

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 08/08/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until Ago. 08, 2024

JORGE MARTINELLI MARTELLO

**SISTEMAS DE PREPARO E CORREÇÃO DE SOLO ARENOSO AO LONGO DO
PERFIL VISANDO PRODUTIVIDADE E LONGEVIDADE DO CANAVIAL**

**Botucatu
2020**

JORGE MARTINELLI MARTELLO

**SISTEMAS DE PREPARO E CORREÇÃO DE SOLO ARENOSO AO LONGO DO
PERFIL VISANDO PRODUTIVIDADE E LONGEVIDADE DO CANAVIAL**

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura).**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre
Costa Crusciol**

**Botucatu
2020**

M376s

Martello, Jorge Martinelli

Sistemas de preparo e correção de solo arenoso ao longo do perfil visando produtividade e longevidade do canavial / Jorge Martinelli Martello. -- Botucatu, 2022

94 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

1. Sugarcane. 2. Sandy soils. 3. Soil fertility. 4. Soil
chemistry. 5. Preparo do solo. 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: "SISTEMAS DE PREPARO E CORREÇÃO DE SOLO ARENOSO AO LONGO DO
PERFIL VISANDO PRODUTIVIDADE E LONGEVIDADE DO CANAVIAL"

AUTOR: JORGE MARTINELLI MARTELLO

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL 
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO 
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Pesquisadora Dr.ª RAFFAELLA ROSSETTO 
Descentralização do Desenvolvimento / APTA - Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Sul

Dr. SÉRGIO GUSTAVO QUASSI DE CASTRO 
/ Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Pesquisador Dr. ANDRÉ CÉSAR VITTI 
Descentralização do Desenvolvimento / APTA - Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Sul

Botucatu, 09 de julho de 2020.

DEDICO

A toda minha família em especial aos meus queridos avós, Vitorino Martinelli (in memoriam), Antônio Martello Sobrinho, Yolanda Braga (in memoriam) e Thereza Lourenção Martello, por todo amor, carinho e cuidado dedicados a mim durante toda vida.

Ao meu pai Vicente Paulo Martello, à minha mãe Sandra Braga Martinelli Martello, ao meu irmão Pedro Martinelli Martello.

Em especial, dedico a minha esposa Mariana Martello e ao meu filho, Antônio Mott Martinelli Martello.

Amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida, por ter me dado força e coragem para seguir em frente, mesmo nos momentos de dificuldade, e me guiar na realização de mais essa conquista;

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol por ter me confiado este projeto, pela amizade, paciência e disponibilidade, e todo o suporte e ensinamentos, os quais levarei por toda a vida;

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, Dr. Heitor Cantarella e Dra. Rafaella Rossetto e professores e pesquisadores envolvidos no projeto, pelas colaborações, sugestões e contribuições que foram imprescindíveis,

Aos professores dos cursos de pós-graduação em Agronomia – Agricultura e Energia na Agricultura, meus sinceros agradecimentos, pelo incentivo, orientação e ensinamentos compartilhados;

Ao Prof. Dr. Otávio Bagiotto Rossato, Prof. Dra. Indiamara Marasca e á Dra. Gabriela Ferraz de Siqueira, mais conhecida como “Gabs”, por todo auxílio e empenho durante a instalação e condução dos experimentos, pessoas fundamentais para que este trabalho fosse concretizado;

Aos colegas de curso Ariani Garcia e Murilo Campos por todo esforço e dedicação a este trabalho e também pelos eternos laços de amizade construídos. Serei eternamente grato a vocês.

Aos pós-doutorandos do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal: Dra. Nídia Raquel Costa, Dr. José Roberto Portugal, Dra. Patrícia Pereira Dias, Dr. Carlos Antonio Costa do Nascimento, Dr. Eduardo Mariano e Dr. João Paulo Rigon pelas conversas produtivas e também pelas informações compartilhadas.

Aos funcionários e ex-funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal: Dr. Dorival Pires Arruda, Vera Lúcia, Eliane Gonçalves, Célio Mariano, Casimiro Alves, Ciro Venancio de Oliveira, Valéria Cristina Giandoni, pela convivência diária; e a Iara Aparecida de Oliveira, bem como os estagiários Julia Cassemiro Briquezi e Vinícius Vieira Rosa por todo auxílio prestado durante as análises laboratoriais realizadas neste trabalho.

Agradeço ao grupo Raízen, bem como aos funcionários e ex-funcionários Hamilton Jordão, Juliana Fernandes, Sebastião Santos Ribeiro (in memoriam) e aos demais. Também ao grupo Zilor e á Associação dos Plantadores de Cana do Médio Tietê (ASCANA), nas pessoas de: Luiz Carlos Dalben e Juninho (Agrícola Rio Claro) Jorge Morelli (Agrícola Três Lagoas), Paulo Roberto Artioli (Tecnocana) e aos demais, por todo suporte disponibilizado e, também pelo fornecimento da infraestrutura e das

áreas comerciais utilizadas nos experimentos;

Agradeço aos irmãos de República Cristiano Magalhães Pariz, Plínio Saulo Simões, Cleiton José Alves, Murilo de Souza, Luiz Gustavo Moretti de Souza, Heitor Pontes Gestal Reis e Luiz Tadeu Jordão, por todo respeito, fraternidade e apoio na luta diária durante esses anos. Vocês foram fundamentais, jamais esquecerei cada um de vocês;

Aos grandes amigos da pós-graduação: Rafael Vilela, Leila Bernart, Marcelo Volf, João William Bossolano, Lucas Jacomassi Moraes, Marcela Pacolla, Kleber Hervatim, Aníbal Pacheco, Josiane Oliveira, Camila Grassmann, Isabô Melina, Jéssica Pigatto, Ana Freire, Jayme Ferrari, Murilo Battistuzzi Martins, Ana Paula Matusevicius, Eriene Romeiro, Gustavo Spadotti Amaral Castro, Danilo Almeida, Claudio Costa, Sueko Tanaka, Letusa Momesso, Ciro Pozzi Garcia, Daniela Almeida, Antônio Carlos Carmeis Filho, José Gerardo Espinoza, Fernando Guidorizzi, Kassiano Rocha, Miriam Tarumoto, Tamires Esther Ferreira, Tiara Guimarães, Fabiana Morbi e Amanda Prado Gilabel por toda ajuda, pelo companheirismo e também pelos momentos de prazer e felicidade compartilhados ao longo destes anos.

