UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
Faculdade de Ciências Agronômicas
UNESP | BOTUCATU

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 Agronômicas 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 Agronômicas, 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 Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

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 rabalho 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 memorian) 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, Erilene 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 (Paraguaio), 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, 2015 39

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, 2015 40

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, 2015 44

Figura 7 - Preparo do solo convencional com grade pesada (A) subsolador (B) e grade leve (C), SP – Brasil, 2015 45

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, 2015 47

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 agua 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 subsolos 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, Raij (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.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

No Brasil, a cana-de-açúcar apresenta relevada importância econômica, pois é utilizada em grande escala para a produção de açúcar e etanol, um biocombustível alternativo aos combustíveis oriundos do petróleo (MARTINS, 2004). Além disso, a cultura também é utilizada para a produção de cachaça e rapadura e os resíduos gerados por essa agroindústria são utilizados como fonte de energia através da biomassa ou mesmo para a reciclagem e reaproveitamento de nutrientes no campo e na alimentação animal. Assim, gerando milhares de empregos diretos e indiretos e movimentando a economia de diversas regiões.

Com importância social e ambiental para o país, a cana-de-açúcar é classificada como uma das mais significativas para o agronegócio nacional (VITTI e MAZZA, 2002). No mundo, diversos países estudam a implantação de projetos de biocombustíveis na sua matriz energética. Isso ocorre, principalmente, devido à necessidade de redução das emissões de gases causadores do efeito estufa e a tática dos países em variar sua matriz energética, reduzindo assim a dependência do petróleo. Portanto, o uso do etanol, derivado da cana-de-açúcar, é uma alternativa muito estratégica. Além do etanol, observa-se que o aumento da demanda mundial por açúcar colabora para impulsionar o cultivo de cana-de-açúcar como uma das grandes fontes de renda para o país.

A área nacional cultivada com cana-de-açúcar na safra 2018/19 foi por volta de 9 milhões de hectares. No ranking dos estados produtores, São Paulo é o primeiro colocado, com 50% da área plantada, seguido por Goiás (10,1%), Minas Gerais (9,4%), Mato Grosso do Sul (6,9%), Paraná (6,3%), Alagoas (3,3%) e na sétima posição está Pernambuco com 2,6%. A contribuição desses estados corresponde a aproximadamente 90% da produção nacional de cana-de-açúcar (CONAB, 2019).

Na safra 2018/19 a produção total de cana-de-açúcar foi de 616 milhões de toneladas e a produtividade média foi de 71,3 Mg ha^{-1}. Houve redução de 1,1% (99 mil hectares) na área destinada a produção, 2,7% (17 milhões de toneladas) na produção total e 1,7% (1,2 Mg ha^{-1}) na produtividade média de cana-de-açúcar, em comparação a safra anterior (CONAB, 2019). O definhamento das lavouras causado

pelo envelhecimento, a baixa proporção de renovação, a escassez de investimento em determinadas regiões e a diminuição na adoção de tecnologias contribuem para manter a produtividade média brasileira em patamar inferior a 80 Mg ha^{-1}. Ressalta-se que a colheita mecanizada influenciou na diminuição da produtividade das safras recentes, devido à falta de sistematização das áreas visando esse tipo de colheita, resultando em pisoteio das linhas de cana (CONAB, 2019).

A produtividade potencial da cultura, na média de cinco cortes, pode atingir ou até mesmo superar 100 Mg ha^{-1}, ou seja, a produtividade obtida nas últimas safras encontra-se bastante inferior ao potencial produtivo (ALBUQUERQUE e SILVA, 2008). Esse fato indica que novas práticas de manejo devem ser empregadas objetivando o aumento da produtividade e o retorno econômico da atividade sucroalcooleira.

Dentre as áreas destinadas à produção da cultura da cana no Brasil, aproximadamente 95 a 97% são colhidas mecanicamente, sem a utilização de fogo. O estado de São Paulo se destaca pela produção de 330 milhões de toneladas de cana, 51% do etanol nacional e 16% da produção de etanol mundial. Por toda essa representatividade, o estado iniciou o diálogo com o setor sucroenergético e desenvolveu, em conjunto com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o Protocolo Agroambiental. Como resultado disso, no estado houve a redução na colheita da cana queimada em sete milhões de hectares na safra 2013/2014. Essa redução permitiu que cerca de 26,7 milhões de toneladas de poluentes deixassem de ser liberados, além de 4,4 milhões de toneladas de gases de efeito estufa (GEEs), proporcionalmente à liberação anual de pouco mais de 77 mil ônibus movidos a diesel (UNICA, 2014).

Todas atividades relacionadas diretamente com o sistema de produção de cana-de-açúcar, do plantio até a colheita, necessitam de planejamento. Esta etapa é imprescindível para a sua viabilidade econômica, definindo as técnicas a serem empregadas, desde a utilização de insumos, máquinas, implementos, adubação e até a seleção de variedades (SILVA JUNIOR e CARVALHO, 2010). Portanto, para este planejamento, deve-se considerar o preparo de solo para implantação do canavial como uma etapa essencial para a longevidade da cultura, levando em consideração que essa etapa só ocorrerá novamente em média depois do quarto ou quinto corte após a implantação ou reforma do canavial.

2.2 Sistemas de preparo do solo na reforma do canavial

O uso contínuo de métodos convencionais de preparo do solo tem influenciado negativamente a produtividade da cana-de-açúcar (MORGADO e VIEIRA, 1999) e, atualmente, a colheita mecanizada tem contribuido amplamente neste aspecto. Todavia, busca-se por sistemas de manejo que minimizam a degradação do solo e proporcionem maiores produtividades.

A sustentabilidade agrícola depende, entre outros fatores, da utilização de praticas conservacionistas que minimizem a degradação dos solos e reduzam suas perdas. O sistema plantio direto visa o equilíbrio do ecossistema, já que possibilita a auto-sustentação em termos econômicos, sociais e ecológicos. Entretanto, para a cana-de-açúcar, esta prática é de difícil aplicação, pois é uma cultura semi-perene, cujo preparo do solo ocorre somente a cada cinco anos em média, além da mecanização intensa e de carga excessiva durante seu ciclo (plantio, aplicação de herbicida, adubação e colheita). Assim, o papel fundamental das operações de preparo do solo é criar condições ideais para o desenvolvimento do sistema radicular e dessa forma contribuir com um ambiente propício para obtenção de maiores produtividades.

De acordo com Freitas (1987), este manejo inicial pode influenciar substancialmente a produção ao longo dos consecutivos cortes, pois, operações mal conduzidas no preparo do solo, e com baixa tecnologia, podem comprometer os rendimentos durante todo o ciclo da cultura.

Diversos fatores podem ser comprometidos durante a operação de preparo do solo, os quais podem ser classificados em: componentes físicos (estrutura do solo), químicos (pH do solo e disponibilidade de nutrientes) e biológicos (atividade de microrganismos de interesse agrícola), sendo estes determinantes na absorção eficiente de nutrientes pelas raízes das plantas e na otimização da percolação hídrica, o qual contribui substancialmente para a conservação e qualidade do solo (ORLANDO FILHO e ZAMBELLO, 1983; FREITAS, 1987).

Segundo Santiago e Rossetto (2007), o preparo do solo convencional, além de incorporar insumos e fertilizantes, por meio do revolvimento das camadas superficiais, proporciona a redução da compactação, aumenta a porosidade, e eleva a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, otimizando, assim, o

desenvolvimento da cultura e reduzindo a competição com plantas daninhas. Dessa forma, o preparo convencional do solo é realizado, basicamente, com aração ou subsolagem e gradagens. A subsolagem é utilizada para romper as camadas de solo impermeáveis ou compactadas, em profundidades maiores do que 0,40 m, com pouca mistura e nenhuma inversão (PEREIRA, et al. 2012). O arado efetua o corte, elevação, inversão e queda, com um efeito de esboroamento de fatias de solo denominadas de leivas. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Contudo, esta prática pode ocasionar sérios problemas com o passar dos anos devido principalmente a desagregação das partículas do solo e mineralização acelerada da matéria orgânica ocasionados pelo revolvimento excessivo do solo (GABRIEL FILHO et al., 2000).

Uma estratégia para aumentar a produção de colmos é a reforma dos canaviais. Para tanto, utiliza-se do manejo convencional de preparo do solo, a fim de atenuar problemas de compactação do solos decorrentes da intensa mecanização empregados anteriormente a roforma, e da necessidade de incorporar corretivos e reduzir infestação de pragas na área. Todavia, em condição de cana crua, o custo do preparo do solo é substancialmente superior em função do acúmulo de palha (em média 8 a 10 Mg ha^{-1}, base úmida) na superfície. Porém, a estratégia do revolvimento de palha precisa ser utilizada com cuidado levando em consideração que os problemas de erosão decorrentes do revolvimento excessivo aumentam substancialmente os prejuizos (BOLONHEZI, 2013).

De acordo com Sá (1998), as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem ser diferentemente influenciadas em função do tipo de preparo utilizado, pois, cada implemento atua no solo de forma alterada, de modo que, um cultivo inadequado pode deixar as partículas superficiais susceptíveis ao processo de erosão e propiciar a formação de impedimentos físicos logo a baixo das camadas movimentadas pelos equipamentos (SOUZA et al. 2004).

Os principais indutores da degradação dos solos agrícolas são a desestruturação do solo, a compactação e a redução nos teores de matéria orgânica e a erosão. Tal efeito tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

Assim, a utilização de sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo tem sido cada vez mais utilizada por promover inúmeros benefícios, como: melhoria

da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (BAYER,1996); atividade biológica (CATTELAN e VIDOR, 1990); conteúdo de nitrogênio total e carbono orgânico do solo, capacidade de troca catiônica e fertilidade (BAYER e MIELNICZUK,1997).

Estudos conduzidos sob diversos sistemas de manejo e em condições de clima temperado, principalmente, têm concluído que a movimentação do solo por ação mecânica é um dos principais fatores responsáveis por aumentar as perdas de CO_2 (REICOSKY e ARCHER, 2007). A magnitude da perda de CO_2 dos solos está diretamente relacionada com a frequência e a intensidade do grau de perturbação do solo causada pelos implementos de preparo.

Métodos convencionais de preparo do solo, com uso de aração e outros preparos, aumenta a mineralização do carbono orgânico do solo e as emissões de CO_2 (REICOSKY et al., 1999). Mesmo quando a produção de biomassa é semelhante, os níveis de carbono orgânico do solo podem ser maiores sob solos não preparados em comparação a solos preparados (BONO et al., 2008).

O distúrbio físico do solo promove a quebra dos macro agregados e expõe o carbono, anteriormente protegido, a influência microbiana, acelerando a decomposição da matéria orgânica (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). A intensidade do grau de perturbação ocasionado pelos implementos ditam a magnitude das perdas de carbono na forma de CO_2. Dessa forma, dependendo do tipo e configurações do manejo, o solo pode ser uma importante fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera (LAL et al., 1995; BERNOUX et al., 2005).

Segundo Roque et al., 2010, o controle de tráfego permite melhorias na estrutura física do solo e redução no consumo de combustível, pois uma maior área de solo não será compactada e apresentará menor resistência à ruptura do solo na passagem de implementos de mobilização. As zonas de tráfego, na cana-de-açúcar, podem permanecer no mesmo lugar por um ciclo da cultura, ou ser mantido ao longo de vários ciclos.

No sistema de preparo profundo em faixas e plantio canterizado, as operações de preparo, correção de acidez e adubação ocorrem de forma concentrada na área representada pelos sulcos de plantio da cana-de-açúcar (canteiros), de forma que mantem-se o restante da área sem mobilização do solo (ROSSETTO et al., 2011). Neste sistema, é comum a utilização de equipamentos compostos por haste

subsoladora e enxada rotativa que operam a 0,80 m e 0,40 m de profundidade, respectivamente, além da caixa canterizadora. Por meio destes equipamentos, adicionalmente, é possível realizar a incorporação de insumos em filetes nas profundidades de 0,40 e 0,80 m de profundidade, através de canaletas presentes na parte posterior da haste e do compartimento de armazenamento de insumos.

No emprego do sistema de preparo profundo do solo em faixas, a diminuição das áreas compactadas poderá favorecer o desenvolvimento radicular e, assim, a planta poderá manter a absorção de água mesmo em períodos com menor precipitação pluvial. Como consequência, estas plantas poderão apresentar atividade fotossintéticas mais satisfatória devido a melhor atividade estomática e assimilação de CO_2) (TAIZ e ZEIGER, 2004). Nesta condição, a produção de fitomassa aérea e radicular tenderá a ser maior em relação ao sistema de preparo convencional (GRIÈVE et al., 2005).

Todavia, embora o sistema de preparo de solo propicie menor resistência à penetração das raízes, conhecer a interação existente entre o preparo do solo e as condições de acidez pode determinar o fator de sucesso de cada sistema de preparo, uma vez que, sob restrições químicas, as raízes das plantas não se desenvolvem adequadamente em subsuperfície.

2.3 Calagem em cana-de-açúcar

Segundo von Uexküll e Mutert (1995), é possível encontrar solos naturalmente ácidos, com valores de pH < 5,5, em diversas regiões climáticas do planeta. No Brasil, aproximadamente 70% do território é composto de solos ácidos, caracteristica capaz de reduzir o rendimento de diversas culturas em até 40%. Este fato está relacionado à elevados teores de Al^{+3} solúvel (QUAGGIO, 2000). Neste tipo de solo, predominam as características de baixa saturação por bases (V%), baixo teor de P disponível, e predominância de argilas 1:1. Ressalta-se ainda que os teores de óxido de Fe^{+3} e de Al^{+3} podem apresentar níveis variáveis, visto que são dependentes do pH do solo (OLMOS e CAMARGO, 1976).

A acidez de solos agrícolas pode ser agravada por cultivos intensivos, que liberam quantidades equivalentes do íon H^+ em função da absorção catiônica. Mecanismo este utilizado pelas plantas para manter a célula em equilíbrio eletrostático. Este fato é apenas um entre os diversos responsáveis por otimizar a

acidez do solo, sendo os íons H^+ influenciadores diretos na solubilização e disponibilidade de macro e micronutrientes. Segundo Malavolta (1984), para remover os cátions trocáveis dos colóides é necessário que as cargas do solo sejam preenchidas por íons trocáveis de carga semelhante, assim satisfazendo o equilíbrio entre as fases. Sendo a toxicidade por Al^{+3} solúvel em solos com reação ácida fator de elevado impacto negativo nas funções metabólicas do tecido vegetal.

Ziglio et al. (1999) ressalvam que entre os fatores que podem promover a acidificação dos solos estão a lixiviação de cátions básicos solúveis (Ca^{+2}, Mg^{+2} e K^+), bem como a substituição por cátions ácidos (H+Al) no complexo de troca catiônica. De acordo com a série liotrópica, os íons H^+ tem preferência de adsorção nos colóides do solo em função de sua ligação covalente, seguido pelo íon Al^{+3} em função de sua trivalência, os quais são mais fortemente atraídos para próximidade das partículas de cargas negativas, em detrimento do Ca^{+2}, Mg^{+2} e K^+. Todavia, o Al^{+3} se mantém no perfil e os demais cátions se propendem a ser lixiviados (BOHNEN, 2000). Deste modo, ocorre diminuição no valor de pH do solo e aumento na saturação por Al^{+3} (RAIJ, 1991).

Segundo Solera (1988), a nutrição adequada na cultura da cana-de-açúcar é um aspecto fundamental para elevados rendimentos. Para que ocorra a máxima eficiência dos insumos, torna-se necessário a correção da acidez do solo. O sistema radicular é a região da planta mais sucetível aos problemas decorrentes da acidez do solo, pois é o elo de interface entre a parte aérea e o solo. De modo geral, as plantas exploram mais a camada superficial como fornecedora de nutrientes, e a camada subsuperficial por umidade (fonte hídrica). Em profundidade, a acidez do solo terá importância secundária, devido a menor contribuição no fornecimento de nutrientes. Entretanto, desempenha papel fundamental em estações secas e propensas a estresses hídricos.

A correção da acidez do solo é uma técnica amplamente difundida devido aos grandes benefícios proporcionados para diversas culturas e que visa principalmente neutralizar os efeitos tóxicos de elementos como o Al^{+3} e Mn^{+2} (ORLANDO FILHO et al., 1990; PRADO e FERNANDES, 2001), fornecer Ca^{+2} e Mg^{+2}, e aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes como P (SOTERO e SILVA, 1979; MARINHO e ALBUQUERQUE, 1983; MARINHO e ALBUQUERQUE, 1984). Além de proporcionar indiretamente melhor estruturação do solo, e atividade microbiana de interesse

agrícola. A cinética de solubilização dos corretivos nos solos, com subsequente disponibilização de Ca^{+2} e Mg^{+2} para as plantas e neutralização de substâncias ácidas, dependem de vários fatores, como: a umidade, a granulometria, a forma e localização da aplicação do corretivo no solo, dose aplicada, teor de M.O., além do poder tampão do solo (GONZALEZ ERICO et al., 1979; RITCHEY et al., 1985).

