo que sua sobrevivência é dependente da aquisição destes compostos orgânicos pela planta (MONTEIRO-VITORELLO et al., 2004). A severidade da doença está diretamente associada com o título bacteriano (Davis et al., 1988), e o sintomas da doença se manifestam quando as plantas alcançam um alto título bacteriano, que induzem alterações fisiológicas na planta, modificando seu desenvolvimento (DAVIS; DEAN; HARRISON, 1988; MONTEIRO-VITORELLO et al., 2004).

Os sintomas da doença estão associados a um desbalanço hormonal (Zhang et al., 2016). Plantas com RS apresentaram um aumento na biossíntese de ácido abscísico (ABA) e redução na biossíntese auxina e giberelina no colmo quando comparadas as plantas sadias. O aumento na concentração de ABA provavelmente reflete o aumento na expressão do seu gene de biossíntese (MONTEIRO-VITORELLO et al., 2018). Não está claro se o aumento do nível de ABA no colmo é causado pela bactéria agir diretamente na planta através da secreção de compostos tóxicos ou indiretamente por induzir o déficit hídrico. Pois, a colonização da bactéria os feixes vasculares do xilema, pode induzir a planta a sintetizar compostos de defesa que obstruem os vasos do xilema, para evitar a mobilidade da bactéria na planta (TEAKLE; APPLETON; STEINDL, 1978; WEAVER; TEAKLE; HAYWARD, 1977). Em suporte a esta hipótese, os sintomas de RS se tornam mais evidentes quando as plantas estão submetidas a condições de déficit hídrico (Steindly e Hugles, 1953). Contudo, a doença ainda é um enigma, faltando esclarecimentos sobre como a doença afeta a produtividade na cana-de-açúcar ou como

a doença induz o estado de déficit hídrico ou se os sintomas da doença estão associados a um desbalanço nutricional na planta. Objetivo do estudo foi buscar entender melhor a doença ao avaliar o impacto da doença no estado hídrico e nutricional da planta, no particionamento de carbono e biomassa na planta.

CONCLUSÕES

- Neste estudo foi mostrado que os sintomas do Raquitismo das Soqueiras não está associado ao déficit hídrico, pois a colonização da bactéria na planta não reduziu o teor relativo de água na planta;
- O crescimento do título bacteriano na planta altera o desenvolvimento da cana-de-açúcar, que afeta o particionamento de carbono havendo um acúmulo precoce de açúcares a partir da menor formação de perfilhos na planta (drenos);
- O sintoma de Raquitismo das Soqueiras está associado com aumento da demanda de S na planta, onde o crescimento bacteriano reduziu a absorção de molibdênio devido ao aumento de absorção de S, podendo levar a deficiência de molibdênio ao longo do desenvolvimento da cana-de-açúcar no campo.