Aos demais colegas da pós-graduação pela amizade.

Aos estagiários Lucas Oshiro (Cuniling), Vinicius Tada Perino (Paraguai), João Pedro de Albuquerque (Xanfro), Vinicius Barreto e Rodrigo Chierato Lanza (Vaticano) pelo empenho e dedicação durante a execução dos experimentos.

Agradeço à minha esposa Mariana Martello pela paciência, apoio e compreensão com meu trabalho e, também, à toda minha família por serem meu porto seguro nos momentos difíceis, me dando suporte para que eu chegasse até aqui.

Aos Programas de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Energia na Agricultura, pela oportunidade de realizar este curso e por toda infraestrutura fornecida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001

Ao Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, nas pessoas de Mauro Henrique Salgueiro Violante, Antonio Celso Joaquim, , Luiz Antonio Dias Paes e José Gustavo Teixeira Leite, pela oportunidade de desenvolver a carreira dedicada à pesquisa de cana-de-açúcar. Também, a toda equipe comercial e de desenvolvimento de produto.

Agradeço, ainda, a todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho.

Em especial, um agradecimento aos profissionais envolvidos com a pesquisa universal.

“Filosofia: amor pela sabedoria, experimentado apenas pelo ser humano consciente de sua própria ignorância.”

PITÁGORAS, of S. Oxford Languages. *In: Dicionário em Português da Google Oxford: Oxford University Press, 2022. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=significado+filosofia>. Acesso em: 21 jul. 2022.*

RESUMO

A intensa mecanização do plantio à colheita no sistema de produção de cana-de-açúcar sem a utilização da queima, submete o solo a uma forte compactação. Assim, são necessários estudos sobre sistemas de preparo que viabilizem da melhor maneira, a intensa mecanização da cultura, nos diferentes tipos de solo. Os avanços tecnológicos dos sistemas de direcionamento via satélite permitem, além do controle de tráfego de máquinas, planejar e realizar o preparo de solo localizado (em faixas) e o plantio de forma canteirizada, onde não deve haver tráfego. As recomendações de calagem para a cultura, diante do cenário inovador, precisam ser reavaliadas. Portanto, foram instalados dois experimentos, utilizando-se o espaçamento alternado 0,9 x 1,5 m, em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco arenosa. Os tratamentos foram constituídos por duas doses de calcário (0 – sem calcário e 1 – dose recomendada) e três sistemas de preparo do solo [Preparo Convencional (C) – padrão/controle; Preparo Profundo em faixas com haste subsoladora e enxada rotativa (PP); Preparo Profundo Modificado (PPM), sendo este com aplicação de calcário concentrado em faixas]. Foram avaliados: os atributos químicos do solo, os teores de nutrientes foliares e a qualidade tecnológica da matéria prima, a produtividade de colmos e açúcar após a colheita. A calagem realizada na faixa do canteiro, seguida pelo preparo profundo (PPM1) melhora os níveis de fertilidade ao longo do perfil do solo. Independente do sistema de preparo de solo, a calagem aumentou os teores foliares de nutrientes, porém, o PPM1 foi mais eficiente em proporcionar plantas bem nutridas em Ca, Mg e S. Os teores foliares de Fe, Cu, Mn e B reduziram com a calagem, independente do sistema de preparo do solo, porém permaneceram dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os parâmetros tecnológicos da matéria prima não foram alterados pela calagem, independente do sistema de preparo de solo. A produção de colmos aumentou quando a calagem foi realizada, principalmente sob sistema de preparo convencional que apesar de não diferir do PPM, foi superior ao PP. Em solos arenosos, os reflexos do sistema de preparo do solo são menos preponderantes do que a calagem.

Palavras chave: *Sacharum spp*; preparo profundo em faixas; calcário; atributos químicos do solo; produtividade de colmos.

ABSTRACT

The intense mechanization from planting to harvest in the sugarcane production system without the use of burning, submits the soil to a strong compaction. Thus, studies on tillage systems that can best enable the intense mechanization of the crop in different types of soil are needed. Technological advances in global positioning systems (GPS) allow, in addition to machine traffic control, to plan and carry out localized soil striped tillage besides planting in a canterized form, where there should be no heavy machine traffic. Liming recommendations for sugarcane were developed for the conventional tillage and harvesting system after burning, however, with the new scenarios, research is needed to evaluate the interaction between liming and soil tillage systems. Therefore, two experiments were installed, using the alternating spacing 0.9 x 1,5 m, in a Red-Yellow Oxisol with a sandy-loam texture. The experimental design used was randomized blocks, in a 2 X 3 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of two lime rates (0 - without lime and 1 - recommended dose) and three soil tillage systems [Conventional Tillage (C) - standard / control; Deep striped tillage with subsoiling rod and rotary hoe (PP); Modified Deep striped tillage (PPM), being this with localized and striped liming]. The chemical attributes of the soil, the leaf nutrient content, the technological quality of the raw material, the stalk and sugar yield after harvest, were evaluated. Canterized striped liming, followed by deep preparation (PPM1) improves fertility levels along the soil profile. Regardless of the soil tillage system, lime application increased leaf nutrient content, however, PPM1 was more efficient in providing Ca, Mg and S well nourished plants. The foliar Fe, Cu, Mn and B decreased with liming, regardless of tillage system, but remained within the optimal range for the development of sugarcane. The technological attributes of the raw material were not altered by liming, regardless of the soil tillage system. The stalk yield increased when liming was performed, mainly under the conventional tillage system which, despite not differing from PPM, was superior to PP. In sandy soils, the reflections of tillage systems are less clear than liming.