A decomposição de restos vegetais em camadas superiores pode acelerar a acidificação do solo, formando um gradiente de pH em profundidade, processo chamado de frente de acidificação (HELYAR, 1991). Logo, há maior acidificação na camada superficial, o que condiciona a baixa mobilidade do calcário, fazendo-se necessário a neutralização da acidez subsuperficial. Meda et al. (2002) afirmaram que, para melhor compreender o efeito da calagem em profundidade, técnicas como a incorporação mecanizada podem ser utilizadas. Ferreira et al. (1987) afirmaram que em SPD, onde não há incorporação do corretivo, o sistema radicular limita-se as camadas superficiais causando instabilidade produtiva em períodos de estresse hídrico.

Dentre os insumos utilizados para correção da acidez do solo como: escórias, a cal virgem e hidratada, os silicatos de Ca e Mg, a recomendação da calagem com o calcário calcinado agrícola contendo óxidos de Ca^{+2} e Mg^{+2} é a técnica mais utilizada, uma vez que o insumo gesso agrícola amplamente utilizado para o fornecimento de Ca e S, não é capaz de fazê-lo sozinho (ROSOLEM e CAMARGO, 1984). Porém, esta ação pode estar restrita apenas a camada superficial do solo (AYRES, 1962; RODRIGUES e PALHARES, 1986). Em regiões tropicais úmidas, é apontada como uma das limitações dos solos, a baixa fertilidade em profundidade e isto se reflete no menor volume explorado pelo sistema radicular, refletindo assim em menor produtividade das culturas (DEMATTÊ, 2005). O baixo teor de Ca^{+2} aliado a presença de Al^{+3} são os principais fatores químicos antagônicos para o desenvolvimento radicular, principalmente em camadas mais profundas (RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al. 1982; QUAGGIO, 2000). Logo, a incorporação de calcário tem por função proporcionar melhoria da fertilidade em camadas mais profundas, contribuindo para um sistema radicular mais efetivo em períodos de ocorrência de deficiência hídrica e que consequentemente possa garantir ou até mesmo otimizar a produtividade das culturas.

Morelli et al.(1987) afirmam que um sistema radicular bem desenvolvido pode evitar o arranquio da touceira durante a colheita mecanizada, problema muito comum

e bastante observado em canaviais instalados em solos arenosos. Em balanços hídricos negativos, o solo perde umidade a partir da superfície, e assim as camadas superficiais tornam-se mais resistentes à penetração do sistema radicular, havendo também a paralização da absorção de água e nutrientes e do crescimento radicular. Todavia, segundo Anghinoni e Meurer (1999), o sistema radicular em camadas mais profundas irá continuar com suas atividades efetivas se não houver impedimentos físicos e químicos, como a disponibilidade de Ca^{+2}, uma vez que este é essencial para na multiplicação e divisão celular e na atividade da membrana.

Neste sentido, valores de pH baixos, podem inibir o alongamento da raiz devido a presença de formas monoméricas de Al^{+3}. O fato do Ca^{+2} ser imóvel no floema e não ser translocado da parte aérea para as raízes recém formadas, faz com que o Ca^{+2} requerido para o desenvolvimento do sistema radicular seja absorvido da solução externa nas zonas apicais das raízes. Marschener (2002) afirma que o sistema radicular pode ter seu desenvolvimento comprometido quando a aplicação de calcário em superfície é realizada de forma incorreta, pois a capacidade de penetrar em subsolos ácidos é restringida. Com a cultura da cana-de-açúcar não é diferente, principalmente em condições de sequeiro, onde a tolerância da cultura á períodos de déficit hídrico é limitada, condição esta que pode reduzir a taxa de assimilação de CO_2 e, consequentemente, a taxa fotossintética, com reflexo negativo na produção de colmos e açúcar (TAIZ e ZEIGER, 2004).

A calagem favorece a atividade microbiana do solo podendo promover a decomposição da matéria orgânica e também disponibilizar Ca^{2+} na solução do solo. Todavia, também proporciona a associação entre a argila e o húmus, o que está fortemente correlacionado com o carbono orgânico total e os teores de Ca^{2+} do solo (EKENLER e TABATABAI, 2003; YAO et al., 2009; MIJANGOS et al., 2010; BRIEDS et al., 2012).

Em relação a dinâmica da matéria orgânica, a calagem tem como efeito indireto a maior produção de matéria seca de plantas, em decorrência de melhores condições para o desenvolvimento da cultura, principalmente, em razão da neutralização do Al^{3+} (RIDLEY et al., 1990; HATI et al., 2008). No entanto, as pontes cátionicas entre as argilas silicatadas e os radicais orgânicos é um mecanismo comum de estabilização da matéria orgânica, destacando-se o Ca^{+2} (MUNEER e OADES, 1989). Segundo Paul e Clark (1996), a calagem permite que o Ca^{2+} seja o cátion predominante no

complexo sortivo, e que atue na estabilização física da matéria orgânica, otimizando a maior floculação das partículas do solo, promovendo agregação e elevando a síntese de moléculas orgânicas em decorrência do contrabalanceamento de cargas negativas em grupos funcionais. O Ca^{2+} participa de associações metálicas entre a matéria orgânica do solo e os minerais das frações mais finas do solo, proporcionando uma proteção química dos compostos orgânicos e diminuindo a sua decomposição.

Dias et al. (1999) confirmaram a importância da construção física, química e biológica do perfil de solo no desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. Visto que o Ca^{+2} no horizonte B (0,30-1,50 m) é a variável que mais se correlacionou com rendimentos elevados da cultura. Aliado a isso, Raij (2008) verificou em diversos estudos que a calagem na cultura é economicamente viável se realizada de forma correta, podendo aumentar a longevidade do canavial em pelo menos mais um corte. Todavia, este mesmo autor ressalva que as recomendações oficiais de calagem citadas por Spironello et al. (1996), consideradas como as “recomendações oficiais para o Estado de São Paulo”, estão desatualizadas tendo em vista o avanço dos sistemas de produção, das novas variedades e dos patamares produtivos e, portanto, necessitam ser revistas.

Desta forma, além dos questionamentos quanto ás doses, existe também a necessidade de se estudar os efeitos da aplicação de calcário nas áreas conduzidas sem a queima e também, das formas de aplicação: concentrado em faixas ou em área total e incorporação por métodos convencionais de gradagem e subsolagem ou através do preparo profundo canterizado e tráfego controlado.

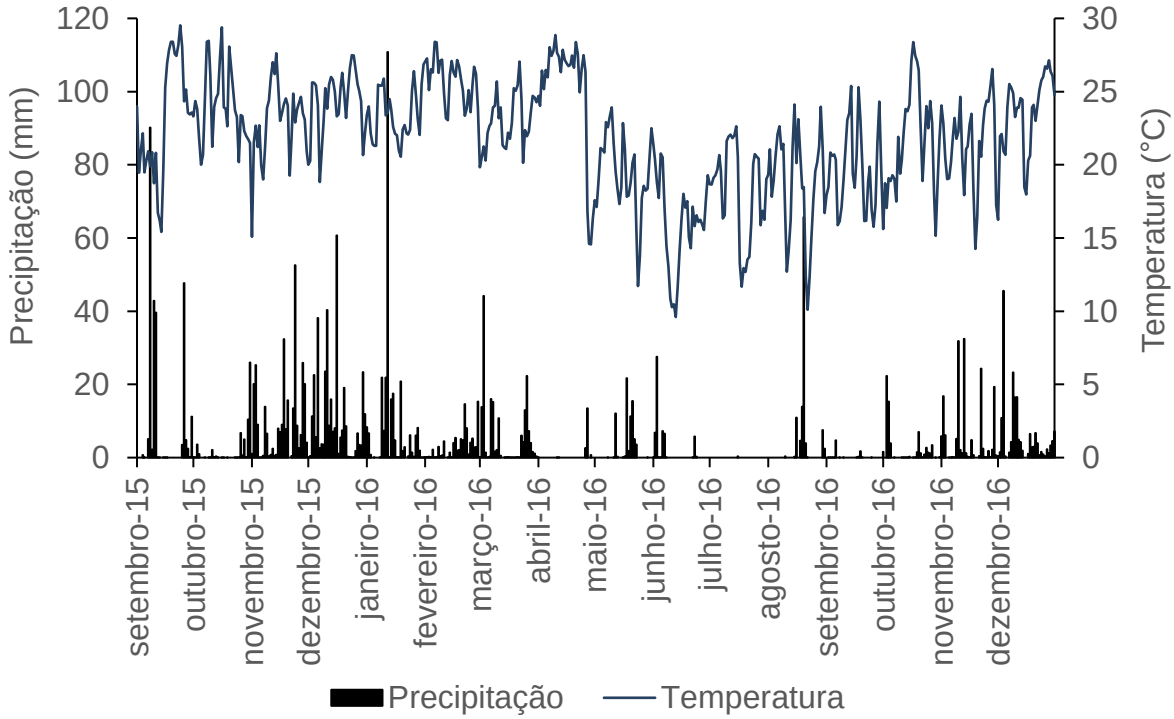
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização climática das áreas experimentais

Foram instalados dois experimentos no mês de setembro de 2015 em áreas comerciais de plantio de cana-de-açúcar em solos arenosos e de baixa fertilidade natural, pertencentes as usinas: Zilor, no município de Borebi - SP e Raízen, no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP. O ambiente de produção de ambos locais é classificado como restritivo e de baixo potencial de produção.

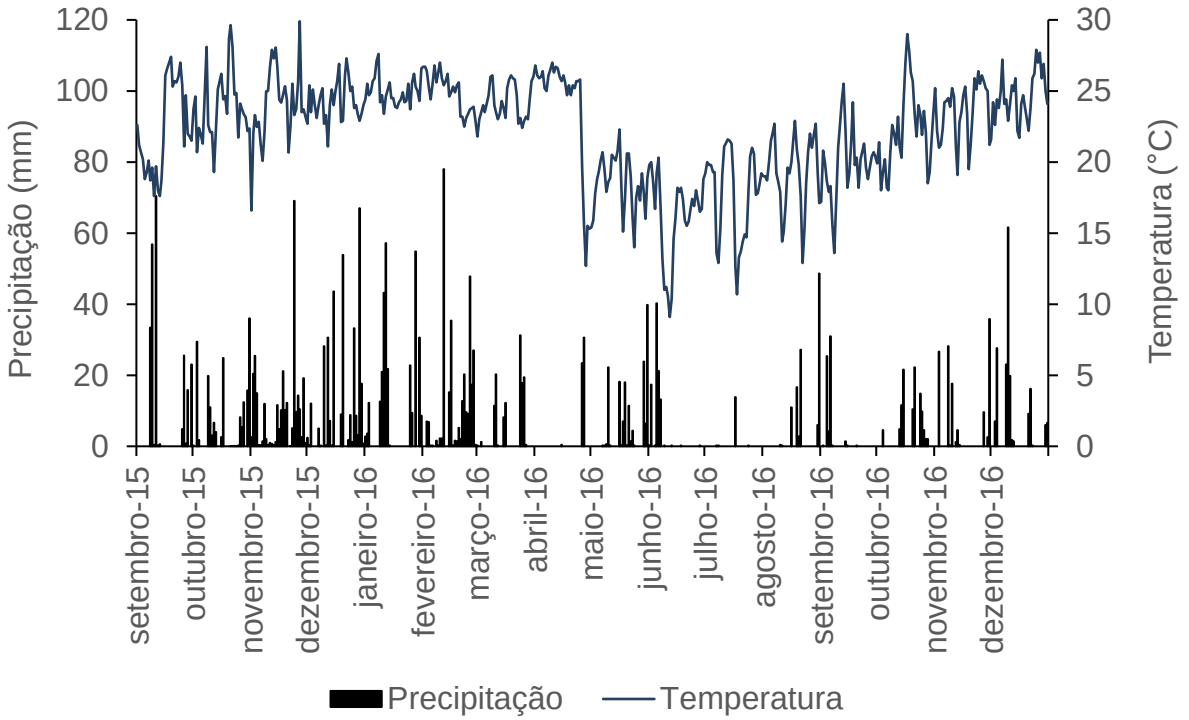
A precipitação pluvial e temperaturas médias, registradas durante a condução dos experimentos, nos anos agrícolas de 2015/2016, em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo - SP, encontram-se nas figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas médias, registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2015/2016, Borebi,SP – Brasil, 2018



Fonte: SISDAGRO (2019).

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



Fonte: SISDAGRO (2019).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

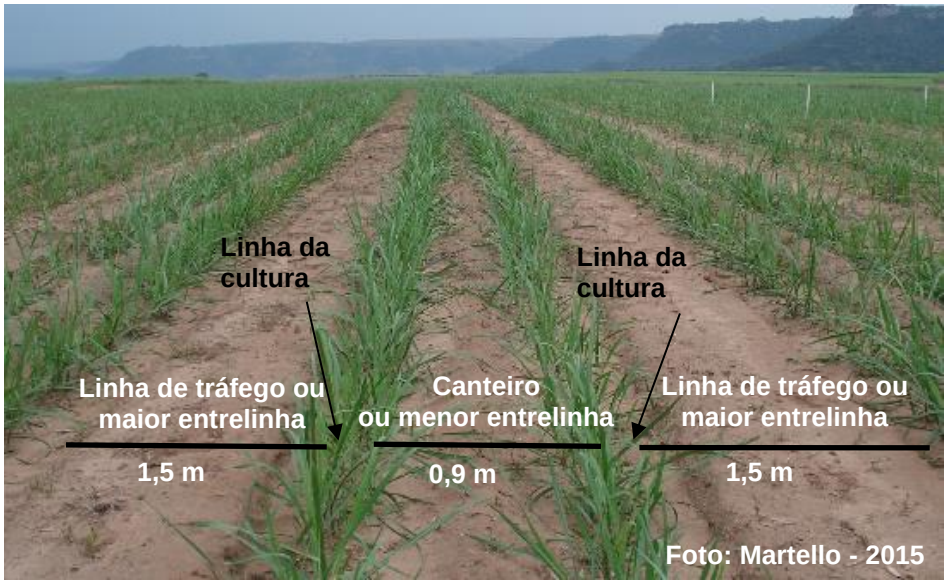
O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi blocos casualizados composto por 6 tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por duas doses de calcário (0 - sem aplicação e 1 - dose recomendada) e três sistemas de preparo do solo [(C) - Preparo Convencional – padrão/controle; (PP) - Preparo Profundo; (PPM) - Preparo Profundo Modificado.

Os sistemas de preparo (tratamentos) foram caracterizados pelas seguintes operações: C – preparo com grade aradora, subsolagem e grade média ou niveladora e aplicação de calcário em área total antes da primeira operação de revolvimento do solo; PP – preparo profundo com haste subsoladora e enxada rotativa em metade da área de cultivo (50%) e aplicação de calcário em área total antes da operação de revolvimento do solo; PPM – preparo profundo do solo com haste subsoladora e enxada rotativa em metade da área de cultivo (50%) e aplicação de calcário concentrada em faixas (modificado). No sistema de preparo profundo modificado com

aplicação de calcário (PPM1), foi aplicado 3/4 da dose recomendada de calcário na superfície do solo apenas na faixa a ser revolvida (1,20 m de largura) com auxílio de equipamento de distribuição Sollus®, desprovido dos pratos responsáveis pela distribuição centrífuga e incorporado com haste subsoladora e enxada rotativa. E 1/4 da dose foi aplicada em filetes através de canaletas situadas atrás da haste subsoladora com saídas á 0,4 m e 0,8 m de profundidade. A definição da menor dose em profundidade foi devido ao menor volume corrigido, visto que a aplicação ocorreu em filetes e de forma concentrada.

A área útil das unidades experimentais (parcelas) foi constituída de 240 m^2, ou seja, 10 linhas de 20 m de comprimento no espaçamento alternado de 0,90 x 1,5 m entre linhas, sendo o maior (1,50 m) denominado linha de tráfego ou maior entrelinha e o menor (0,90 m) representado pelos dois sulcos de plantio (canteiro) ou a menor entrelinha (Figura 3).

Figura 3 - Espaçamento alternado (0,9 m x 1,5 m) em áreas de cana-de-açúcar. SP – Brasil, 2015



As áreas selecionadas para instalação dos experimentos foram escolhidas com base nos resultados das análises de solo retiradas previamente a instalação dos experimentos, de forma que apresentassem necessidade de calagem.

3.3 Caracterização dos atributos químicos e textura do solo

Em maio de 2015 foram coletadas amostras para a caracterização química e granulométrica, dos solos das áreas experimentais (Figura 4).