REFERÊNCIAS

- ALEXIEVA, V. et al. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.
- ALHENDAWI, R. A.; KIRKBY, E. A.; PILBEAM, D. J. Evidence that sulfur deficiency enhances molybdenum transport in xylem sap of tomato plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 8, p. 1347–1353, 2005.
- ALTIERI, M.; BRAVO, E. The ecological and social tragedy of crop-based biofuel production in the Americas. **Food First/Institute for Food & Development Policy**, v. 2006, n. Pimentel 2003, p. 1–5, 2007.
- BAILEY, R. A. THE EFFECT OF HOT WATER TREATMENTS, RATOON STUNTING DISEASE AND MOISTURE STRESS ON THE INCIDENCE OF SMUT IN SUGARCANE. 1977.
- BAILEY, R. A.; BECHET, G. R. The effect of ratoon stunting disease on the yield of some south african sugarcane varieties under irrigated and rainfed conditions. **Proceedings of The South Africar Sugar Technologists Association**, n. June, p. 74–78, 1995.
- BAILEY, R. A.; BECHET, G. R. Further evidence of the effects of ratoon stunting disease on production under irrigated and rainfed conditions. **Proceedings of The South Africar Sugar Technologists Association**, v. 71, n. September 1995, p. 97–101, 1997.
- BAILLIE, C. K. et al. Apoplastic peroxidases enable an additional sulphite detoxification strategy and act as first line of defence upon exposure to sulphur containing gas. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, n. August 2018, p. 140–150, 2019.
- BATES, L. S.; R.P., W.; I.D., T. Rapid determination of free proline for w a t e r - s t r e s s studies. **Plant and Soil**, v. 207, p. 205–207, 1973.
- BIELESKI, R. L.; TURNER, N. A. Separation and Estimation of Amino Acids in Crude Plant Extracts by Thin-Layer Electrophoresis and Chromatography. **Analytical Biochemistry**, v. 293, p. 278–293, 1966.
- BLOEM, E. et al. Facts and fiction about sulfur metabolism in relation to plant-pathogen interactions. **Plant Biology**, v. 9, n. 5, p. 596–607, 2007.
- BLOEM, E.; HANEKLAUS, S.; SCHNUG, E. Significance of sulfur compounds in the protection of plants against pests and diseases. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. August 2014, p. 763–784, 2005.
- BLOEM, E.; HANEKLAUS, S.; SCHNUG, E. Milestones in plant sulfur research on sulfur-induced-resistance (SIR) in Europe. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. January, p. 1–12, 2015.
- CALDANA, C. et al. Systemic analysis of inducible target of rapamycin mutants reveal a general metabolic switch controlling growth in Arabidopsis thaliana. **Plant Journal**, v. 73, n. 6, p. 897–909, 2013.
- CARVALHO, G. et al. Development of a qPCR for Leifsonia xyli subsp . xyli and quanti fi cation of the effects of heat treatment of sugarcane cuttings on Lxx. **Crop Protection**, v. 80, p. 51–55, 2016.
- CHEN, L. et al. Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of pathogens. **Nature**, v. 468, n. 7323, p. 527–532, 2010.
- CIA, M. C. et al. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and -sensitive sugarcane varieties. **Annals of Applied Biology**, v. 161, n. 3, p. 313–324, 2012.

- CIA, M. C. et al. Novel Insights Into the Early Stages of Ratoon Stunting Disease of Sugarcane Inferred from Transcript and Protein Analysis. **Phytopathology**, v. 108, n. 12, p. 1455–1466, 2018.
- CONAB. Monitoramento agrícola- Cana-de-açúcar. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 5, p. 1–86, 2018.
- DAVIS, M. J. et al. Ratoon Stunting Disease of Sugarcane : Isolation of the Causal Bacterium. 1980.
- DAVIS, M. J.; DEAN, J. L.; HARRISON, N. A. Quantitative Variability of *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* population in sugarcane cultivars differing in resistance to ratoon stunting disease. **Phytopathology**, v. 78, n. 4, p. 462–468, 1988.
- DE LA FUENTE, L. et al. The Bacterial Pathogen *Xylella fastidiosa* Affects the Leaf Ionome of Plant Hosts during Infection. **PLoS ONE**, v. 8, n. 5, p. 1–9, 2013.
- ELSAYED, A. I.; RAFUDEEN, M. S.; GOLLDACK, D. Physiological aspects of raffinose family oligosaccharides in plants: Protection against abiotic stress. **Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–8, 2014.
- EVTUSHENKO, L. I. et al. *Leifsonia poae* gen. nov., sp. nov., isolated from nematode galls on *Poa annua*, and reclassification of ‘*Corynebacterium aquaticum*’ Leifson 1962 as *Leifsonia aquatica* (ex Leifson 1962) gen. nov., nom. rev., comb. nov. and *Clavibacter xyli* Da. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 50, n. 2000, p. 371–380, 2000.
- FATIMA, U.; SENTHIL-KUMAR, M. Plant and pathogen nutrient acquisition strategies. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. September, p. 1–12, 2015.
- FERREIRA, D. F. SISVAR : A COMPUTER STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM Sisvar : um sistema computacional de análise estatística. p. 1039–1042, 2011.
- FU, X. et al. Physiological response and sulfur metabolism of the *V. dahliae*-infected tomato plants in tomato/potato onion companion cropping. **Scientific Reports**, v. 6, n. 59, p. 36445, 2016.
- GAGLIARDI, P. R.; CAMARGO, L. E. A. Resistência de variedades comerciais de cana-de-açúcar ao agente causal do raquitismo-da-soqueira. **Ciencia Rural**, v. 39, n. 4, p. 1222–1225, 2009.
- GLAGLIARDI, R.; CAMARGO, L. E. A. Resistência de variedades comerciais de cana-de-açúcar ao agente causal do. **Online**, p. 1–4, 2000.
- GLASSOP, D. et al. Changes in the sugarcane metabolome with stem development. Are they related to sucrose accumulation? **Plant and Cell Physiology**, v. 48, n. 4, p. 573–584, 2007.
- HÄNSCH, R. et al. Significance of plant sulfite oxidase. **Plant Biology**, v. 9, n. 5, p. 589–595, 2007.
- HANSTEIN, S. et al. Changes in cytosolic Mg²⁺ levels can regulate the activity of the plasma membrane H⁺-ATPase in maize. **Biochemical Journal**, v. 435, n. 1, p. 93–101, 2011.
- HEATH, R.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated Chloroplasts of Fatty Acid Peroxidation chlorophyll. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 126, n. 45, p. 189–198, 1968.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. (1950), The water: culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experiment Station**, Berkeley.