Key words: *Sacharum spp*; deep striped tillage; limestone; soil chemical attributes; stalk yield.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização da textura do solo antes da implantação dos experimentos em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura franco arenosa em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2015.....	41
Tabela 2 - Atributos químicos do solo antes da implantação dos experimentos em um em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2015.....	42
Tabela 3 - Caracterização do calcário utilizado nos experimentos, SP – Brasil, 2015	43
Tabela 4 - Doses de calcário aplicadas nos diferentes sistemas de preparo do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo, SP – Brasil, 2015.....	43
Tabela 5 - Probabilidade de F para os atributos químicos do solo após a colheita em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade e nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente. Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2016	52
Tabela 6 - Probabilidade de F para os teores foliares médios de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn e B) na cana planta em função da calagem e sistemas de preparo do solo. Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2016.....	60
Tabela 7 - Probabilidade de F para o n° de colmos m ⁻¹ , diâmetro, altura, comprimento médio de entrenó (CME), toneladas de cana ha ⁻¹ (TCH), pol, pureza, fibra, açúcares redutores (AR) e toneladas de pol ha ⁻¹ (TPH), avaliados no momento da colheita da cana planta, em função da calagem e sistemas de preparo do solo. Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2016	66

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas médias, registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2015/2016, Borebi, SP – Brasil, 2018.37
- Figura 2 - Precipitação pluvial e temperaturas médias, registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2015/2016, Santa Cruz do Rio Pardo, SP – Brasil, 2018.38
- Figura 3 - Espaçamento alternado (0,9 m x 1,5 m) em áreas de cana-de-açúcar. SP – Brasil, 201539
- Figura 4 - Amostragem para caracterização inicial dos atributos químicos e textura do solo, com trado tipo holandês para as camadas 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40 - 0,60, 0,60 - 0,80 e 0,80 - 1,0 m. Santa Cruz do Rio Pardo – SP, Brasil, 201540
- Figura 5 - Aplicação superficial de calcário em área total com equipamento Nevoeiro®, SP – Brasil, 2015.....44
- Figura 6 - Aplicação superficial de calcário no canteiro com equipamento Sollus®, SP – Brasil, 201544
- Figura 7 - Preparo do solo convencional com grade pesada (A) subsolador (B) e grade leve (C), SP – Brasil, 201545
- Figura 8 - Equipamento Penta® com haste subsoladora e enxada rotativa (A) e preparo do solo profundo em metade da área (Canteiro) (B), SP – Brasil, 2015...46
- Figura 9 - Plantio manual da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP – Brasil, 201547
- Figura 10 - Medição do comprimento do colmo com trena graduada (A) e do diâmetro do colmo com paquímetro digital (B). Borebi, SP - Brasil, 2016.....49
- Figura 11 - Coleta de colmos para análises tecnológicas (A) e pesagem dos colmos (B). Borebi, SP – Brasil, 2016.....51
- Figura 12 - Valores de pH do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras horizontais indicam a DMS pelo teste LSD ($P < 0,05$).....53

- Figura 13 - Teores de Ca do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP -Brasil, 2016. Barras horizontais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 54
- Figura 14 - Teores de Mg do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), - SP – Brasil, 2016. Barras horizontais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 56
- Figura 15 - Valores de V% do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras horizontais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 57
- Figura 16 - Valores de m% do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras horizontais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 58
- Figura 17 - Valores da CTCe do solo após a colheita da cana planta em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade, nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente, em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras horinzontais indicam a DMS pelo teste LSD ($P < 0,05$) 59
- Figura 18 - Teores foliares de N, P e K nas folhas de cana-de-açúcar em função da calagem e dos sistemas de preparo do solo, respectivamente, em Borebi (A, C e E) e Santa Cruz do Rio Pardo (B, D e F), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 61
- Figura 19 - Teores foliares de Ca, Mg e S nas folhas de cana-de-açúcar em função da calagem e dos sistemas de preparo do solo, respectivamente, em Borebi (A, C e E) e Santa Cruz do Rio Pardo (B, D e F), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) 63