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, 2015



Para a caracterização inicial, as amostras foram retiradas, com trado tipo holandês (Figura 4), sendo oito amostras representativas em cada área experimental, nas camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,8-1,0 m, a fim de representar os atributos químicos do solo (Tabela 1).

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

Local	Solo	Camada	Areia	Argila	Silte	Textura
		m		g dm^{-3}		
Borebi	LVA	0,0-0,2	855	125	20	Franco arenosa
	LVA	0,2-0,4	836	145	19	Franco arenosa
	LVA	0,4-0,6	822	157	22	Franco arenosa
	LVA	0,6-0,8	796	180	24	Franco arenosa
	LVA	0,8-1,0	788	191	22	Franco arenosa
SCRP	LVA	0,0-0,2	837	145	18	Franco arenosa
	LVA	0,2-0,4	807	166	27	Franco arenosa
	LVA	0,4-0,6	778	194	27	Franco arenosa
	LVA	0,6-0,8	795	182	24	Franco arenosa
	LVA	0,8-1,0	780	196	24	Franco arenosa

Fonte: EMBRAPA (2013).

O solo de ambos os experimentos foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco arenosa (Tabela 1). E os resultados da caracterização inicial dos atributos químicos do solo antes da implantação dos tratamentos para o Latossolo Vermelho-Amarelo estão descritos na Tabela 2.

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

Local	Solo	Camada (m)	pH $CaCl_2$	M.O.	P_{resina}	S	Al^{3+}	H + Al	K	Ca	Mg
				g dm^{-3}	mg dm^{-3}		----------$mmol_c$ dm^{-3}----------				
Borebi	LVA	0,0-0,2	4,5	11	7	7	2	22	0,8	13	2
	LVA	0,2-0,4	4,3	7	3	15	3	18	0,5	9	2
	LVA	0,4-0,6	4,0	6	2	51	6	19	0,4	5	1
	LVA	0,6-0,8	4,1	5	2	73	5	19	0,9	4	2
	LVA	0,8-1,0	4,2	5	4	72	4	18	0,6	5	2
SCRP	LVA	0,0-0,2	4,6	14	3	4	4	30	0,6	19	4
	LVA	0,2-0,4	4,6	10	3	6	4	29	0,4	12	3
	LVA	0,4-0,6	4,1	6	2	19	10	35	0,3	4	2
	LVA	0,6-0,8	4,0	5	1	40	12	35	0,2	3	2
	LVA	0,8-1,0	4,1	5	1	56	11	35	0,2	3	2

Local	Solo	Camada (m)	SB	CTC	V%	m%	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			--$mmol_c$ dm^{-3}--				----------mg dm^{-3}---------				
Borebi	LVA	0,0-0,2	16	38	42	10	41	1,3	1,6	2,2	0,1
	LVA	0,2-0,4	11	29	38	20	28	1,3	0,6	0,8	0,1
	LVA	0,4-0,6	6	25	24	50	16	1,0	0,2	0,3	0,1
	LVA	0,6-0,8	7	26	27	41	11	0,8	0,2	0,2	0,1
	LVA	0,8-1,0	8	25	31	33	9	0,6	0,3	0,1	0,1
SCRP	LVA	0,0-0,2	23	53	43	15	41	0,5	1,3	0,2	0,2
	LVA	0,2-0,4	16	45	35	20	34	0,5	0,6	0,1	0,2
	LVA	0,4-0,6	6	41	14	63	21	0,5	0,4	0,1	0,1
	LVA	0,6-0,8	4	39	10	75	15	0,4	0,5	0,1	0,1
	LVA	0,8-1,0	5	40	13	67	13	0,3	0,6	0,1	0,1

3.4 Instalação e condução do experimento

Baseado nos resultados da análise do solo (Tabela 2), foram calculadas as doses de calcário utilizando as recomendações propostas por Spironello et al. (1996), conforme equação:

$$NC = CTC \times (V_2 - V_1) / 10 \times PRNT$$

Onde:

NC = Necessidade de calagem, em Mg ha^{-1}

V_2 = Saturação por bases desejada - 70% para a cana-de-açúcar

V_1 = Saturação por bases atual

CTC = capacidade de troca de catiônica, expressa em $mmol_c\ dm^{-3}$

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado.

Para a caracterização do poder relativo de neutralização total do calcário (PRNT) foram coletadas amostras e enviadas para laboratório onde foram determinads os teores de CaO, MgO, reatividade, poder de neutralização e PRNT do calcário, descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização do calcário utilizado nos experimentos, SP – Brasil, 2015

Solo	CaO	MgO	Reatividade	PN*	PRNT**
	----------%----------				
Latossolo Vermelho-Amarelo	30	23	80	103	90

*PN = Poder de neutralização ou equivalente em $CaCO_3$. **PRNT = Poder relativo de neutralização total do calcário.

Para o cálculo da quantidade de calcário a ser aplicada foi considerado o somatório das quantidades recomendadas para as camadas 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m. As doses de calcário utilizadas em cada tratamento estão descritas na Tabela 4.

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

Preparo do solo	Preparo convencional	Preparo Profundo	Preparo profundo Modificado	
Aplicação de calcário	Superficial em área total	Superficial em área total	*Superficial em faixa	**Profunda em filetes
Local	Dose de calcário			
	---------- Mg ha^{-1} ----------			
Sem Aplicação	0,0	0,0	0,0	0,0
Borebi	1,5	1,5	1,1	0,4
SCRP	2,0	2,0	1,5	0,5

*Aplicação superficial de calcário em faixas. **Aplicação através da haste subsoladora do equipamento de preparo com orfícios de saída a 0,40 e 0,80 m de profundidade.

3.5 Aplicação dos tratamentos

Após a definição das doses de calcário e antes do preparo do solo, em setembro de 2015, foram aplicadas em cada experimento as quantidades de calcário citadas na Tabela 4. Para a aplicação superficial em área total foi utilizado o equipamento Nevoeiro (Figura 5), tipo cocho com distribuição tipo colmeia, a fim de proporcionar uniformidade na aplicação. Para isso, o equipamento foi calibrado através pesagem das quantidades distribuídas em 20 metros de acordo com as doses necessárias para cada tratamento.

Figura 5 - Aplicação superficial de calcário em área total com equipamento Nevoeiro®, SP – Brasil, 2015



Para a aplicação superficial concentrada no canteiro, foi utilizado o equipamento de distribuição Sollus® (Figura 6), porém para que a aplicação ficasse concentrada no canteiro foram retirados os pratos responsáveis pela distribuição centrífuga. Da mesma forma que para a aplicação em área total, o equipamento foi calibrado com pesagem das quantidades distribuídas em 20 metros de acordo com as doses necessárias para cada tratamento.

Figura 6 - Aplicação superficial de calcário no canteiro com equipamento Sollus®, SP – Brasil, 2015



Após a aplicação, procedeu-se com a incorporação do calcário através dos equipamentos utilizados no preparo do solo de acordo com cada tratamento.

O preparo convencional foi realizado em área total com grade pesada (Figura 7A), subsolador (Figura 7B) e grade niveladora (Figura 7C).

Figura 7 - Preparo do solo convencional com grade pesada (A) subsolador (B) e grade leve (C), SP – Brasil, 2015



Nos tratamentos com preparo profundo foi realizada a operação com a haste subsoladora e enxada rotativa utilizando-se equipamento Penta® (Figura 8A) apenas no canteiro (preparo em faixas) (Figura 8B).

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



Vale ressaltar que no tratamento PPM, o preparo foi realizado da mesma forma que para o tratamento PP, porém, a aplicação de calcário foi diferente. Para este tratamento a calagem foi realizada em faixas de 1,20 m de largura (metade da área). Sendo 3/4 da dose de calcário aplicada superficialmente e 1/4 da dose em profundidade através das canaletas presentes atrás da haste subsoladora do equipamento e, de acordo com as quantidades definidas para cada tratamento (Tabela 4).

Para os dois experimentos, na dessecação da rebrota da cana-de-açúcar foi realizada a aplicação de glifosato na dose de 5 L ha^{-1}. Também foi aplicado, juntamente ao preparo de solo, 1 Mg ha^{-1} de gesso agrícola em ambos locais.

Após o preparo de solo e aplicação do calcário, em Borebi, foi realizado o plantio manual da cana-de-açúcar (Figura 9) em novembro de 2015, utilizando-se a variedade CV7870. Adotou-se como padrão o plantio de 18 gemas viáveis m^{-1}, a uma profundidade de 30-35 cm. Foi realizada a aplicação no fundo do sulco de plantio de 500 kg ha^{-1} do formulado 04-30-10, e sobre os toletes, 250 g ha^{-1} do inseticida fipronil, 500 mL ha^{-1} do fungicida Comet® (i.a Piraclostrobina), 4,0 L ha^{-1} do inseticida-acaricida Marshal Star® (i.a Carbosulfano) e aos 60 DAP (dias após plantio) foi aplicado 180 kg ha^{-1} de KCl (00-00-60) e 2,0 L ha^{-1} do herbicida Dual Gold® (i.a S-metolacloro).

Da mesma forma, em Santa Cruz do Rio Pardo, em novembro de 2015, após o preparo de solo e aplicação do calcário, foi realizado o plantio manual da cana-de-açúcar, utilizando-se a variedade RB92579. Adotou-se como padrão o plantio de 18 gemas viáveis m^{-1}, a uma profundidade de 30-35 cm. Foi realizada a aplicação de 500 kg ha^{-1} do formulado 10-25-25 no fundo do sulco do plantio e também foi aplicado sobre os toletes 1,5 L ha^{-1} do inseticida tiametoxam (141 g L^{-1}) + lambda-cialotrina

(106 g L^{-1}) (Engeo Pleno®), 0,25 L ha^{-1} do fungicida azoxistrobina (200 g L^{-1}) + ciproconazol (80 g L^{-1}) (Priori Xtra®) e 200 g ha^{-1} do nematicida inoculante *Bacillus subtilis* (200 g Kg^{-1}) + *Bacillus licheniformis* (200 g Kg^{-1}) (Quartzo®).

Em ambos experimentos, aos 60 DAP, foi aplicado 100 kg ha^{-1} do fertilizante mineral misto granulado, composto por 1,5 % de Ca, 3% de S, 3% de B, 1% de Cu, 2% de Mn, 0,2 % de Mo e 10 % de Zn.

Figura 9 - Plantio manual da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Borebi, SP – Brasil, 2015



3.6 Avaliações

3.6.1 Atributos químicos do solo

Aos 30 dias após a colheita, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m de profundidade na menor entrelinha (0,90 m - entrelinha não trafegável ou canteiro) e na maior entrelinha (1,50 m - entrelinha trafegável ou linha de tráfego), para as determinações dos atributos

químicos do solo. As análises químicas de solo foram efetuadas seguindo os procedimentos descritos por Raij et. al., 2001. A determinação de pH foi realizada em $CaCl_2$ 0,01mol L^{-1}; As análises de P, K, Ca e Mg foram realizadas através de resina trocadora de íons, sendo o P determinado por espectrofotometria, a leitura de K foi realizada por fotometria de chama, e a determinação de Ca e Mg realizada por espectrofotometria de absorção atômica; H+Al: realizada por leitura do pH SMP; B: extraído em água quente e determinado por colorimetria pelo método da azometina-H; Cu, Fe, Mn e Zn: extraídos pelo método do DTPA em pH 7,3 e determinação por espectrofotometria de absorção atômica. A soma de bases (SB) foi calculada pela soma de Ca + Mg + K; CTC: pela soma de SB + H + Al; e a saturação por bases (V%) foi calculada pela equação (SB/CTC) x 100. O enxofre foi extraído com fosfato monocálcico, sendo a quantificação feita por turbidimetria, provocada por $BaSO_4$ formado pela reação do $BaCl_2.2H_2O$ com o SO_4^{2-}, extraído das amostras de solo (VITTI, 1988).

3.6.2 Diagnose foliar nutricional

No período de maior crescimento das plantas em março de 2016, nos dois experimentos, foram realizadas coletas de folhas para avaliação do estado nutricional, coletando-se a primeira folha a partir do ápice da planta, onde a bainha é totalmente visível (folha+1) de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), em 30 plantas por parcela, no estágio de maior vegetação da cana-de-açúcar, desprezando-se a nervura central e coletando o terço médio da folha conforme metodologia descrita por Spironello et al. (1996).

Após coletadas, as folhas foram colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçado, com temperatura próxima a 70°C, até atingir massa constante. A extração e determinação dos teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B), seguiram os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997).

3.6.3 Parâmetros biométricos e tecnológicos da cana-de-açúcar

3.6.3.1 Comprimento, diâmetro e número de colmos

Próximo à fase de colheita dos experimentos, foi determinado o comprimento de colmos (Figura 8A) por meio de medição, com trena graduada em metros, da distância entre o solo até a região do ponto de quebra do colmo. Foi utilizado paquímetro digital para a determinação do diâmetro do colmo (Figura 18B), medindo-se o terceiro entrenó acima do solo nas mesmas plantas utilizadas para a avaliação do comprimento. O número de colmos final foi determinado pela contagem de colmos inseridos em duas linhas centrais dentro de cada parcela totalizando 40 m, e, posteriormente, extrapolados por hectare.

Figura 10 - Medição do comprimento do colmo com trena graduada (A) e do diâmetro do colmo com paquímetro digital (B). Borebi, SP - Brasil, 2016





3.6.3.2 Parâmetros tecnológicos

Para a avaliação dos parâmetros tecnológicos nos dois experimentos, foram coletados 10 colmos por parcela e submetidos ao desponte na altura da gema apical (ponto de quebra), Figura 8A. Em seguida essas amostras foram identificadas e enviadas para o laboratório das empresas, para análise dos seguintes parâmetros: pureza do caldo (%), pol da cana (%), fibra (%), teor de sólidos solúveis totais (%), açúcares redutores do caldo (AR%), açúcar total recuperável (ATR) as quais seguiram metodologia descrita por Fernandes (2003).

3.6.3.3 Produtividade de colmos e açúcar

Anteriormente à colheita dos experimentos, foram definidas, dentro da área útil das parcelas, duas linhas de plantas e, dentro destas, 2 m sequencias para as avaliações de massa do colmo. Realizou-se a pesagem dos colmos inseridos nos 4 m lineares (Figura 11A e B) e a produtividade de colmos foi calculada através do produto da pesagem e do número de colmos por metro e extrapolada para a obtenção da produtividade em toneladas de cana por hectare (TCH). A produtividade de açúcar (Mg ha^{-1}) foi calculada pelo produto da Pol % Cana com a produtividade de colmos em Mg ha^{-1}.

Figura 11 - Coleta de colmos para análises tecnológicas (A) e pesagem dos colmos (B). Borebi, SP – Brasil, 2016



A colheita dos experimentos em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP) foi realizada em julho e novembro de 2016 respectivamente. Na área experimental de Borebi, em junho de 2016, houve ocorrência de geada severa e fez-se necessário a colheita antecipada do experimento, aos 7 meses após o plantio.

3.7 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,10$) utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2014).

Para os fatores calagem e sistemas de preparo do solo, as médias foram comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,10$) e para as interações significativas, foram aplicados os mesmos métodos de análise e comparação supracitados.

4 RESULTADOS

4.1 Atributos químicos do solo

As características químicas do perfil do solo, de acordo com a amostragem realizada nas entrelinhas do canteiro e do tráfego após colheita da cana planta em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), e a probabilidade de F estão apresentadas em função da calagem e dos sistemas de preparo do solo (Tabela 5 e Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17).