HUNG, W. L.; WANG, Y. A Targeted Mass Spectrometry-Based Metabolomics Approach toward the Understanding of Host Responses to Huanglongbing Disease. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 40, p. 10651–10661, 2018.

JACOBY, R. P.; KOPRIVA, S. Metabolic niches in the rhizosphere microbiome: New tools and approaches to analyse metabolic mechanisms of plant-microbe nutrient exchange. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1087–1094, 2019.

JAMES, B. G. L. THE EFFECT OF RATOON STUNTING DISEASE ON THE EXPRESSION OF SMUT SYMPTOMS. **Proceedings of The South African Sugar Technologists Association**, n. June, p. 2–5, 1976.

KANNAN, S.; RAMANI, S. Studies on Molybdenum Absorption and Transport in Bean and Rice. **Plant Physiology**, v. 62, n. 2, p. 179–181, 1978.

KOFALVI, S. A.; NASSUTH, A. **Influence of wheat streak mosaic virus infection on phenylpropanoid metabolism and the accumulation of phenolics and lignin in wheat**, 35-377, , 1995.

KOPRIVOVA, A.; KOPRIVA, S. Hormonal control of sulfate uptake and assimilation. **Plant Molecular Biology**, v. 91, n. 6, p. 617–627, 2016.

KUSHALAPPA, A. C.; GUNNAIAH, R. Metabolo-proteomics to discover plant biotic stress resistance genes. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 9, p. 522–531, 2013.

LIMA, K. et al. Temporal dynamic responses of roots in contrasting tomato genotypes to cadmium tolerance. p. 245–258, 2018.

LISEC, J. et al. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants. **Nature Protocols**, v. 1, n. 1, p. 387–396, 2006.

LOWE-POWER, T. M. et al. Metabolomics of tomato xylem sap during bacterial wilt reveals *Ralstonia solanacearum* produces abundant putrescine, a metabolite that accelerates wilt disease. **Environmental Microbiology**, v. 20, n. 4, p. 1330–1349, 2018.

MACEDO, I. C. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability. **Unica**, n. October, p. 1–230, 2007.

MCELNONE, A. J.; SHERALD, J. L.; FORSETH, I. N. Interactive effects of water stress and xylem-limited bacterial infection on the water relations of a host vine. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 381, p. 419–430, 2003.

MISZALSKI, Z.; ZIEGLER, H. Superoxide Dismutase and Sulfite Oxidation. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences**, v. 47, n. 5–6, p. 360–364, 1992.

MONTEIRO-VITORELLO, C. B. et al. The Genome Sequence of the Gram-Positive Sugarcane Pathogen *Leifsonia xyli* subsp . *xyli*. v. 17, n. 8, p. 827–836, 2004.

NAUMANN, M. et al. Sulfite reductase co-suppression in tobacco reveals detoxification mechanisms and downstream responses comparable to sulfate starvation. **Frontiers in Plant Science**, v. 871, n. October, p. 1–18, 2018.

NDC BRASIL, R. F. DO B. Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução Do Objetivo Da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima. **Unfccc**, v. 9, p. 6, 2015.

OAKLEY, A. J. Glutathione transferases: New functions. **Current Opinion in Structural Biology**, v. 15, n. 6, p. 716–723, 2005.