- Figura 20 - Teores foliares de Fe, Cu e Zn nas folhas de cana-de-açúcar em função da calagem e dos sistemas de preparo do solo, respectivamente, em Borebi (A, C e E) e Santa Cruz do Rio Pardo (B, D e F), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$)64
- Figura 21 - Teores foliares de Mn e B nas folhas de cana-de-açúcar em função da calagem e sistemas de preparo do solo, respectivamente, em Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$)65
- Figura 22 - Diâmetro e número de colmos m^{-1} no momento da colheita da cana planta em função da calagem e sistemas de preparo do solo, respectivamente em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$)67
- Figura 23 - Altura e comprimento médio de entrenó (CME) no momento da colheita da cana planta em função da calagem e sistemas de preparo do solo, respectivamente em: Borebi (A e C) e Santa Cruz do Rio Pardo (B e D), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$) .68
- Figura 24 - Pol, pureza e fibra, no momento da colheita da cana planta em função da calagem e sistemas de preparo do solo, respectivamente em: Borebi (A, C e E) e Santa Cruz do Rio Pardo (B, D e F), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$)69
- Figura 25 - Açúcares redutores, tonelada de cana ha^{-1} (TCH) e tonelada de pol ha^{-1} (TPH) por ocasião da colheita da cana planta em função da calagem e sistemas de preparo do solo, respectivamente em: Borebi (A, C e E) e Santa Cruz do Rio Pardo (B, D e F), SP – Brasil, 2016. Barras verticais indicam a DMS pelo teste LSD ($p < 0,05$).....70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	A cultura da cana-de-açúcar	27
2.2	Sistemas de preparo do solo na reforma do canavial.....	29
2.3	Calagem em cana-de-açúcar	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	Localização e caracterização climática das áreas experimentais	37
3.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	38
3.3	Caracterização dos atributos químicos e textura do solo	40
3.4	Instalação e condução do experimento	42
3.5	Aplicação dos tratamentos.....	44
3.6	Avaliações.....	47
3.6.1	Atributos químicos do solo	47
3.6.2	Diagnose foliar nutricional	48
3.6.3	Parâmetros biométricos e tecnológicos da cana-de-açúcar	49
3.6.3.1	Comprimento, diâmetro e número de colmos	49
3.6.3.2	Parâmetros tecnológicos.....	50
3.6.3.3	Produtividade de colmos e açúcar	50
3.7	Análise estatística	51
4	RESULTADOS.....	52
4.1	Atributos químicos do solo	52
4.2	Diagnose foliar nutricional	60
4.3	Biometria, análises tecnológicas e produtividade.	66
5	DISCUSSÃO	71
5.1	Atributos químicos do solo	71
5.2	Diagnose foliar nutricional	74
5.3	Biometria, análises tecnológicas e produtividade	77
6	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma espécie pertencente a família Poaceae amplamente cultivada nas regiões tropicais, em que o Brasil se destaca por ser o maior produtor mundial e por apresentar grande potencial de expansão em área plantada (GONÇALVES e VEIGA FILHO, 1998; CUNHA et al., 2001) com destaque para a região Centro-Sul e, principalmente, o estado de São Paulo. Na safra 2018/19, o Brasil teve uma área cultivada de aproximadamente 9 milhões de hectares e produção de 616 milhões de toneladas dessa matéria prima, representando uma redução de 2,8% (18 milhões de toneladas) em relação à safra 2017/18 (CONAB, 2019).

A cana-de-açúcar possui grande destaque econômico por produzir, principalmente, açúcar e álcool em grande escala, exercendo forte atuação tanto no mercado interno como nas exportações (MORAES, 2000). Estima-se, para a safra de 2018/19, a produção de 32 milhões de toneladas de açúcar e 33 bilhões de litros de etanol, colocando o país em um lugar de destaque no cenário mundial como maior produtor, não apenas em área plantada seguido pela Índia e China, mas também como líder na produção de açúcar e de etanol proveniente da cana-de-açúcar (CONAB, 2019). Ademais, a energia elétrica gerada a partir da queima da biomassa residual, proveniente do processo de fabricação de açúcar e etanol, vem sendo utilizada no abastecimento de algumas cidades e, portanto, contribuindo de forma expressiva com a matriz energética nacional (8,2%) (OLIVEIRA, 2007).

Normalmente os canaviais apresentam uma redução de produtividade ao longo dos sucessivos cortes após a implantação da cultura, sendo necessária a reforma, em média, após 5 cortes ou safras. Esta atividade é uma das mais onerosas do sistema de produção da cana-de-açúcar. Por isso, a escolha do sistema de preparo pode ser o fator crucial para se obter altas produtividades, maior longevidade e o máximo retorno econômico do canavial.

A adoção da colheita mecanizada na cana-de-açúcar e a não adequação do tráfego dessas máquinas na lavoura tem aumentado significativamente a compactação do solo, tornando este problema grande motivo de preocupação para os produtores, uma vez que tem causado danos aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com reflexos negativos na produtividade da cultura.

Atualmente, uma técnica de manejo da mecanização agrícola tem sido apresentada como uma alternativa bastante relevante no cultivo da cana-de-açúcar, denominada controle de tráfego. Esta técnica limita as zonas de tráfego das zonas onde há o crescimento das plantas, restringindo a passagem de pneus nas linhas delimitadas, diminuindo consideravelmente a compactação do solo bem como o pisoteio da soqueira. Além disso, com a adoção de sistemas de direcionamento via satélite, têm surgido novos sistemas de preparo de solo na reforma do canavial, os quais possibilitam não apenas controlar o tráfego das máquinas, mas também planejar e realizar o preparo e a sulcação somente em locais pré-definidos.

Entretanto, o sistema de preparo do solo canterizado (em faixas), onde é realizado a sulcação e o plantio da cultura da cana-de-açúcar, mostra-se como um técnica inovadora de preparo de solo. Por meio desse novo sistema, é possível obter benefícios a curto prazo, como melhor aprofundamento do sistema radicular, aproveitamento de água e nutrientes e maior produção de biomassa. Porém, existem dúvidas se tais benefícios irão se perdurar no tempo ou se podem gerar impactos negativos sobre o solo pela mineralização da matéria orgânica, revolvimento excessivo e profundo do solo e aumento do pH.

A maioria dos trabalhos que avaliaram sistemas de preparo do solo em cana-de-açúcar (BARBIERI et al., 1997; DIAS, 2001; CAMILOTTI et al., 2005; DOMINGUES, 2012), consideraram somente os atributos físicos do solo; entretanto, a interação existente entre o preparo do solo e as condições de acidez pode ser o fator de sucesso de cada sistema de preparo, visto que, embora o sistema de preparo do solo propicie menor resistência à penetração às raízes, estas não se desenvolvem adequadamente em subsuperfície, pois existem restrições químicas para o seu crescimento.