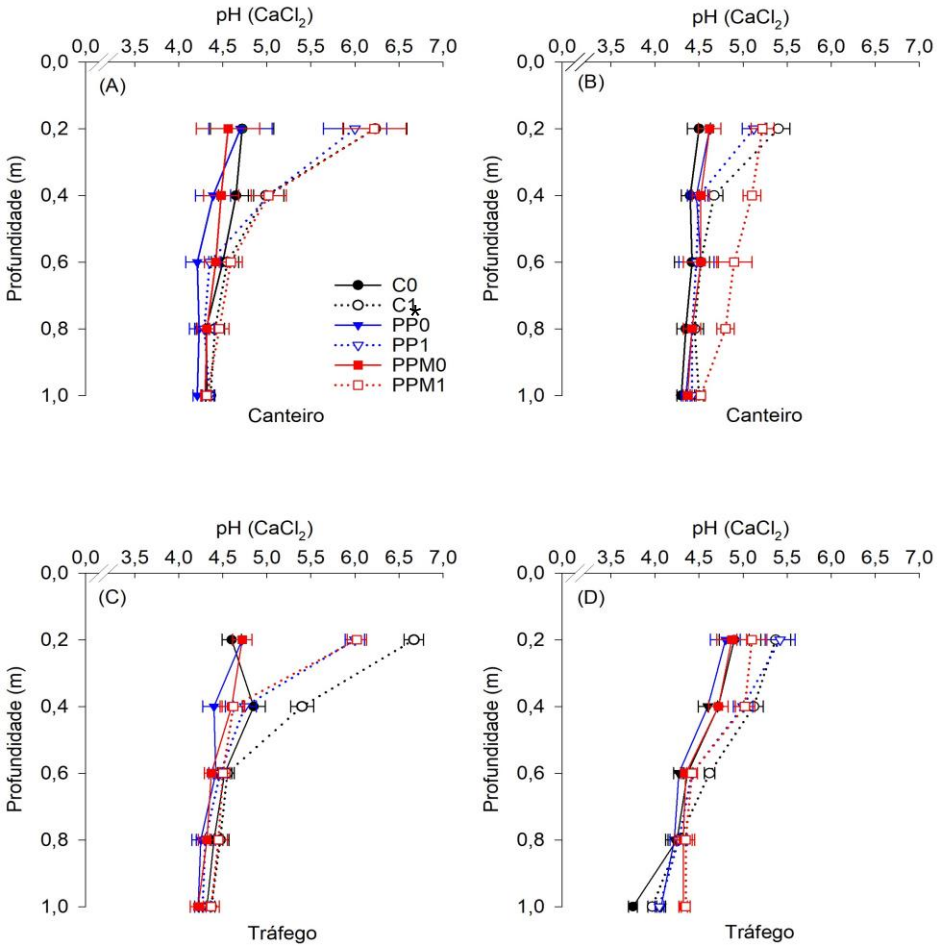
Tabela 5 - Probabilidade de F para os atributos químicos do solo após a colheita em função de calagem e sistemas de preparo, nas camadas 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m de profundidade e nas entrelinhas do canteiro e tráfego respectivamente. Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2016

Atributo	Local	Entrelinha	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
pH	Borebi	Canteiro	0,0001*	0,0079	0,0553	0,3503	0,0438
		Tráfego	0,0001	0,0001	0,2085	0,2127	0,2599
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,1895	0,0063	0,0017
		Tráfego	0,0001	0,0009	0,0005	0,7968	0,0001
Ca	Borebi	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0009	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0003	0,0001	0,0003	0,0028
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0107	0,0005	0,0001	0,0001
Mg	Borebi	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,4588	0,0001	0,0001	0,0001
V%	Borebi	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0001	0,0001	0,0013	0,0001
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007
		Tráfego	0,0001	0,0043	0,0098	0,0095	0,0001
m%	Borebi	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0292	0,0001	0,0001	0,0001
CTCe	Borebi	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0011	0,0001	0,0009	0,0255
	SCRP	Canteiro	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		Tráfego	0,0001	0,0500	0,0001	0,5481	0,0505

*Valores da probabilidade de F, teste LSD.

De modo geral, tanto no canteiro quanto no tráfego, os sistemas de preparo do solo combinados com a calagem (PP1 e PPM1) e o controle com calagem (C1) resultaram em maiores valores de pH do solo quando comparado com o controle sem calagem (C0) nas camadas superficiais do solo em ambos locais (Figura 12).

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)

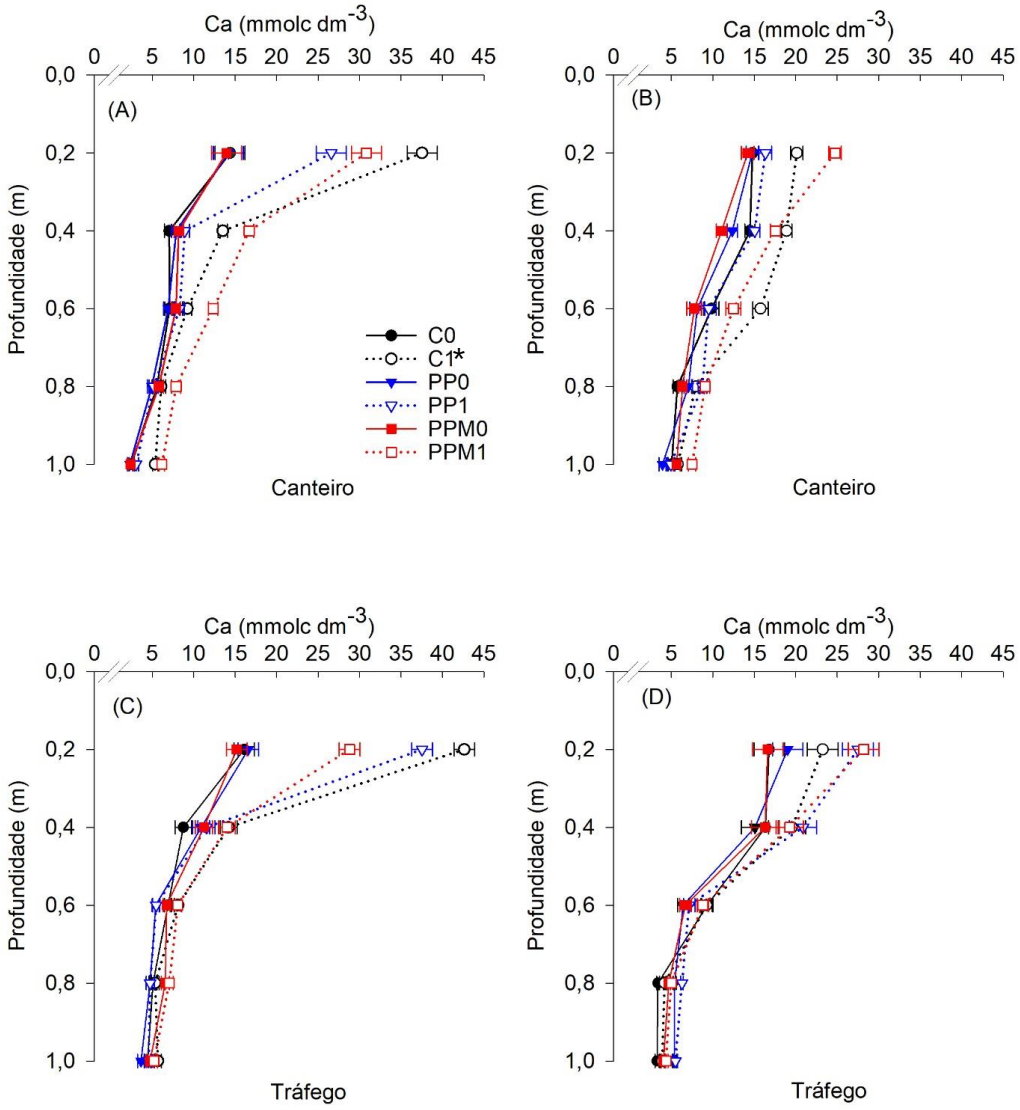


*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

O tratamento PPM1 ainda promoveu um aumento do pH nas camadas mais profundas no canteiro em SCRP, enquanto que os outros tratamenos resultaram em

valores similares de pH tanto na área de tráfego em Borebi quanto nas áreas de canteiro e tráfego em SCRP (Figura 12).

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

Efeitos similares dos tratamentos no pH foram observados para os teores de Ca e Mg trocáveis no solo (Tabela 5 e Figuras 13 e 14). As aplicações de calcário no

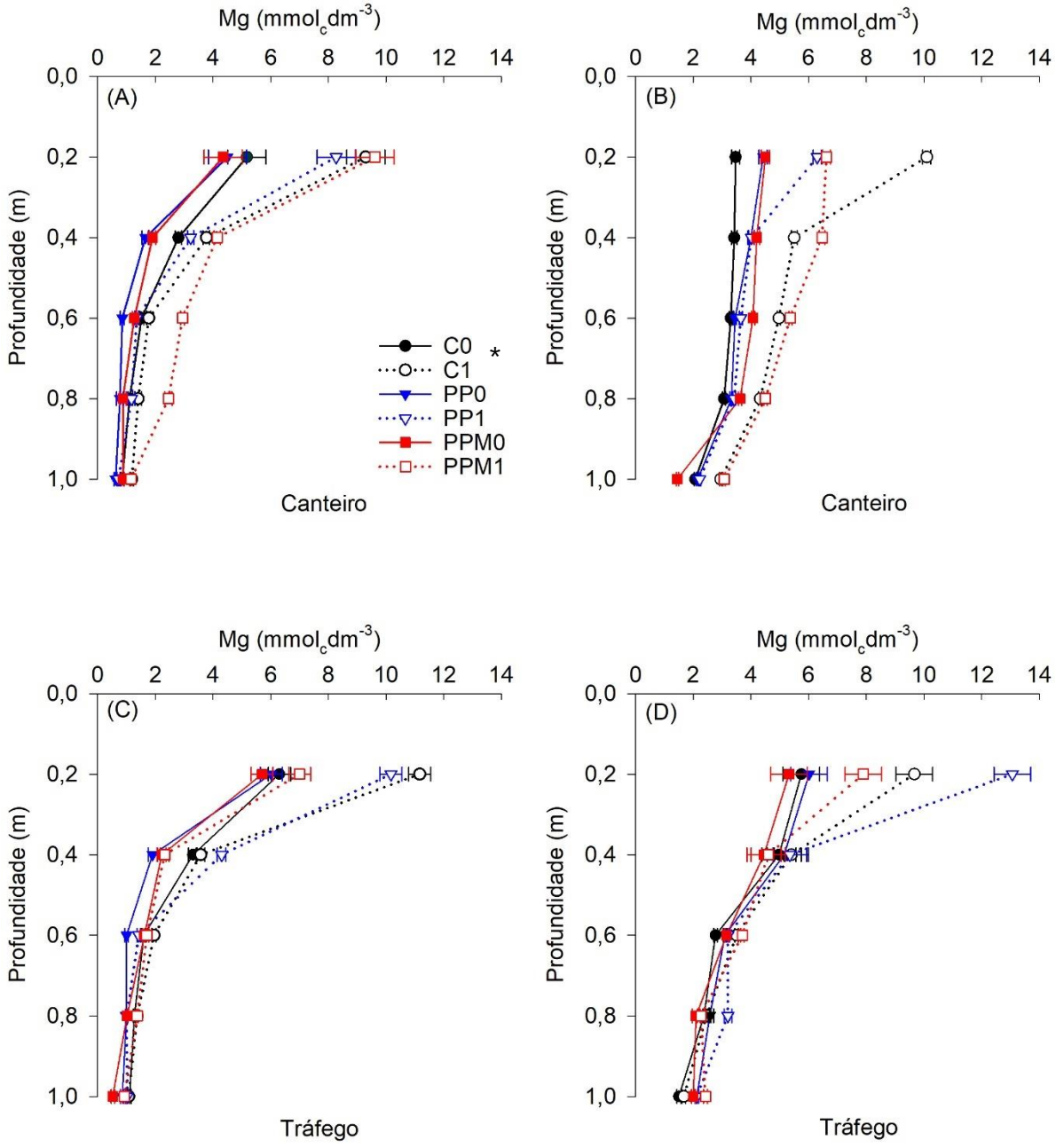
controle ou combinadas com os sistemas de preparo do solo profundo proporcionaram alterações nos teores de Ca e Mg trocáveis do solo nas entrelinhas do canteiro e tráfego em Borebi e SCRP. Nos dois locais, os teores de Ca e Mg trocáveis no solo aumentaram nas camadas de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m nos tratamentos C1, PP1 e PPM1 no canteiro (Figuras 13 e 14); enquanto que no tráfego, apenas o C1 e o PP1 resultaram em aumento do Mg trocável nas camadas superficiais do solo (Figura 14). O tratamento PPM1 promoveu maiores teores de Ca e Mg trocável no canteiro ao longo das camadas do solo (0,0-1,0 m) para Borebi e SCRP, respectivamente (Figura 14).

Como consequência das alterações de pH e aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis, a calagem promoveu efeito positivo no solo, aumentando os valores de V% do solo nas camadas superficiais no canteiro em ambos os locais (Figura 15). Os maiores valores de V% foram obtidos para o tratamento PPM1 no canteiro, embora não tenha sido observado um padrão de resposta entre os tratamentos para os valores de V% do solo nas camadas de 0,6-1,0 m em Borabi e SCRP (Figura 15).

Os tratamentos influenciaram os valores de m% do solo nas entrelinhas de canteiro e tráfego avaliadas após a colheita da cana planta em ambos locais (Tabela 5). Os tratamentos que receberam o calcário, independente dos sistemas de preparo do solo, tiveram os valores de m% diminuídos no canteiro, principalmente nas camadas superficiais. O menor valor foi observado no tratamento PPM1 na área do canteiro. Na área de tráfego, os mesmos tratamentos (C1, PP1 e PPM1) promoveram a redução dos valores de m% em superfície (0,0-0,20 m), sendo esta diferença diminuida nas camadas mais profundidas dos solo (Figura 16).

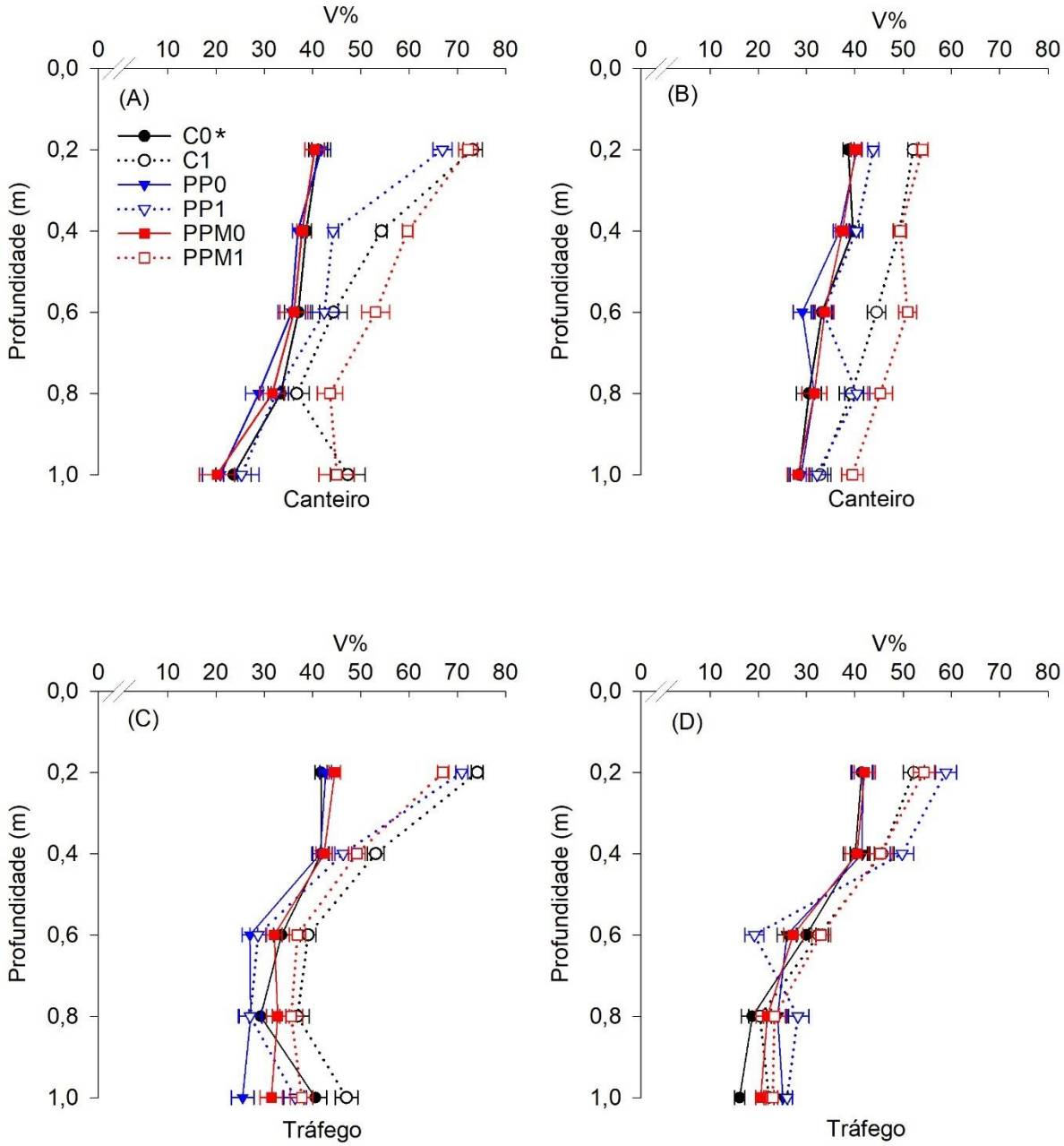
Os valores de CTCe do solo foram afetados significativamente pelos tratamentos (Figura 17). A calagem proporcionou aumento da CTCe do solo em superfície nas entrelinhas do canteiro e tráfego, principalmente em Borebi. No área de tráfego, a calagem e os sistemas de preparo não influenciaram os valores de CTCe do solo em ambos os locais (Figura 17).