OMENA-GARCIA, R. P. et al. Identification of metabolite traits from the current metabolomic

approaches. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 31, n. 1, p. 1–19, 2019.

PRODHAN, M. A. et al. Tight control of sulfur assimilation: an adaptive mechanism for a plant from a severely phosphorus-impooverished habitat. **New Phytologist**, v. 215, n. 3, p. 1068–1079, 2017.

QUECINE, M. C. et al. A stable *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* GFP-tagged strain reveals a new colonization niche in sugarcane tissues. p. 154–162, 2016.

PRODHAN, M. A. et al. Tight control of sulfur assimilation: an adaptive mechanism for a plant from a severely phosphorus-impooverished habitat. **New Phytologist**, v. 215, n. 3, p. 1068–1079, 2017.

RAHMAN, M. A.; ABDULLAH, H.; VANHAECKE, M. Histopathology of susceptible and resistant *Capsicum annuum* cultivars infected with *Ralstonia solanacearum*. **Journal of Phytopathology**, v. 147, n. 3, p. 129–140, 1999.

RAI, V. K. **Role of amino acids in plant responses to stresses** *Biologia Plantarum*, 2002.

SÁNCHEZ-ELORDI, E. et al. Polyamines levels increase in smut teliospores after contact with sugarcane glycoproteins as a plant defensive mechanism. **Journal of Plant Research**, v. 132, n. 3, p. 405–417, 2019.

SCHAKER, P. D. C. et al. Metabolome dynamics of smutted sugarcane reveals mechanisms involved in disease progression and whip emission. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. May, p. 1–17, 2017.

TEAKLE, D. S.; APPLETON, J. M.; STEINDL, D. R. L. An anatomical basis for resistance of sugar cane to ratoon stunting disease. **Physiological Plant Pathology**, v. 12, n. 1, p. 83–91, 1978.

URASHIMA, A. S. et al. Prevalence and Severity of Ratoon Stunt in Commercial Brazilian Sugarcane Fields. **Plant Disease**, v. 101, n. 5, p. 815–821, 2017.

VAN DE MORTEL, J. E. et al. Metabolic and Transcriptomic Changes Induced in *Arabidopsis* by the Rhizobacterium *Pseudomonas fluorescens* SS101. **Plant Physiology**, v. 160, n. 4, p. 2173–2188, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. T. **van_Genuchten1980.pdf** *Soil. Sci. Soc. Am.*, 1980.

VILAS, J. M. et al. Modulation of plant and bacterial polyamine metabolism during the compatible interaction between tomato and *Pseudomonas syringae*. **Journal of Plant Physiology**, v. 231, n. September, p. 281–290, 2018.

WEAVER, L.; TEAKLE, D. S.; HAYWARD, A. C. Ultrastructural studies on the bacterium associated with the ratoon stunting disease of sugarcane. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 28, n. 5, p. 843–852, 1977.

WILLIAMS, J. S. et al. Elemental sulfur and thiol accumulation in tomato and defense against a fungal vascular pathogen. **Plant physiology**, v. 128, n. 1, p. 150–159, 2002.

WONG, J. W. H. et al. The Influence of Contrasting Microbial Lifestyles on the Pre-symbiotic Metabolite Responses of *Eucalyptus grandis* Roots. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, n. February, 2019.

YADETA, K. A. et al. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. v. 4, n. April, p. 1–12, 2013.

YARMOLINSKY, D. et al. Sulfite reductase protects plants against sulfite toxicity. **Plant Physiology**, v. 161, n. 2, p. 725–743, 2013.

YOUNG, A. J. Possible origin of ratoon stunting disease following interspecific hybridization of *Saccharum* species. 2016.

YOUNG, A. J. et al. Molecular Detection of Diverse *Leifsonia* Strains Associated With Sugarcane. **Plant disease**, v. 101, n. 8, p. 1422–1431, 2017.

ZEIER, J. New insights into the regulation of plant immunity by amino acid metabolic pathways. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 12, p. 2085–2103, 2013.

ZHANG, X. et al. Morphological and physiological responses of sugarcane to *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* infection. **Plant Disease**, v. 100, n. December, p. 1–8, 2016a.

ZHANG, X. et al. Influence of Inoculation of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* on Photosynthetic Parameters and Activities of Defense Enzymes in Sugarcane. **Sugar Tech**, 2016b.