Em épocas mais secas do ano o solo perde umidade a partir da superfície, tornando-se mais resistentes a penetração das raízes nas camadas superficiais, paralisando, assim, seu crescimento vegetativo, bem como diminui a eficiência das mesmas em absorver água e nutrientes, enquanto as camadas mais profundas continuam armazenado água. Todavia, para que essa reserva de água no solo seja acessada pelas raízes, não deve haver nenhum impedimento físico e químico ao seu desenvolvimento no perfil do solo, em especial a disponibilidade de cálcio (Ca^{2+}), uma vez que esse nutriente é essencial para a divisão celular e para a funcionalidade da membrana celular (ANGHINONI e MEURER, 1999).

O Ca^{2+} protege as raízes do estresse causado pelo baixo pH, pois diminui as formas monoméricas de alumínio no solo que restringem o alongamento radicular. O fato do Ca^{2+} ser imóvel no floema e não ser translocado da parte aérea para as partes mais novas das raízes em desenvolvimento faz com que o Ca^{2+} requerido para o crescimento das mesmas seja absorvido da solução externa às zonas apicais. Marschener (2002) ressalta que mesmo quando uma quantidade adequada de calcário é aplicada, porém apenas nas camadas superficiais do solo, as raízes são severamente restringidas em sua capacidade de penetrar em solos ácidos. Portanto, em cana-de-açúcar sem irrigação, se as raízes não conseguem explorar camadas mais profundas, certamente passarão por períodos de déficit hídrico, o qual reduz a taxa de assimilação de CO_2 , a condutância estomática e a taxa fotossintética das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004), acarretando em redução na produtividade de colmos (biomassa) e de açúcar.

Confirmando a hipótese de que a disponibilidade de nutrientes em profundidade, em especial Ca^{2+} , pode ser limitante para o desenvolvimento das plantas, Dias et al. (1999) observaram no horizonte B (0,30-1,50 m) o Ca^{2+} existente foi altamente correlacionado com a produtividade agrícola da cana-de-açúcar em seis locais do estado de São Paulo. Da mesma forma, Landell et al. (2003) observaram que a condição química do horizonte subsuperficial é decisivo na produtividade da cana-de-açúcar, ampliando-se essa correlação com a produtividade de colmos (TCH) com o avançar dos cortes.

O calcário é o produto mais utilizado para a correção da acidez e fornecimento de Ca e Mg às plantas. As recomendações de calcário para cana-de-açúcar cultivada em áreas com solos arenosos e de baixa fertilidade natural, foram desenvolvidas em sistema de preparo convencional e colheita após a queima. Atualmente, a colheita da planta crua, sem queima, já é uma realidade, não só no Estado de São Paulo, principal produtor, como nos demais estados brasileiros. Neste cenário de sistemas inovadores de preparo e colheita, pesquisas científicas esclarecendo o posicionamento adequado do calcário no sistema são escassas. Além disso, Rajj (2008) analisando diversos resultados de experimentos com aplicação de calcário em cana-de-açúcar concluiu que as recomendações oficiais para a calagem, dadas por Spironello et al. (1996), as quais eram consideradas como as “recomendações oficiais para o Estado de São Paulo”, estão subestimadas para o sistema atual de cultivo dessa planta energética.

Em função do exposto, com a utilização de sistemas de preparo profundo canterizado, revelam-se novos questionamentos referente a possibilidade de aplicação do calcário somente na faixa de preparo do solo, bem como, a profundidade de calcário a ser aplicada. Dessa forma, surge a necessidade de estudos detalhados sobre a aplicação do calcário em diferentes sistemas de preparo do solo em cana-de-açúcar cultivada em solos que apresentam baixa fertilidade natural.

Em função do exposto, o presente trabalho parte das seguintes hipóteses: a aplicação de calcário concentrado em faixas aliada a incorporação através do sistema de preparo profundo do solo com haste subsoladora e enxada rotativa poderá refletir em melhoria dos níveis de correção da acidez ao longo do perfil do solo, bem como dos demais atributos de fertilidade, quando comparado aos sistema convencionais. A concentração foliar de nutrientes sofre influência da aplicação de calcário concentrado em faixas aliada a incorporação através do sistema de preparo profundo, quando comparado ao sistema convencional de preparo do solo. A produção de açúcar e de biomassa é influenciada pela aplicação de calcário concentrado em faixas aliada a incorporação através do sistema de preparo profundo, quando comparado ao sistema convencional de preparo do solo.

Neste contexto, objetivou-se avaliar os atributos químicos do solo, os teores de nutrientes foliares, a qualidade tecnológica da matéria-prima e a produtividade de colmos e açúcar após a colheita, a fim de responder dúvidas e questionamentos referente a aplicação e incorporação do calcário através dos sistemas de preparo do solo atualmente adotados, bem como a interação entre ambos, na implantação da cultura da cana-de-açúcar em solos arenosos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho demonstraram que a calagem realizada na faixa do canteiro, seguida pelo preparo profundo (PPM1) melhora os níveis de fertilidade ao longo do perfil do solo. Já o preparo profundo precedido da calagem em área total (PP1) proporciona menores níveis de fertilidade do solo do que o PPM1 e C1.

A calagem, independente do sistema de preparo de solo, aumentou a concentração foliar de nutrientes, porém, o PPM1 foi mais eficiente em proporcionar plantas bem nutridas em Ca, Mg e S. Os teores de Fe, Cu, Mn e B foliares foram reduzidos pela calagem, independente do sistema de preparo de solo, porém permaneceram dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Os parâmetros tecnológicos da matéria prima não foram alterados pela calagem, independente do sistema de preparo do solo nas condições deste trabalho.