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)



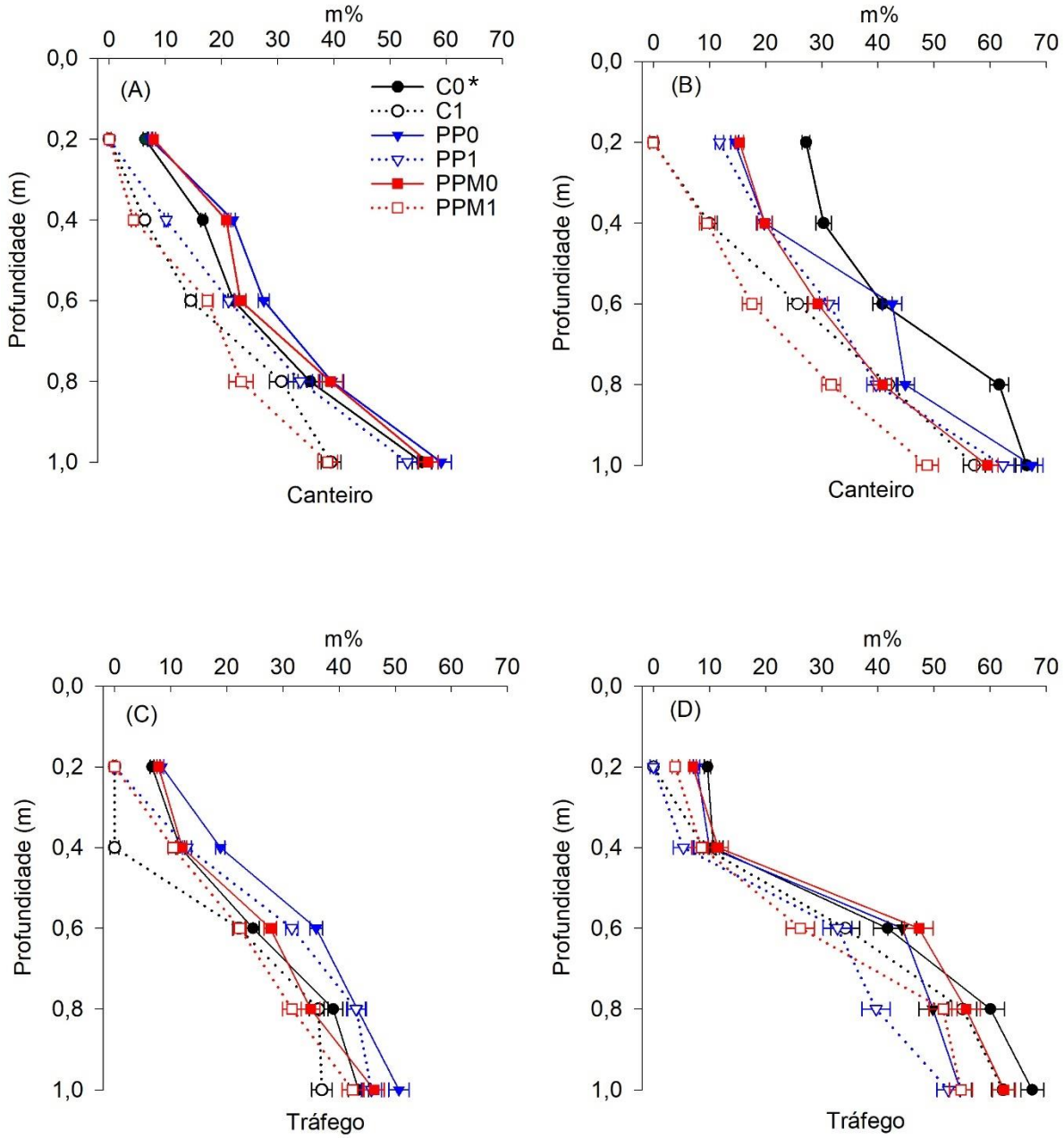
*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)



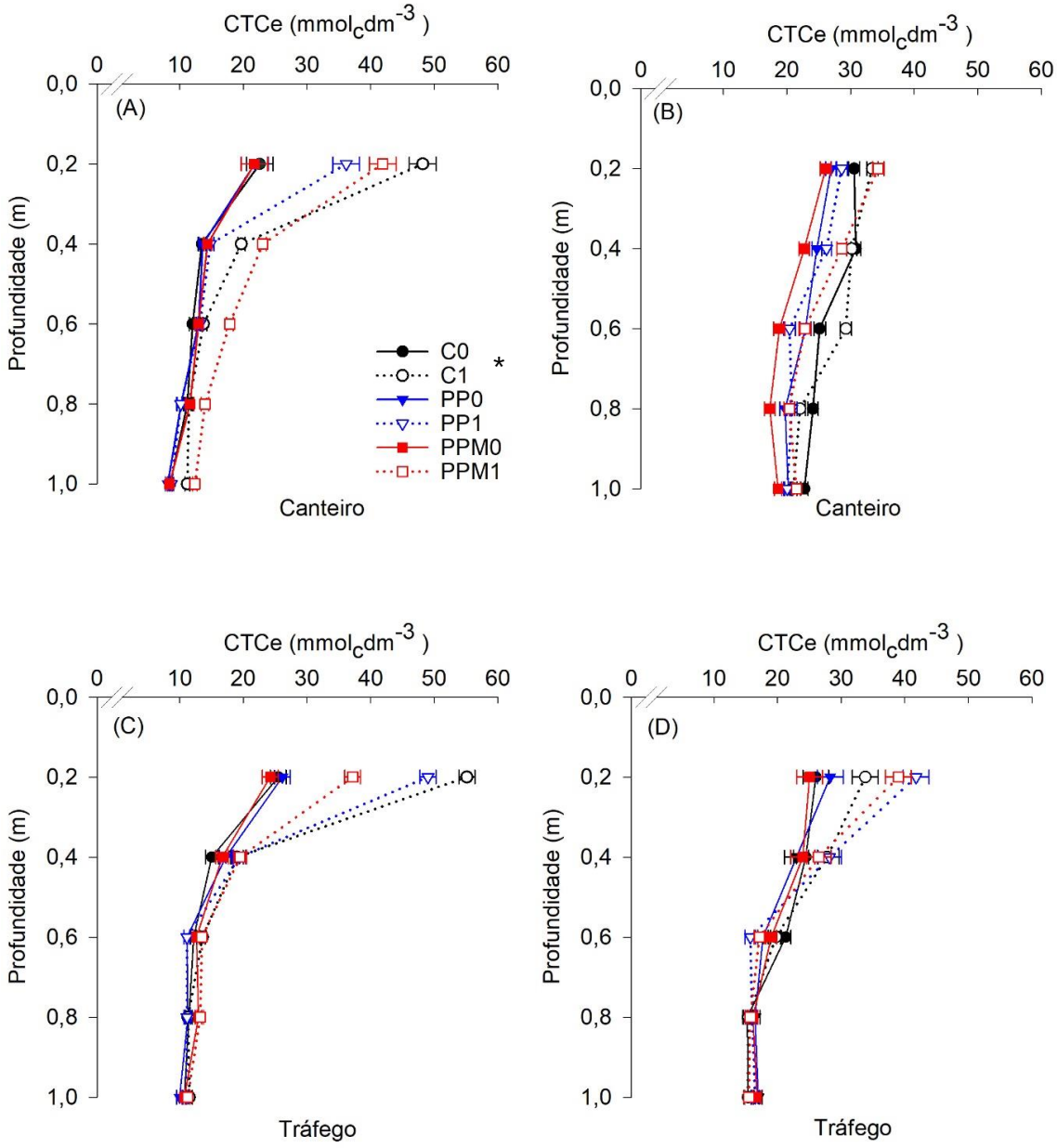
*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

4.2 Diagnose foliar nutricional

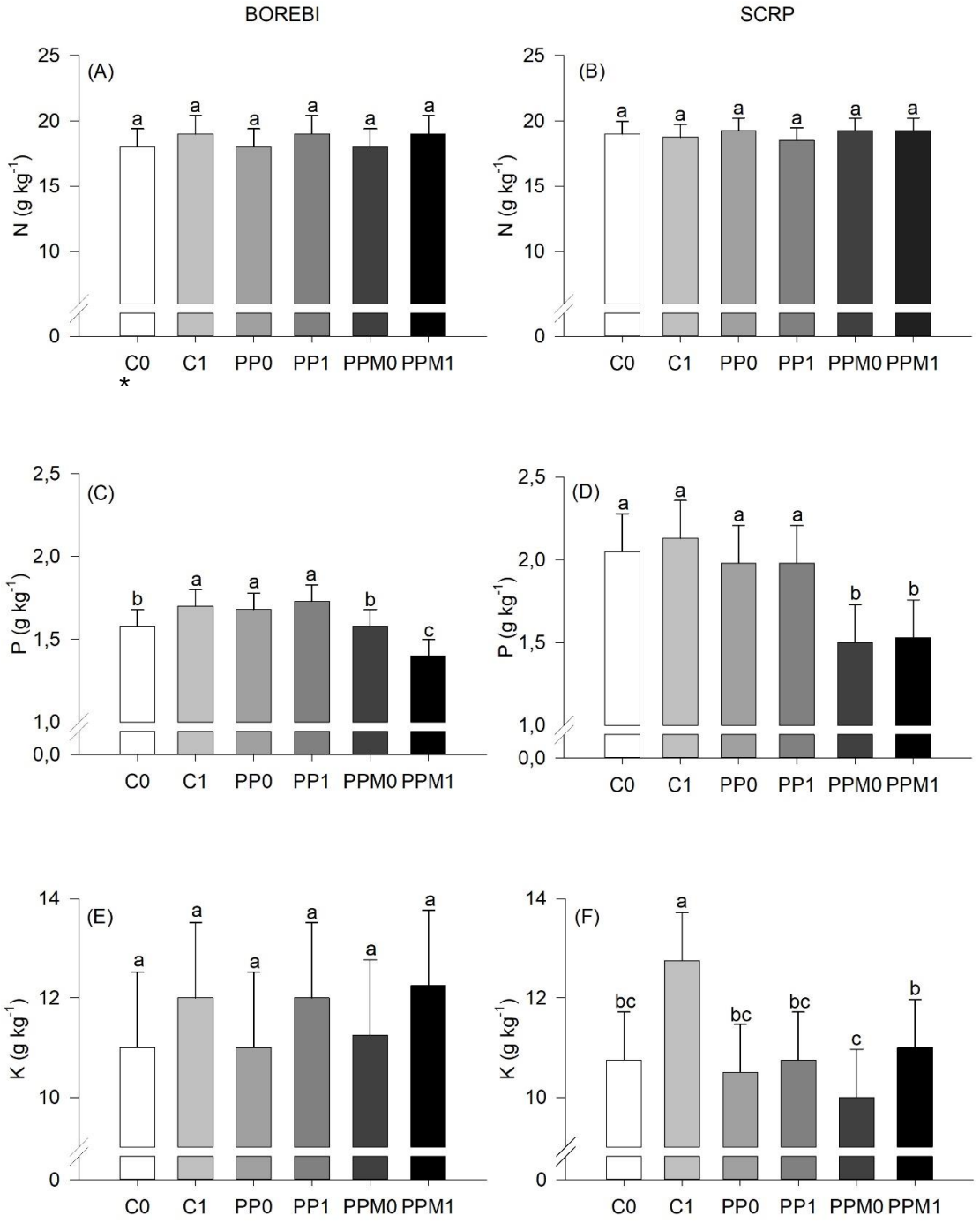
Na Tabela 6 estão contidos os resultados de probabilidade de F dos teores foliares de nutrientes em função da calagem e dos sistemas de preparo do solo em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP) – SP.

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

Local	Probabilidade de F				
	N		P		K
Borebi	0,0972*		0,0004		0,1546
SCRP	0,6546		0,0005		0,0035
	Ca		Mg		S
Borebi	< 0,0001		< 0,0001		0,2107
SCRP	< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Borebi	< 0,0001	< 0,0001	0,0026	< 0,0001	< 0,0001
SCRP	0,0065	0,0050	0,0571	0,2083	0,0043

*Valores da probabilidade de F, teste LSD.

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)



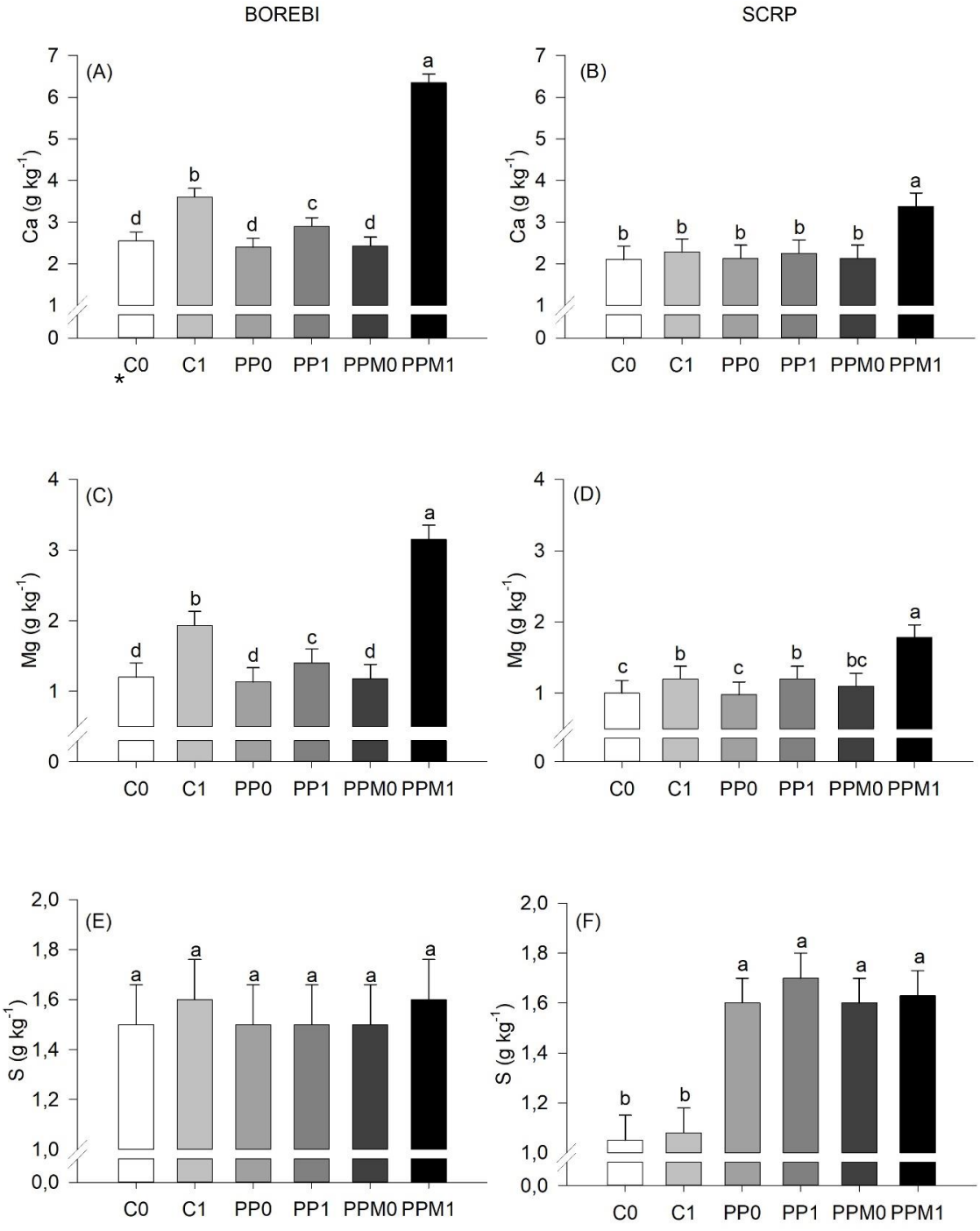
*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

A calagem e os sistemas de preparo do solo influenciaram os teores foliares de P, Ca, Mg e dos micronutrientes em Borebi; enquanto que, em SCRP, aumento nos teores foliares de todos os nutrientes foram observados em função dos tratamentos, com exceção do N, Zn e Mn (Figuras 18, 19 e 20).

O teores foliares de P, Ca e Mg foram influenciados pelos tratamentos em ambos locais e, os teores de K e S foram diferentes entre os tratamentos apenas em SCRP (Figuras 18 e 19). Os maiores teores foliares de P foram obtidos nos tratamentos C1, PP0 e PP1 e os menores valores em PPM0 e PPM1 (Figura 18). Em contrapartida, os maiores teores Ca e Mg presentes nas folhas foram observados no tratamento PPM1 em ambos locais (Figura 19). Apenas em SCRP, a concentração foliar de K aumentou significativamente no tratamento C1 e reduziu no tratamento PPM0, e a concentração foliar de S teve aumento nos tratamentos PP0, PP1, PPM0 e PPM1 e diminuição nos tratamentos controle C0 e C1.

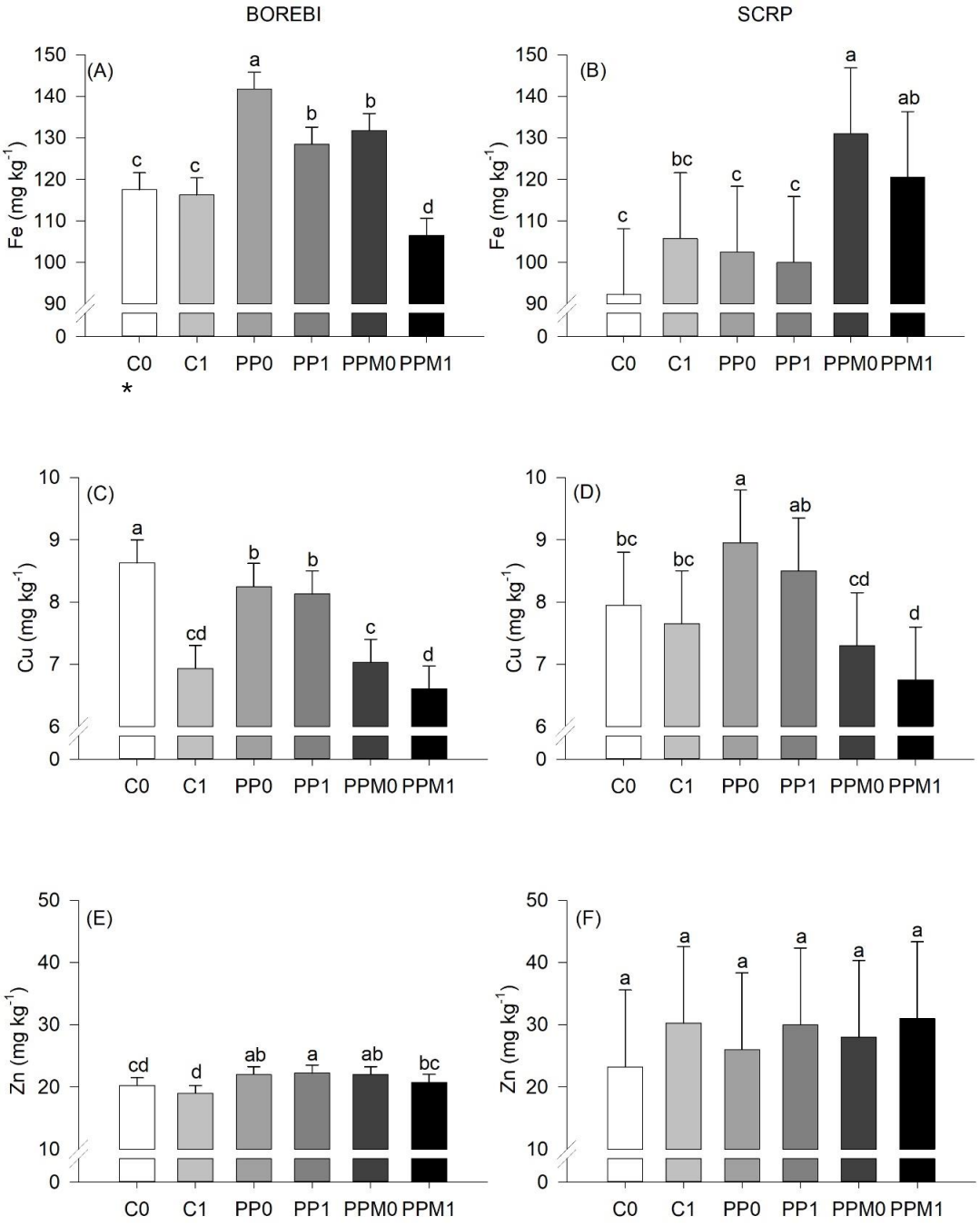
Para os micronutrientes, não houve um padrão no efeito dos tratamentos entre os locais de amostragem (Figuras 20 e 21). Entretanto, maiores teores foliares de micronutrientes foram obtidos nos tratamentos com sistemas de preparo profundo do solo. Para os teores foliares de Fe e Cu, os tratamentos PP0 e PP1 resultaram em aumento quando comparados aos demais tratamentos em Borebi e SCRP. Os teores foliares de Zn e Mn também foram positivamente influenciados pelos tratamentos com sistemas de preparo profundo do solo em Borebi, sendo observado maiores teores para os tratamentos PP0, PP1 e PPM0 (Figuras 20 e 21). Para os teores foliares de B, os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos que receberam calagem: C1, PP1 e PPM1 em Borebi e, C1 em SCRP.

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)



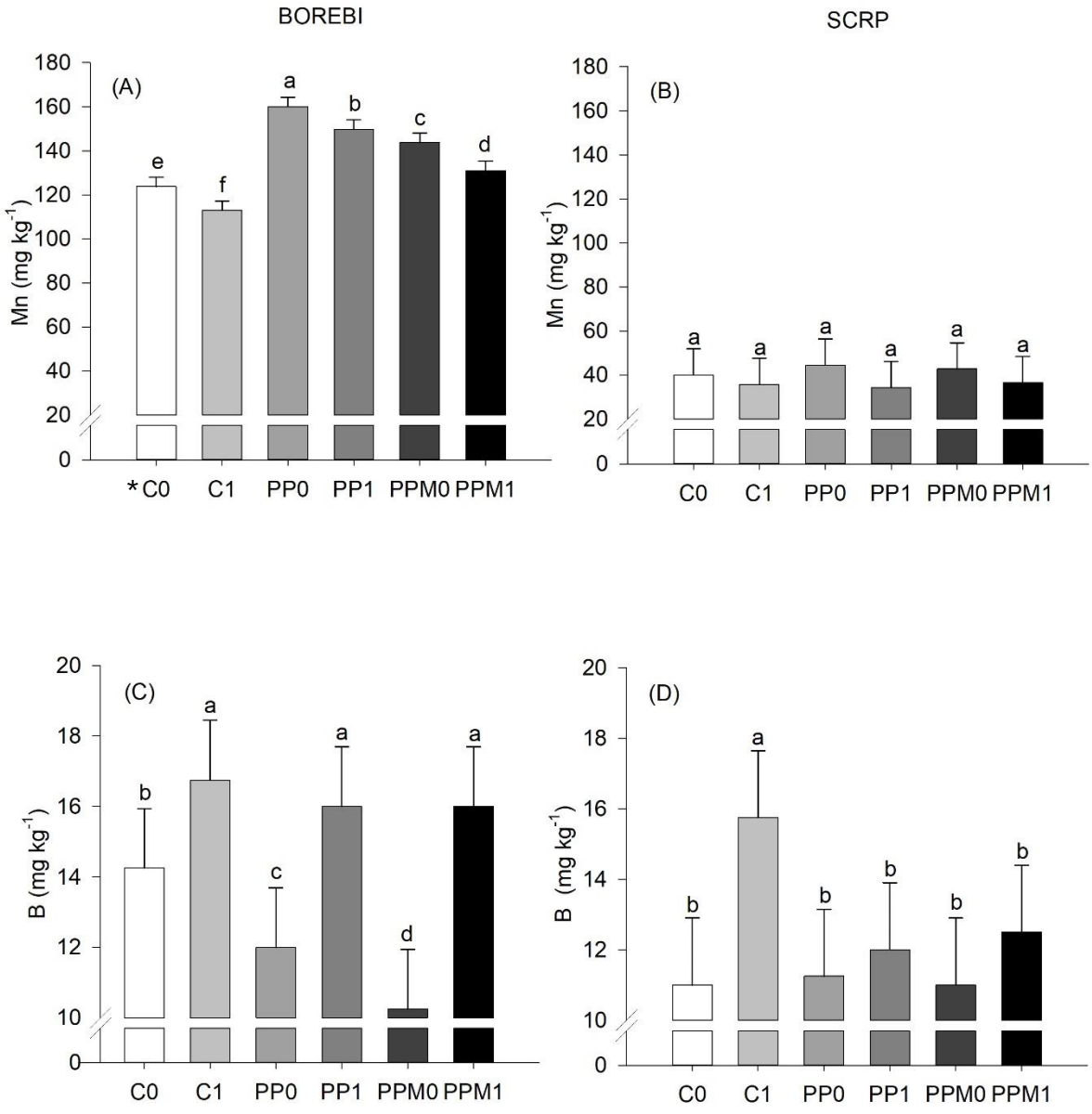
*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

4.3 Biometria, análises tecnológicas e produtividade.

Na Tabela 7 estão contidos os resultados de probabilidade de F das informações biométricas, parâmetros tecnológicos e produtividade da cana-de-açúcar em função da calagem e sistemas de preparo do solo, avaliados no momento da colheita da cana planta em Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP) - SP.

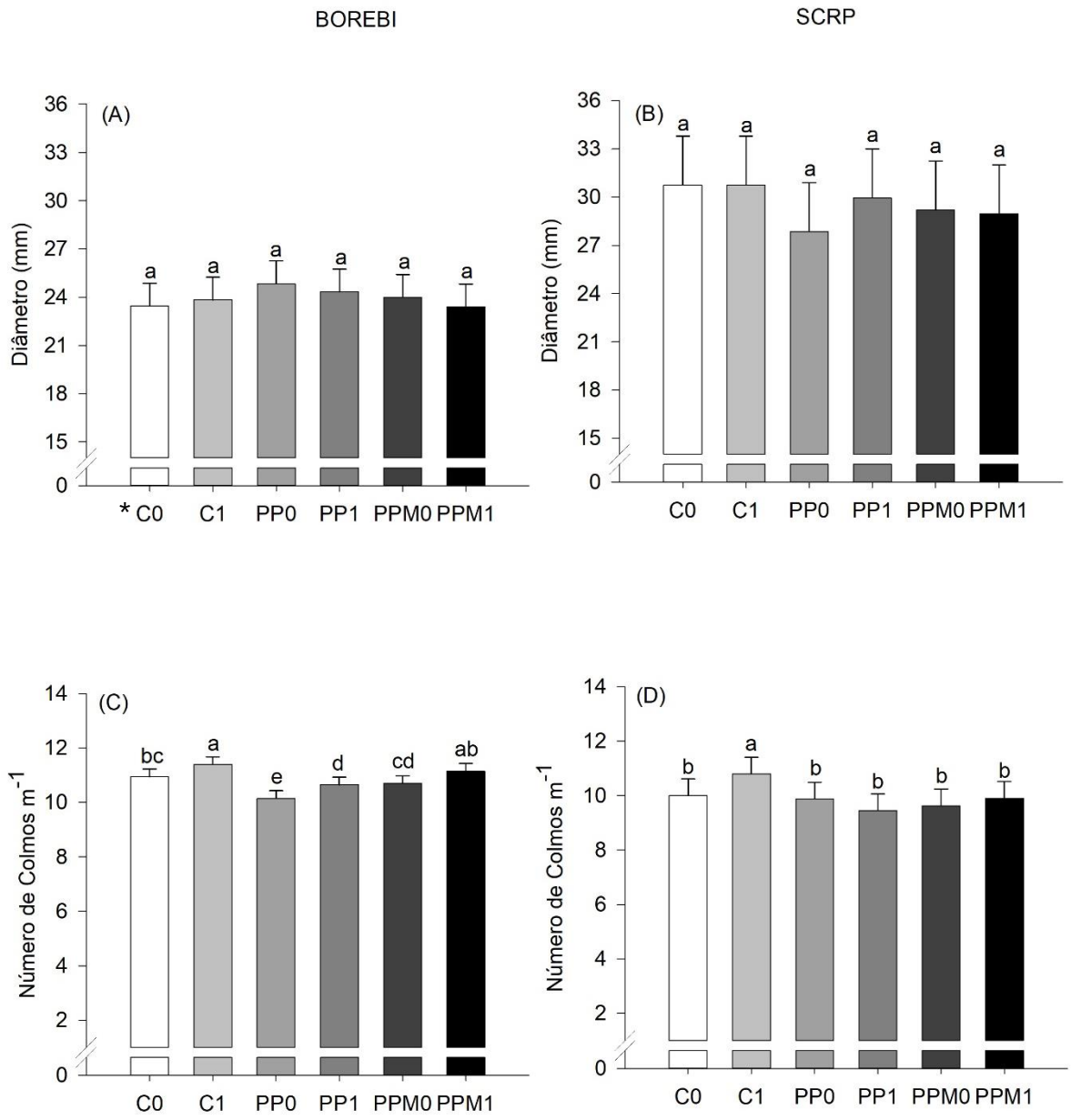
Tabela 7 - Probabilidade de F para o n° de colmos m^{-1}, diâmetro, altura, comprimento médio de entrenó (CME), toneladas de cana ha^{-1} (TCH), pol, pureza, fibra, açúcares redutores (AR) e toneladas de pol ha^{-1} (TPH), avaliados no momento da colheita da cana planta,em função da calagem e sistemas de preparo do solo. Borebi e Santa Cruz do Rio Pardo (SCRP), SP – Brasil, 2016

Local	Probabilidade de F				
	Diâmetro	N° de Colmos	Altura	CME	TCH
Borebi	0,2258*	0,0001	0,0338	0,2377	0,0155
SCRP	0,5337	0,0261	0,0950	0,1157	0,0016
	Pol	Pureza	Fibra	AR	TPH
Borebi	0,6224	0,7656	0,6402	0,7908	0,0829
SCRP	0,9783	0,6870	0,3541	0,7123	0,0020

*Valores da probabilidade de F, teste LSD.

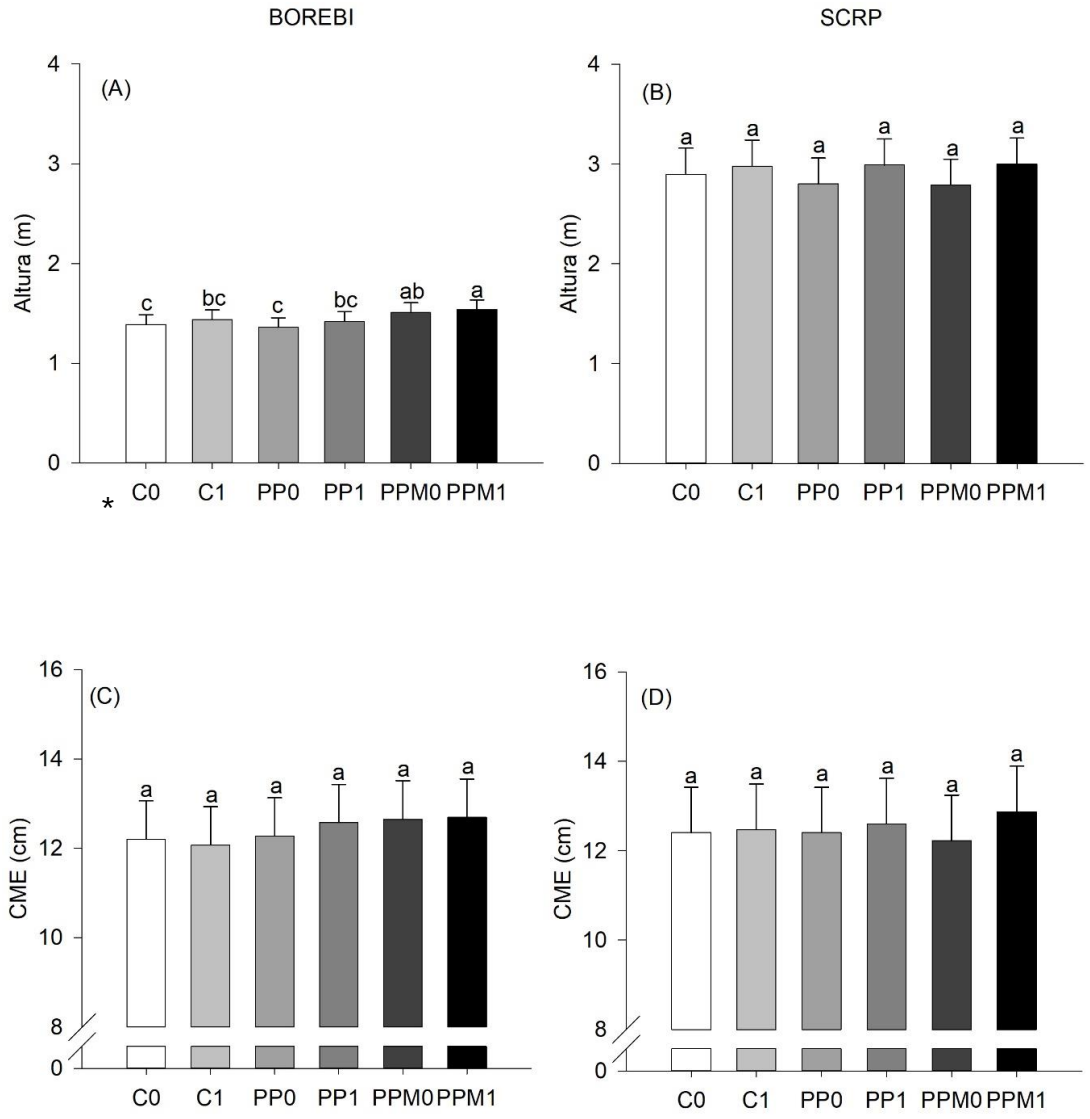
Para os dados biométricos de diâmetro de colmos e de comprimento médio do entrenó não foi observado influência dos tratamentos em ambos locais (Figuras 22 e 23). No entanto, o número de colmos e a altura foram afetados significativamente pela calagem e sistemas de preparo do solo (Figuras 22 e 23). O número de colmos m^{-1} aumentou significativamente no tratamento C1 e PPM1, diminuindo na ordem C0 ≥ PPM0 ≥ PP1 > PP0 em Borebi; enquanto que em SCRP, o tratamento C1 resultou em maior número de colmos comparado aos outros tratamentos (Figura 22). A altura de plantas foi influenciada apenas em Borebi, onde constatou-se aumento na altura de plantas para os tratamentos PPM1 e PPM0, seguido de PP1 e C1 e com redução em C0 e PP0 (Figura 23).