A produção de colmos aumentou quando a calagem foi realizada, principalmente sob sistema de preparo convencional que apesar de não diferir do PPM, foi superior ao PP.

Em solos arenosos, os reflexos do sistema de preparo de solo são menos preponderantes do que a calagem, embora, o sistema PPM com calagem relativa acima da dose recomendada (concentrada em faixas) pode promover efeitos promissores no longo prazo, como por exemplo fornecimento adequado de Ca e Mg conforme os resultados obtidos nesse trabalho, reforçando a necessidade de estudos que atualizem a necessidade de calagem para sistemas modernos de produção de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- AIKINS, S. M. H.; AFUAKWA, J. J.; OWUSU-AKUOKO, O. Effect of four different tillage practices on maize performance under rainfed conditions. **Agric. Biol. J. North Am.** v. 3, n. 1, p. 25–30, 2012. doi.org/10.5251/abjna.2012.3.1.25.30.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. S. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas.** Brasília: Embrapa Informações tecnológicas, 2008, v.1: produção e produtividade agrícola. 1336 p.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.
- ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability.** Springer Science & Business Media, 2012.
- AMOLO, R. A.; SIGUNGA, D. O.; OWUOR, P. O. Evaluation of soil properties of sugarcane zone and cropping systems for improved productivity in western Kenya. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**, v. 11, n. 3, p. 1–16, 2017.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. **Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes.** In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. Anais...Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.
- AYRES, A. J. **The utility of soil analysis in determining the need for applying calcium to sugar cane.** In: ISSCT Congress, Mauritius, v. 11, p.162-196, 1962.
- AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; FONTANELA, E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 196, p. 104447, 2020. doi: 10.1016/j.still.2019.104447
- BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R. F.; DONZELLI, J. L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo e solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p.89-98, 1997.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos.** Porto Alegre, RS. 241 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.105-112, 1997

- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; FELLER, C.; CERRI, C. E. P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B.J. Gases do efeito estufa e estoque de carbono nos solos: inventário do Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235-246, 2005.
- BLACK, C. A. **Soil fertility evaluation and control**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1993. 746 p.
- BOHNEN, H. **Acidez do solo: origem e evolução**. In: KAMINSKI, J. (Coord.) Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p 9-19 (Boletim, 4).
- BOLONHEZI, D.; Plantio direto e calagem na reforma da cana crua. **A Granja**, Porto Alegre, v. 769, p 75-77, 2013.
- BONO, A.; ALVAREZ, R.; BUSCHIAZZO, D. E.; CANTET, R. J. C Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 4, p. 1140-1149, 2008.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.
- BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; FERREIRA, A. O.; QUADROS NETO, C.; CANALLI, L. B.; SANDOS, J. B. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an oxisol under long-term no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, p.151-160, 2012.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 27, n. 1. 2011. doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x
- CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; WYLER, P. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2014.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, May/June 1992.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M.; CENTURION, J. F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.189-98, 2005.
- CARDOSO, J. A.; LACERDA, M. P. C.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J.; FIGUEIREDO, C. C. Variability of soil fertility properties in areas planted to sugarcane in the State of Goiás, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 506–515, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-0683214000200015>.

CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 1–9, 2013. doi: 10.1590/S1983-632013000100001

CHERUBIM, M. R., KARLEN, D. L., CERRI, C. E. P., FRANCO, A. L. C., TORMENA, C. A., DAVIES, C. A., CERRI, C. C. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **PloSONE**, v. 11, n. 3, e0150860, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150860>.

CATTELAN, A.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 125-132, 1990.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Levantamento da safra Nº 2 2018/19. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Levantamento da safra Nº 4, v. 1, 62 p. 2020. Acesso em: 17 de maio de 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CUNHA, C. A. H.; MACHADO, R. E.; COELHO, R. D. Irrigação da cana-de-açúcar: Análise Econômica. **STAB**, v.19, n. 4, 2001.

CRUSCIOL, C. A.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H.; NETO, J. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, n. 3, p. 347-372, 2019.

DEMATTE, J. L. I. **Recuperação de manutenção da fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 2005. 24p. Informações Agrônômicas - Boletim Informativo, 111.

DHALIWAL, S. S.; NARESH, R. K.; MANDAL, A.; SINGH, R.; DHALIWAL, M. K. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 1, p. 100007, 2019.

DIAS, F. L. F. **Sistemas de preparo de solo em área de colheita mecanizada de cana crua**. 2001. 83 f. Tese (Doutorado em produção vegetal) – Faculdade de Ciências agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAUL, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 627-634, 1999.

DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Walthen: Chronica Botanica, 1952. p.136-141. 359p.

DOMINGUES, L. A. S. **Atributos físicos, desenvolvimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em preparos de solo em áreas de renovação e expansão.** Tese de Doutorado em Fitotecnia (Universidade de Uberlândia), 92 p. 2012.

EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.39, p.51-61, 2003.

EMBRAPA CENTRO DE PESQUISA DE ARROZ E FEIJÃO. Glossário. Goiânia. 2005. Disponível em:
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/glossario.htm>> Acesso em: 03 de novembro de 2015.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar.** 2.ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

FERRAZ, R. L. S.; BARBOSA, M. A.; BATISTA, J. L.; MAGALHÃES, I. D.; DANTAS, G. F.; FRANCO, F. O. Calagem em cana-de-açúcar: efeitos no solo, planta e reflexos na produção. **InterfacEHS**, v. 10, n. 1, 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2014.