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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)

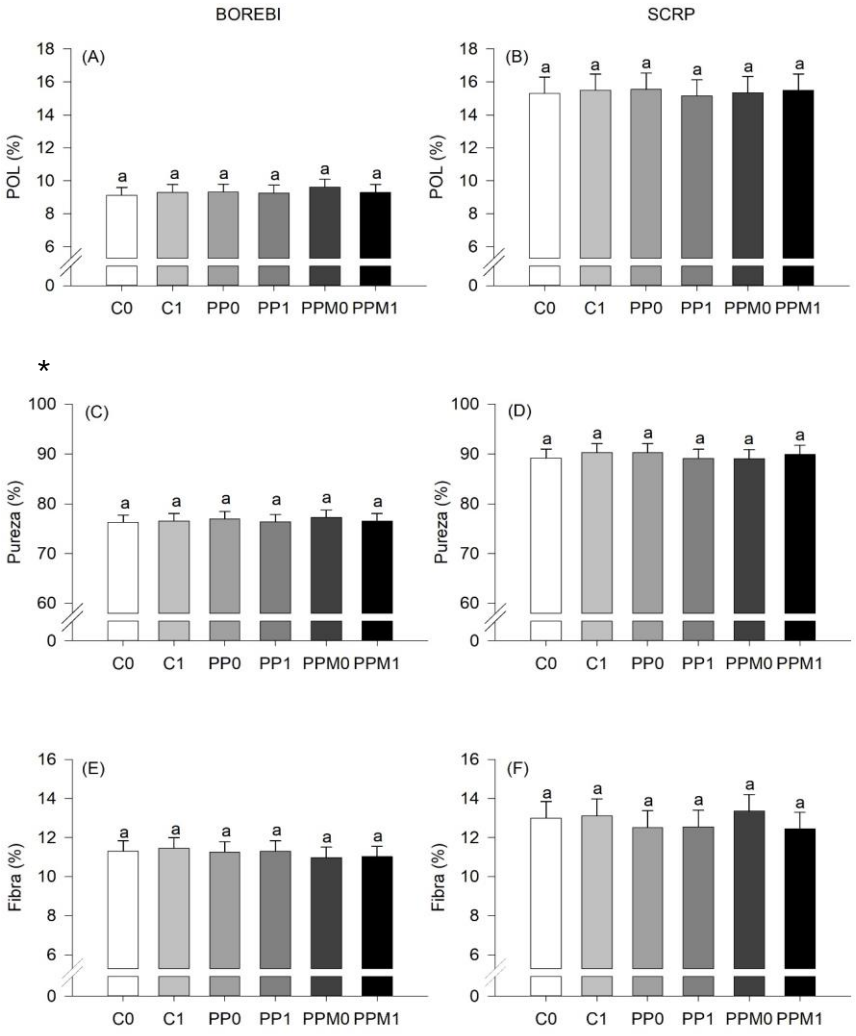


*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

Os parâmetros tecnológicos como a pol, a pureza, a fibra e os açúcares redutores não foram influenciados pelos tratamentos em nenhum dos locais avaliados (Figura 24). Porém, para a produtividade, os tratamentos influenciaram o TCH e o TPH

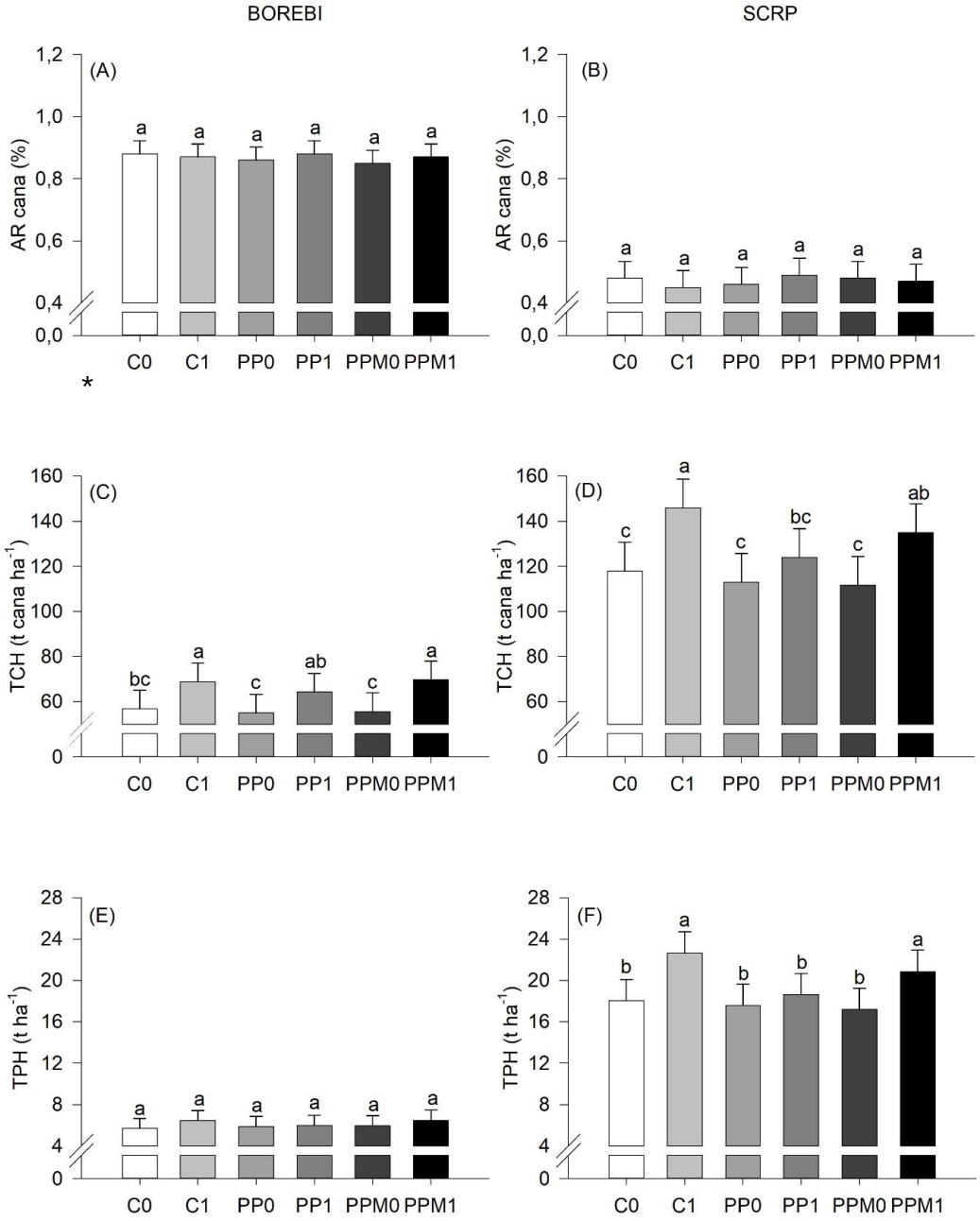
(Figura 25). Foi constatado aumento no TCH para os tratamentos PPM1, C1 e PP1 tanto em Borebi quanto em SCRP, havendo redução do TCH para os tratamentos C0, PP0 e PPM0. O TPH aumentou significativamente em SCRP, onde constatou-se maior valor para os tratamentos C1 e PPM1 e redução para os tratamentos PPM0, PP0, PP1 e C0.

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)



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

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).



*C0: preparo convencional e sem calagem; C1: preparo convencional e calagem em área total; PP0: preparo profundo e sem calagem; PP1: preparo profundo com calagem em área total; PPM0: preparo profundo e sem calagem; PPM1: preparo profundo modificado com calagem em faixas e em profundidade.

5 DISCUSSÃO

5.1 Atributos químicos do solo

Em ambas as regiões de cultivo (Borebi e SCRP), os resultados desta pesquisa demonstraram efeitos pronunciados da calagem no aumento do pH do solo no área do canteiro, independente do sistema de preparo e até a camada de 0,4 m de profundidade (Figura 12 A e B). Apesar dos mecanismos de incorporação serem distintos entre os sistemas de preparo, o efeito do calcário foi predominante aos sistemas de preparo nestes solos arenosos, embora em SCRP, o PPM com a calagem (PPM1) tenha proporcionado maiores valores de pH em todo o perfil do solo. O calcário é um produto de solubilidade incipiente, sendo necessário aumento da superfície de contato de suas partículas com as do solo para que a correção da acidez seja eficiente (CAIRES et al., 2011; FERRAZ et al., 2015). Embora todos os sistemas de preparo do solo sejam hábeis na incorporação do produto, o PPM1 tem a capacidade de distribuir o calcário de maneira uniforme no perfil do solo devido ao mecanismo de deposição em filete em maiores profundidades (3/4 da dose do calcário em superfície e 1/4 da dose entre 0,4 e 0,8 m de profundidade) e a enxada rotativa em camadas mais superficiais (ROSSETTO et al., 2011). Ainda, é importante ressaltar que apesar do PPM1 receber a dose de calcário em totalidade na área do canteiro (equivalente a 3.000 kg ha^{-1} em Borebi e 4.000 kg ha^{-1} em SCRP; correspondendo a 2 × dose de calcário recomendada para cada localidade, considerando a faixa de 1,2 m de deposição e incorporação do calcário), mesmo se tratando de um solo arenoso, não houve elevação do pH acima da faixa ideal de disponibilização dos nutrientes.

Em solos arenosos, devido a menor capacidade tampão, as doses de calcário utilizadas baseada na CTC do solo geralmente são baixas, o que resulta em baixo efeito residual ao longo dos vários ciclos da cana-de-açúcar (PRADO et al., 2003; CAMARGO et al., 2014). As recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (Boletim 100) não são atualizadas desde 1997, sendo necessário novas pesquisas que visem a calibração destas recomendações para os sistemas de cultivo atuais, que são mais exigentes em fertilidade devido ao maior potencial produtivo e, consequentemente, maior capacidade de extração de recursos do solo. Assim, a presente pesquisa traz informações relevantes para o aumento da eficiência de

produção da cultura da cana-de-açúcar em solos arenosos em regiões tropicais. Em pesquisa realizada por Raij (2008), através de análises de diversos estudos sobre calagem em cana-de-açúcar, ressaltou-se a necessidade de atualizações destas recomendações, visto estarem subestimadas para o sistema atual de cultivo. Os novos avanços nas pesquisas têm demonstrado a necessidade de levar em consideração outros fatores do solo para que sejam realizadas as recomendações de adubação e calagem, como a textura, teor de matéria orgânica e o poder tampão, fatores que podem dar um indicativo da resistência imposta pelo solo em alterar o pH e os teores de nutrientes disponíveis para a planta (LUZ et al., 2002). Outra prática importante à ser considerada no sistema de PPM1 é que o suplemento de micronutrientes não seja negligenciado, visto que a disponibilidade de micronutrientes é reduzida em maiores valores de pH (HODGSON, 1963; ALLOWAY, 2012; SAHOO et al., 2020), além de que solos arenosos apresentam menor estoque de matéria orgânica, principal fonte natural de micronutrientes (WEI et al., 2006; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; DHALIWAL et al., 2019).

Quanto ao efeito dos tratamentos na área de tráfego em ambas as regiões de cultivo (Figura 12 C e D), a calagem aumentou o pH do solo ao longo do perfil, porém, o preparo convencional (C1) foi mais efetivo no aumento do pH na área de tráfego em relação ao PP1 e PPM1. O efeito do calcário nas camadas mais superficiais no PPM1 na área de tráfego tende a ser menor, devido a calagem ser realizada apenas na área do canteiro. Contudo, notou-se aumento dos valores do pH em relação à não aplicação de calcário neste mesmo sistema, visto que o corretivo de solo pode apresentar deslocamento horizontal através de mecanismos físicos e químicos (ALLEONI et al., 2005). Cabe ressaltar que a água da chuva (mecanismo físico) pode promover arraste do corretivo dos canteiros para a área de tráfego mesmo que não tenha havido qualquer forma de incorporação. Assim, a calagem em faixas ainda é capaz de corrigir a acidez do solo em toda área superficiaial do terreno. (RHEINHEIMER et al., 2000, CAIRES et al., 2011, CRUSCIOL et al., 2019). Por outro lado, o deslocamento do calcário por vias químicas pode ser explicado pelo fato de que a frente de dissolução do calcário no solo ocorre quando o valor do pH ($CaCl_2$) é maior que 4,6, ou seja, quando o solo atinge este valor de pH as partículas corretivas do calcário migram para regiões (verticalmente e/ou horizontalmente) de menor pH e, posteriormente, corrigindo-as (RHEINHEIMER et al., 2000; ALLEONI et al., 2005).

A disponibilidade de Ca e Mg trocáveis no perfil do solo na área de canteiro apresentaram tendências semelhantes em ambas as regiões cultivadas, sendo que sistema convencional e o PPM após a calagem (C1 e PPM1) proporcionaram os maiores teores destes elementos no perfil do solo (Figura 13 A e B; Figura 14 A e B). Este fato deve-se a maior capacidade de incorporação do calcário no sistema convencional em relação ao PP1 e a melhor distribuição do corretivo ao longo do perfil no sistema PPM1 com filete de deposição em profundidade (GUIMARÃES, 2019). O tratamento PP após a calagem (PP1) não melhorou a disponibilidade de Ca e Mg trocáveis no perfil do solo quando comparado aos tratamentos C1 e PPM1. Por outro lado, quando se observa a disponibilidade destes cátions na área de tráfego, pelo fato do PPM1 ter recebido toda dose de calcário nos canteiros, foi menor do que o C1 e PP1 (Figura 13 C e D; Figura 14 C e D).

As alterações nos teores de Ca e Mg trocáveis influenciaram os valores obtidos para saturação por bases (V%) do solo, apresentando tendências semelhantes, demonstrando claramente que os sistemas C1 e PPM1 aumentaram os valores e melhoraram a distribuição da V% ao longo do perfil do solo nas áreas do canteiro e tráfego (Figura 15). De acordo com a dose de calcário recomendada para cada localidade e o laudo do calcário (Tabela 3), a aplicação de Ca e Mg por hectare foi em torno de 320 e 208 kg ha^{-1} em Borebi e 428 e 277kg ha^{-1} em SCRP, respectivamente. Por outro lado, a quantidade de calcário aplicada na área do canteiro no tratamento PPM1 foi relativamente maior (2 × dose recomendada, como supracitado), o que representa cerca de 640 e 416 kg ha^{-1} de Ca e Mg em Borebi e 856 e 554 kg ha^{-1} de Ca e Mg em SCRP. Mesmo as quantidades relativas por área sendo distintas, os teores de Ca e Mg trocáveis e, consequentemente a V%, não foram alteradas na mesma proporção. Este fato embasa ainda mais as preocupações quanto o defasamento dos métodos de recomendações de corretivos para as condições atuais de cultivo da cana-de-açúcar e de outras culturas de interesse agronômico.

O calcário apresenta baixa solubilidade no solo (CAIRES et al., 2011; FERRAZ et al., 2015; CRUSCIOL et al., 2019), portanto, sua incorporação é recomendada (RHEINHEIMER et al., 2000). No entanto, nem todas as partículas do corretivo reagem com o solo rapidamente, permanecendo na forma de Ca e Mg não-trocáveis, funcionando como reserva de nutrientes para cultivos posteriores, ou seja, aumentando o período residual no solo (LIMA et al., 2004, SORATTO, 2005). A reação

do calcário é maior sob condições ácidas do solo, portanto, após o pH se elevar, a reatividade das partículas restantes é reduzida, sendo passíveis de reação quando o pH do solo reduzir novamente (ação de fertilizantes nitrogenados e exsudação de ácidos orgânicos e íons H^+ pelas raízes) (MARSCHNER et al., 1987; PREECE e PEÑUELAS, 2020), além de que partículas de granulometria maior reagem mais lentamente no solo (MELLO et al., 2003).