FERREIRA, E. S.; KORNDÖRFER, G. H.; MARTINS, J.; MATTHIESEN, L. A. **Efeitos da aplicação de gesso+calcário sobre algumas características químicas em latossolo vermelho amarelo.** São Paulo: 1987. (Boletim Técnico, 38).

FREITAS, G. R. **Preparo do solo.** In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 271-332.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GONÇALVES, J. S.; VEIGA FILHO, A. A. **Açúcar e Álcool.** Prognóstico Agríc., v.2, p.141-150, 1998.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 1115-1158, 1979.

GRIÈVE, I. C.; DAVIDSON, D. A.; BRUNEAU, P. M. C. Effects of liming on void space and aggregation in an upland grassland soil. **Geoderma**, v.125, p.39-48, 2005.

GUIMARÃES, T. M. **Preparo profundo e calagem em solos arenoso e argiloso na física e carbono do solo e na produtividade de cana-de-açúcar.** 2019. Tese de doutorado. Unesp Botucatu.

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A. I. The physiology of plant responses to drought. **Science**, v. 368, n. 6488, p. 266-269, 2020.

HAN, T.; CAI, A.; LIU, K.; HUANG, J.; WANG, B.; LI, D.; QASWAR, M.; FENG, G.; ZHANG, H. The links between potassium availability and soil exchangeable calcium, magnesium, and aluminum are mediated by lime in acidic soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 1382–1392, 2019. doi.org/10.1007/s11368-018-2145-6

HAMMAD, E. A.; DAWELBEIT, M. I. Effect of tillage and field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in Vertisols of Kenana Sugar Estate. Sudan. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3-4, p. 101–109, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00221-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00221-5).

HATI, K. M.; SWARUP, A.; MISHRA, B.; MANNA, M. C.; WANJARI, R. H.; MANDAL, K. G.; MISRA, A. K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. **Geoderma**, v.148, p.173-179, 2008.

HELYAR, K. R. **The management of acid soils**. In: WRIGHT, R. T.; BALILGAR, V. C.; MURRAN, R. P. (Eds). Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 365-382.

HODGSON, J. F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. In: Advances in Agronomy. **Academic Press**, 1963. p. 119-159.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 34, n. 1, p. 197-224, 1981.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. ; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BACELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé: tecnologia Embrapa: Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antonio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. doi: 10.1590/S0103-40142010000100017

LAL, R.; FAUSEY, N. R.; ECKERT, D. J. **Land use and soil management effects on emissions of radioactively active gases from tow soils in Ohio**. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed). Soil management and greenhouse effect. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 41-57.

LANDELL, M. G. A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M. A. P.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 741-745, 2003.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos**, n. 78, p. 15-21, 2007. doi: 10.1590/S0101-33002007000200003.

LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Botucatu, 2004. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista.

LUZ, M. J. S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo**. Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2002.

MALAVOLTA, E. **Reação do solo e crescimento das plantas**. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Cargill, 1984. p. 03-57.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MARASCA, I.; LEMOS, S. V.; SILVA, R. B.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Soil compaction curve of an Oxisol under sugarcane planted after in-row deep tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1490–1497, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140559>.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. **Calagem**. In: ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, PLANALSUCAR, 1983. p.181-208.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Efeito do calcário dolomítico sobre a produção de cana-de-açúcar em Alagoas, medidos pelo pH do solo. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v. 1, p. 19-23. 1984.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 2002.

MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; ÇAKMAK, I. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 9-16, p. 1175-1184, 1987.

MARTINS, N.G.S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado, Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 87 p. 2004.

MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; CASSIOLATO, M. E. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p. 647-654, 2002.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e

convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 553-561, Junho, 2003. doi.org/10.1590/S0100-06832003000300017

MIJANGOS, I.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; AMEZAGA, I.; MENDARTE, S.; GARBISU, C. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **Journal of Environmental Management**, v.91, p.2066-2074, 2010.

MORAES, M. A. F. D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Americana - SP, 238 p., 2000.

MORAES, E. R.; MAGESTE, J. G.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R.; DOMINGUES, L. A. S.; LEMES, E. M.; LIMA, L.C. Sugarcane root development and yield under different soil tillage practices. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, e0180090, 2019.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; DEMATTE, J. L. I.; DALBEN, A. E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 6 n. 2, pg. 24-31, 1987.

MORGADO, I. F.; VIEIRA, J. R. **Tecnologias canavieiras nas regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes: UFRRJ, 1999. 61p. Boletim Técnico.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ¹⁴C-labelled straw. **Australian Journal Soil Research**, v. 27, p. 401-409, 1989.

OLIVEIRA, J. G. **Perspectivas para a cogeração do bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono do setor sucroalcooleiro paulista**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001. doi.org/10.1590/S0103-90162001000200016

OLMOS, I. L. J.; CAMARGO, M. N. Toxic aluminum occurrence in Brazilian soils, their characterization and distribution. **Ciência e Cultura**, v.28, p.171–180, 1976.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L. C. F.; MANOEL, L. A. Fontes de calcário aplicadas em área total e sulco de plantio em cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar e Álcool Subp.**, v. 9, p. 11-16, 1990.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO, E. J. **Distribuição e conservação dos solos com cana-de-açúcar no Brasil**. In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. v. 2, p. 41-73.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Carbon cycling and soil organic matter**. In: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. (Ed.). *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic, 1996. p. 130-155.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea Arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1201-1207, 1982.