A saturação por alumínio (m%) no canteiro, em ambas as áreas experimentais avaliadas, foi reduzida em todo o perfil do solo nos tratamentos que receberam calcário, porém para os tratamentos PP1 e PPM1, menores valores de m% foram obtidos (Figura 16 A e B). Isso se deve à melhor distribuição do corretivo no perfil do solo nestes tratamentos, visto que o maior pH, juntamente com elevação da V% proporcionaram menor contribuição do Al na CTC do solo. Quanto ao m% na área de tráfego, não obteve-se tendência clara quanto aos sistemas de preparo após a calagem (C1, PP1 e PPM1), porém, ficou evidente os menores valores de m% do solo nos tratamentos com áreas corrigidas, independente do sistema de preparo de solo (Figura 16 C e D).

Este trabalho demonstrou que manejos de solo que melhorem a distribuição de corretivos e fertilizantes ao longo do perfil do solo são cada vez mais necessários, pois a fertilidade do solo é fortemente alterada de acordo com tipo de sistema de preparo de solo. A melhoria no perfil do solo pode auxiliar no crescimento radicular, principalmente em maiores profundidades, assegurando aquisição de recursos (água e nutrientes) em condições ambientais desfavoráveis (RELLÁN-ÁLVAREZ et al., 2016, GUPTA et al., 2020), permitindo que maiores produtividades sejam obtidas. Ainda, os resultados sugerem que os cálculos de recomendação de calagem para a cana-de-açúcar precisam ser revisados, visto que doses acima da recomendada por área foi aplicada no PPM1 e efeitos negativos não foram obtidos. Neste sentido, a possibilidade de benefícios à longo prazo podem ser obtidos neste tipo de manejo em sistemas produtivos de cana-de-açúcar.

5.2 Diagnose foliar nutricional

Os sistemas de preparo de solo com ou sem a calagem não influenciaram nas concentrações foliares de N, em ambos os locais estudados (Figura 17 A e B). Possivelmente, a dose de calcário aplicada seja na superfície em área total (1.500 e

2000 kg ha^{-1} para Borebi e SCRP, respectivamente) ou concentrada no canteiro (3.000 e 4000 kg ha^{-1} para Borebi e SCRP, respectivamente) não foram suficientes para alterar a disponibilidade de N para as plantas. Segundo o trabalho de Wahyudi et al. (2018), a aplicação de calcário em profundidade (0,2 – 0,4 m) na cana-de-açúcar altera a concentração foliar N apenas com a dose de 5.000 kg ha^{-1}, comparado com a ausência de calagem. Ademais, de acordo com Rossetto et al. (2004), a análise foliar pode apresentar baixa sensibilidade para mensurar as exigências nutricionais para a cana-de-açúcar.

As concentrações foliares de P em Borebi foram inferiores sob os manejos C0, PPM0 e PPM1 (Figura 17 C), enquanto que em SCRP foram menores nos tratamentos PPM0 e PPM1 (Figura 17 D). A ausência de calagem nos manejos C0 e PPM0 possivelmente proporcionaram condições de menor disponibilidade de P, devido a maior acidez do solo nestes tratamentos (Figura 12). Em solos ácidos, reações de precipitação do P com formas iônicas de Al e Fe são comuns, principalmente nos solos tropicais altamente intemperizados (SOUZA et al., 2006). Em contrapartida, o manejo PPM1 favoreceu melhores condições para a disponibilidade de P para as plantas, mas os teores foliares não foram condizentes (Figura 17 C e D). Nesse último caso, um maior crescimento das plantas pode ter contribuído com os menores teores foliares devido ao efeito diluição (JARREL; BEVERLY, 1981).

Apenas em SCRP, o manejo C1 influenciou positivamente a concentração foliar de K na cana (Figura 17 E e F). A calagem, aumenta o Ca trocável no solo e a CTC efetiva, contribuindo com a manutenção do teor de K trocável do solo, além de reduzir as perdas por lixiviação, pois alivia a toxicidade do Al para as raízes e induz uma maior absorção de K nas plantas (HAN et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2001).

Em ambos os locais estudados, verificou-se que as concentrações de Ca e Mg nas folhas da cana foram superiores em função do manejo PPM1 (Figura 18). Esse resultado é reflexo da maior disponibilidade desses nutrientes, tanto na área do canteiro, distribuído no perfil do solo, quanto na região de tráfego, na camada até 0,4 m de profundidade. Ou seja, o preparo profundo de solo associado a aplicação de 3/4 da dose do calcário em superfície e 1/4 da dose entre 0,4 e 0,8 m de profundidade melhora a correção do perfil do solo, culminando em uma elevação do teor de Ca e Mg nas folhas da cana-de-açúcar. Wahyudi et al. (2018) demonstraram que só com aplicação de 5.000 kg ha^{-1} de calcário, aplicado entre 0-0,2 m de profundidade houve

maior concentração de Ca nas folhas da cana em comparação a ausência da calagem. Os mesmos autores também verificaram que as concentrações foliares de Mg foram incrementadas com a utilização de 4.000 kg ha^{-1} aplicados na camada de 0-0,2 m e com a dose de 5.000 kg ha^{-1} aplicados na camada de 0,2-0,4 m.

Com relação às concentrações foliares de S avaliadas em SCRP (Figura 19 F), as diferenças observadas foram apenas em função dos sistemas de preparo do solo, em que o preparo convencional (C0 e C1) propiciaram menores valores. Recorrendo a análise de solo inicial da área (Tabela 2) e os parâmetros propostos por Raij et al. (1997), verifica-se que o teor de S na camada de 0,0-0,2 m é considerado baixo (4 mg dm^{-3}), o teor na camada de 0,2-0,4 é médio (6 mg dm^{-3}), enquanto que nas camadas abaixo de 0,4 m os teores são altos (> 10 mg dm^{-3}). Dessa forma, constatou-se que o preparo profundo do solo pode favorecer o crescimento das raízes da cana em maiores profundidades e, consequentemente, aumentar a absorção do S pelas plantas, resultando em concentrações elevadas.

Os maiores valores para Fe e Cu nas folhas de cana, nos dois locais de cultivo (Figura 19), ocorreram em plantas oriundas dos tratamentos sem a calagem, ou seja, solos mais ácidos. Normalmente, a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Fe, Cu, Mn e Zn) no solo está diretamente relacionado com o pH (HODGSON, 1963; ALLOWAY, 2012; SAHOO et al., 2020). Em solos com pH baixo, a solubilidade desses micronutrientes é alta e, com a elevação do pH, a solubilidade e disponibilidade diminuem (BRADY; WEIL, 2013). Embora haja uma diferença na concentração foliar da cana de até 40 mg kg^{-1} de Fe, entre os maiores e os menores valores (Borebi e SCRP), não foi visualizado no campo sintomas de deficiência (clorose nas folhas novas pela falta de clorofila) por esse nutriente (TROEH; THOMPSON, 2007). Ressalta-se que há diferenças na sensibilidade das plantas a deficiência de Fe. Algumas variedades mais tolerantes apresentam um mecanismo de acidificação na rizosfera, excretando compostos capazes de solubilizar o Fe e aumentar sua disponibilidade (BRADY; WEIL, 2013). As diferenças nas concentrações de Zn nas folhas de cana, em função dos tratamentos foram pequenas, não demonstrando informações práticas dos tratamentos.

A concentração de Mn nas folhas (Figura 20 A e B) demonstrou estar relacionada com o pH do solo (Figura 12). Ou seja, o maior nível de acidez que ocorreu principalmente na área do canteiro no tratamento PP0, em Borebi, refletiu em maior disponibilidade e absorção de Mn pelas plantas, decorrente da maior solubilidade

desse nutriente em condição de solo mais ácido (BRADY; WEIL, 2013). Em Borebi, todos os sistemas de preparo de solo associados com a calagem resultaram em maiores concentrações foliares de B na cana, ao passo que em SCRP isso ocorreu apenas no tratamento C1 (Figura 20 C e D). Isso ocorreu devido à elevação do pH do solo entre 6,0 e 6,5, (Figura 12) favorecendo a maior disponibilidade de B para a cana-de-açúcar (MALAVOLTA, 2006).

Independente do tratamento, cabe salientar que segundo Raij et al. (1997) todos proporcionaram concentrações foliares de nutrientes consideradas adequadas, tanto de macronutrientes (N: 18-25; P: 1,5-3,0; K: 10-16; Ca: 2,0-8,0; Mg: 1,0-3,0; S: 1,5-3,0 g kg^{-1}), quanto de micronutrientes (Fe: 40-250; Cu: 5-15; Zn: 10-50; Mn: 25-250 e B: 10-30 mg kg^{-1}).

5.3 Biometria, análises tecnológicas e produtividade

O maior número de colmos no tratamento C1, nas duas áreas experimentais, (Figura 21 C e D), se deve, provavelmente, ao maior revolvimento do solo neste manejo, o que pode ter favorecido de forma mais rápida a decomposição da matéria orgânica, fornecendo nutrientes a curto prazo, o que aliado à prática da calagem, beneficiou o desenvolvimento inicial da cultura pela melhoria da qualidade química do solo. Entretanto, cabe-se ressaltar que o número de colmos na colheita foi muito semelhante numéricamente, o que demonstra, de maneira geral, que não houve prejuízos dos tratamentos avaliados, no estabelecimento e desenvolvimento inicial das plantas em relação aos colmos industrializáveis no final do ciclo.

Durante o desenvolvimento da cultura e ao longo dos cortes, o tráfego excessivo de máquinas pode influenciar negativamente a qualidade do solo, o que irá refletir em menor produtividade. A intensidade com que as propriedades do solo cultivado com a cana-de-açúcar são degradadas, depende das características inerentes ao próprio solo, sistemas de preparo e condições do solo quando são realizadas as operações agrícolas (HAMMAD e DAWELBEIT, 2001; CHERUBIM et al., 2016; AMOLO et al., 2017; SCARPARE et al., 2019).

O sistema de preparo influencia diversas propriedades do solo que são imprescindíveis para o bom desempenho da cultura, com contribuições positivas no volume de solo a ser explorado pelas raízes (AIKINS et al., 2012; MORAES et al., 2019). O preparo convencional promove condições de solo adequadas para o

desenvolvimento da cultura, porém, diminui gradualmente a densidade do solo, aumentando a compactação devido a modificação na sua estrutura física (REICHERT et al., 2016), além de prejudicar a adequada absorção de água e nutrientes pelas raízes. Por outro lado, sistemas de preparo com bases conservacionistas, como cultivo mínimo, preparo reduzido, plantio direto, onde se enquadram os sistemas de preparo profundo em faixas, são recomendados, tendo em vista a melhoria da estrutura do solo, controle da erosão e incremento nos teores de matéria orgânica (SINGH et al., 2018). Assim, essas práticas associadas à calagem e adubação promovem um ambiente favorável à obtenção de melhor qualidade tecnológica e produtividade da cana-de-açúcar. Diante dos resultados obtidos, pode-se considerar que a presente pesquisa traz informações importantes referentes ao manejo da cultura em solos arenosos, buscando promover maior produção e sustentabilidade no cultivo da cana em regiões tropicais, com solos naturalmente ácidos e pobres em nutrientes.

Em Borebi houve diferença significativa para altura de plantas, em que os maiores valores foram proporcionados pelos tratamentos PPM1 e PPM0 (Figura 23 A e B). Tal fato deve-se aos benefícios do preparo profundo do solo e incorporação do calcário em profundidade, o que promove a descompactação do solo e maior disponibilização de nutrientes, beneficiando o desenvolvimento do sistema radicular da cana, refletindo em melhor crescimento vegetativo e, consequentemente, maior produtividade.

Diversos trabalhos na literatura evidenciam que o manejo adequado do solo realizado anteriormente à implantação do canavial, proporciona condições satisfatórias na qualidade do solo e influenciam decisivamente no adequado estabelecimento da cultura e na produção ao longo dos cortes consecutivos (LANDELL et al., 2003; CARVALHO et al., 2013; CARDOSO et al., 2014; MARASCA et al., 2015; AMOLO et al., 2017; MORAES et al., 2019; AWE et al., 2020). Além disso, aumentos na produtividade por área podem proporcionar aumento de eficiência da produção de etanol, ou seja, é possível aumentar a produção de biocombustível por unidade de massa de equivalente carbono emitido (LEITE e LEAL, 2007; SINGH et al., 2008; KOHLHEPP, 2010; TAVARES et al., 2016).

Sabe-se que a qualidade tecnológica e a produção de biomassa pela cultura da cana-de-açúcar são fortemente influenciadas pelas características edafoclimáticas da região, além da variedade e espaçamentos utilizados. Assim, o preparo adequado do solo aliado à calagem, promovem melhores condições para o desenvolvimento

radicular e absorção de nutrientes, o que garante benefícios para aumento da produção e rentabilidade. No presente trabalho verificou-se que os atributos pol, pureza, fibra e AR (Figura 24; 25 A e B) avaliados no momento da colheita da cana-planta não foram influenciados significativamente em função calagem e sistemas de preparo do solo em ambas as áreas experimentais. Entretanto, vale ressaltar os baixos valores obtidos para estes atributos tecnológicos, em Borebi. Tal fato se deve principalmente à ocorrência de geada na fase de desenvolvimento vegetativo das plantas o que antecipou a colheita da cultura, prejudicando assim, o processo de maturação fisiológica. Portanto, devido a esta adversidade climática a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em Borebi, foi inferior, constatando-se valores reduzidos de pureza, pol, ATR e aumento de AR, além de influência direta no TCH e TPH de forma negativa. Além disso, deve-se destacar a menor precipitação pluvial durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1), o que aliado à menor SB e CTC do solo, foram decisivos na redução da qualidade tecnológica, parâmetros biométricos e produtividade da cana. Em SCRP, a quantidade de chuva foi melhor distribuída durante o ciclo de crescimento das plantas (Figura 2), o que somado a melhor fertilidade e temperaturas adequadas, favoreceu o desenvolvimento e produção da cultura e a aderência ao planejamento da colheita.

Durante o processo de maturação da cana-de-açúcar, à medida que o teor de sacarose se eleva, os açúcares redutores (AR) decrescem mensalmente aproximadamente 2,0%, podendo chegar a 0,2% em setembro/outubro (FERNANDES, 2003). Esse comportamento é relevante para a análise do teor de AR, uma vez que é possível através deste, fazer o acompanhamento da maturação, principalmente nos primeiros meses de desenvolvimento da cultura (FERNANDES, 2003). Assim, devido ao maior teor de AR da cana na área experimental de Borebi (Figura 25 A), fica evidente a forte influência que o clima promoveu na qualidade tecnológica da cultura, em detrimento ao teor de sacarose nos colmos. De forma geral, na área de SCRP, os valores obtidos para AR (Figura 24 B) foram próximos ao considerado adequado para a cultura (RIPOLI e RIPOLI, 2004), caracterizando uma matéria prima de melhor qualidade.

O TCH e TPH foram influenciados significativamente em função da calagem e sistemas de preparo do solo, principalmente em SCRP, em que os valores médios estão acima da produtividade nacional (CONAB, 2020). Os altos valores para TCH em

SCRP (Figura 25 D) devem-se às condições climáticas favoráveis e tratos culturais adequados durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Por outro lado, os baixos valores obtidos em Borebi (Figura 25 C) devem-se às adversidades climáticas citadas anteriormente, fazendo com que as plantas fossem colhidas antes do processo de maturação, prejudicando consideravelmente o acúmulo de sacarose e a produtividade de colmos e açúcar. Entretanto, verificou-se que em ambas as áreas, os tratamentos que receberam a calagem, promoveram os maiores valores, sendo os preparos C1, PPM1 e PP1, respectivamente, os mais eficientes em promover aumentos na produtividade. De modo geral, o aumento no TPH deve-se ao aumento do TCH em virtude da melhoria da qualidade do solo (Figura 25 E e F).

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 Goias, 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.

DEMATTÊ, J. L. I. **Recuperação de manutenção da fertilidade do solo.** Piracicaba: Potafos, 2005. 24p. Informações Agronômicas - 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. (Cool.). Cana-de-açúcar cultivo e ultilização. 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.

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.; MURRNAN, 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 Ciencias Agronomicas, 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/10.1590/01000683rbcs20140559.

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.

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

MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; CAKMAK, 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 ^{14}C-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 $CaSO_4.2H_2O$. **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.; FERNANADES, 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 rattoon. **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 Agronômico, 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 lond-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 Agronômica, pg. 303-320. Coopersucar, 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 Agronômicas,** 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 marçode 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**. Disponivel 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 analises 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-acúcar. **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/65515849203106212 54/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.