PEREIRA, D. P.; Fiedler, N. C.; Lima, J. S. S.; Guimarães, P. P.; Môra, R.; Carmo, F. C. A. Eficiência da subsolagem na profundidade de preparo do solo em função da declividade do terreno. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 607 -612, 2012. doi: 10.1590/S0104-77602012000400010

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Residual effect of calcium silicate slag as soil acidity corrective in sugar cane ratoon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PREECE, C.; PEÑUELAS, J. A return to the wild: root exudates and food security. **Trends in plant science**, v. 25, n. 1, p. 14-21, 2020.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

REICOSKY, D. C.; ARCHER, D. W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 109-121, May 2007.

REICOSKY, D. C.; REEVES, D. W.; PRIOR, S. A.; RUNION, G. B.; ROGERS, H. H.; RAPER, R. L. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, p.153-165. 1999.

REICHERT, J. M.; ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; ROSADA, D. P.; HORN, R.; REINERT, D. J.; SATTler, A. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short- and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 158, 123–136, 2016. doi: 10.1016/j.still.2015.11.010

RELLÁN-ÁLVAREZ, R.; LOBET, G.; DINNENY, J. R. Environmental control of root system biology. **Annual review of plant biology**, v. 67, 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

RIDLEY, A. M.; SLATTERY, W. J.; HELYER, K. R.; COWLING, A. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.30, p.529-537, 1990.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 269-275, 1985.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

RODRIGUES, J. C.; PALHARES, A. C. **Efeito da aplicação de calcário nas propriedades químicas do solo e na produtividade de cana-de-açúcar**. In: Seminário de Tecnologia Agrônômica, pg. 303-320. Coopercucar, Piracicaba. 1986.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p. 744-750, 2010.

ROSOLEM, C. A.; CAMARGO, J. R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 103-109, 1984.

ROSSETTO, R. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 124, 2011.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação coma adubação potássica. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004. doi.org/10.1590/S0006-87052004000100011

SÁ, J. C. M. **Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto**. In: **Seminário sobre o sistema plantio direto na palha**. UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumo das palestras. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61.

SCARPARE, F. V.; van LIER, Q. J.; CAMARGO, L.; PIRES, R. C. M.; RUIZ-CORREA, S. T.; BEZERRA, A. H.; GAVA, G. J. C.; DIAS, C. T. S. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 187, 110–118, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Cultivo mínimo**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_85_2212200_6154841.html> Acesso em: 03 de março de 2015.

SAHOO, J.; DINESH, M. A. B.; ANIL, A. S.; RAZA, M. B. Nutrient distribution and relationship with soil properties in different watersheds of Haryana. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 90, n. 1, p. 172-7, 2020.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A. Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. **Revista Alcoolbrás**, v. 129, n. 1, p. 42-45, 2010.

SINGH, B. P.; SETIA, R.; WIESMEIER, M.; KUNHIKRISHNAN, A. **Agricultural management practices and soil organic carbon storage**. In: Singh, B.K. (Ed.), Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling. Academic Press, 125, London Wall, Londo EC2Y 5AS, UK, pp. 207–214, 2018.

SINGH, S. N.; SINGH, S. C.; KUMAR, R.; SHUKLA, S. K.; SHARMA, M. L. Effect of agrotechnological manipulations in improving the productivity of cane under multi-ratooning system. **American-Eurasian Jour. Sci. Res.** v. 3, n. 1, p. 29–32, 2008.

SISDAGRO, Sistema de Suporte a Decisão na Agropecuária. Instituto Nacional de Meteorologia - **INMET**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologicomensal/index>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

SOLERA, M. A. C. **Efeito da relação Ca:Mg, utilizando carbonatos e sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar**. 1988. 186f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

SORATTO, R. P. **Aplicação superficial de calcário e gesso na implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Botucatu, 2005. 177p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

SOTERO, A. G.; SILVA, F. P. F. Avaliação das análises químicas e granulométricas de calcários utilizados na cultura da cana-de-açúcar de Pernambuco. **Brasil açucareiro**, v. 94, n. 5, p. 59-65, 1979.

SOUZA, R. F. D.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.937-944, 2004.

SPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. **Cana-de-açúcar**. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1996. cap. 22, p. 237- 239. (Boletim Técnico n. 100).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAVARES, R. L. M.; SOUZA, Z. M.; SCALA JUNIOR, N.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, G. S.; TORRES, J. L. R. Spatial and temporal variability of soil CO₂ flux in sugarcane green harvest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150252, 2016.

TROEH, R. F.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p. doi: 10.1590/18069657r

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Sustentabilidade**. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/noticia/6551584920310621254/sao-paulo-fecha-safra-2013-por-cento2F2014-com-colheita-mecanizada-em-83-por-cento-dos-canaviais/>>. Acesso em: 01 de junho de 2019.

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. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

van RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

van RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Instituto Agronômico, Campinas. 233p. 2008.

van RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

VITTI, G. C. **Enxofre no solo**. In: Simposio Sobre Interpretação de Análise Química de Solo e Planta para Fins de Adubação, 1., Botucatu, 1988. Anais. Botucatu, FCA-UNESP/FEPAF/ANDA/POTAFOS, 1988. 39p.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 97, p. 1-16, 2002.

VON UEXKÜLL, H. R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil**, v.171, p. 1–15, 1995.

WAHYUDI, H.; MA'AS, A.; HANUDIN, E.; UTAMI, S.N. The Effects of Doses and Methods of Lime Placement to N, P, K, Ca, Mg Content into the Leaves and Sugarcane Growth in Ultisol Seputih Mataram Lampung Tengah. **Journal Ilmu Pertanian (Agricultural Science)**, v. 3, n. 3, p. 166-173, 2018.

WEI, X.; HAO, M.; SHAO, M.; GALE, W. J. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1-2, p. 120-130, 2006.

YAO, H. Y.; BOWMAN, D.; RUFTY, T.; SHI, W. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.1425-1432, 2009.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.42, p.257-262, 1999.