UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

IMPACTO DE PREPAROS DO SOLO SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SUCESSÃO COM AMENDOIM EM SISTEMA MEIOSI

Elcio Rios Pérez Leal
Engenheiro Agrônomo

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

IMPACTO DE PREPAROS DO SOLO SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SUCESSÃO COM AMENDOIM NO SISTEMA MEIOSI

Elcio Rios Pérez Leal

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Dr. Denizart Bolonhezi

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

2022

L435i

Leal, Elcio Rios Pérez

Impacto de preparos do solo sobre características agronômicas e das raízes de cana-de-açúcar em sucessão com amendoim em sistema meiosi / Elcio Rios Pérez Leal. – Jaboticabal, 2023

50 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Denizart Bolonhezi

1. Cana-de-açúcar. 2. Solos Conservação. 3. Palha Utilização na agricultura. 4. Solos Compactação. 5. Biomassa radicular. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: IMPACTO DE PREPAROS DO SOLO SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇUCAR EM SUCESSÃO COM AMENDOIM EM SISTEMA MEIOSI

AUTOR: ELCIO RIOS PÉREZ LEAL
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
COORIENTADOR: DENIZART BOLONHEZI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participaçao Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciencias Exatas DECEx / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. MARCELO BOAMORTE RAVELLI (Participaçao Presencial)
Centro de Administração e Tecnologia / UNIARA - Araraquara/SP

Prof. Dr. AFONSO LOPES (Participaçao Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciencias Exatas DECEx / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 13 de dezembro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ELCIO RIOS PÉREZ LEAL – nascido em Ribeirão Preto, São Paulo, no dia 4 de julho de 1997. Ingressou no curso de Agronomia no Centro Universitário Moura Lacerda (CUML) de Ribeirão Preto, São Paulo, em janeiro de 2015 e, durante a graduação atuou junto ao Centro Avançado de Pesquisa de Cana (IAC), em pesquisas com manejo e conservação do solo, culturas rotacionais para cana-de-açúcar e adubos verdes, sistemas de cultivo e uso de conjuntos mecanizados para manejo de solo. Recebeu título de Engenheiro Agrônomo em agosto de 2019. Prosseguiu no IAC como bolsista de aperfeiçoamento técnico da Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (FUNDAG), auxiliando em projetos de pesquisa sobre: melhoramento genético de amendoim, transplantio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em manejos conservacionistas de solo, validação tecnológica de cultivares de soja em reforma de canaviais, estudo do sistema radicular e produtividade de soja sobre plantio direto e calagem na reforma de canavial. Em agosto de 2020, iniciou curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do solo) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, participando com colaborador em projetos coordenados pelo IAC, por intermédio de bolsa da FUNDAG. Em dezembro de 2022, submeteu-se à defesa da dissertação para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Ciência do Solo.

“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece”

Benjamim Disraeli

DEDICATÓRIA

À minha família, aos meus mestres e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por me dar saúde, discernimento para concluir mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, Elcio Pérez Leal Binda e Maria de Fátima Rios Pérez Leal, que me deram todas as condições para trilhar este caminho, que sempre me apoiam e estão comigo, meus grandes exemplos.

Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani pela orientação, confiança transmitida, por acreditar no meu potencial.

Ao Dr. Denizart Bolonhezi, Pesquisador Científico, pela co-orientação, amizade, companheirismo, ensinamentos, exemplos de vida, por acreditar em meu potencial, pelas informações transmitidas e por todo suporte necessário para realização deste trabalho.

À Fundação AGRISUS pelo financiamento da pesquisa por intermédio do projeto PA 2937/20 (“Sistema MITOSI com Amendoim na Palha”) coordenado pelo Dr. Denizart Bolonhezi e por diversos outros projetos apoiados nessa temática.

À Fazenda Lago Azul/FLA Produções Agrícolas, por fornecer a área da pesquisa e todos os manejos envolvidos na realização deste experimento, em especial ao agrônomo Rodrigo Valochi, pelo empenho e dedicação.

À Fundação de Apoio a Pesquisa Agrícola pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), aos professores que compõem o quadro do programa e propiciaram o aprimoramento dos meus conhecimentos.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade de realização deste curso.

Aos funcionários do setor de Fitotecnia do Centro de Cana/IAC, em especial ao amigo e agrônomo Olavo Betiol e estagiários graduandos em agronomia Letícia Pelicioni Palviqueres, Keyciane Barbosa e Fabio Fiori Ruiz, que em nenhum momento mediram esforços para colaborar em todas as etapas de realização deste experimento. Muito obrigado!

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....ii
ABSTRACT.....iii
LISTA DE FIGURAS.....iv
LISTA DE TABELAS.....vi
1. INTRODUÇÃO.....1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....4
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....4
2.2 Plantio Direto e Cultivo Mínimo para cana-de-açúcar.....5
2.3. O sistema radicular da cana-de-açúcar e metodologias de avaliação.....7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....10
3.1 Área experimental.....10
3.2 Equipamentos e operações realizadas.....12
3.3 Avaliações realizadas.....15
3.4 Análise estatística.....19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....19
5. CONCLUSÕES.....31
6. REFERÊNCIAS.....32

IMPACTO DE PREPAROS DO SOLO SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SUCESSÃO COM AMENDOIM NO SISTEMA MEIOSI

RESUMO – Buscando entender a influência dos preparos de solo realizados para a cultura que antecede o plantio do canavial e a interação com os preparos de solo realizados para a cana-de-açúcar cultivada em sucessão, estudou-se o impacto sobre as raízes e produtividade de colmos da variedade de cana RB966928, plantada em diferentes preparos de solo em sucessão com amendoim. O ensaio foi instalado no município de Planalto/SP, sobre canavial reformado após sete cortes mecanizados. Utilizou-se delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em esquema de faixas com cinco repetições. Os tratamentos compreenderam a combinação dos preparos realizados antes da semeadura do amendoim (preparo convencional, preparo localizado, preparo reduzido e semeadura direta) com os preparos (canteirizador + óxido, canteirizador e sulcação direta) realizados antes do plantio da variedade de cana-de-açúcar implantada em sistema de MEIOSI. Foram avaliados na cana-de-açúcar: perfilhamento, biomassa seca vegetativa e das raízes, produtividade de colmos e resistência mecânica à penetração. Houve interação significativa entre os preparos realizados para o amendoim e para a cana-de-açúcar. Mesmo com maiores valores de resistência mecânica do solo à penetração, a associação de preparos conservacionistas não prejudicou o sistema radicular e proporcionou ganhos de 15% na produtividade de colmos para a variedade RB966928. A aplicação de óxido de cálcio mostrou-se eficiente somente em condição de preparo convencional previamente ao cultivo de amendoim.

Palavras–chave: Biomassa radicular, cultivo mínimo, compactação, preparo convencional, plantio direto, produtividade de colmos, *Saccharum officinarum.*

IMPACT OF TILLAGE ON AGRONOMIC AND ROOTS CHARACTERISTICS OF SUGARCANE IN SUCCESSION WITH PEANUT IN MEIOSI SYSTEM

ABSTRACT – Seeking to understand the influence of the soil tillage carried out for the crop that precedes the planting of sugarcane and the interaction with the soil tillage for the sugarcane cultivated in succession, the aim of this research was to study the impact on root growth and stalk yield of sugarcane variety RB966928 planted in different soil tillage in rotation with peanut crop. A trial has been installed over commercial field, with historic of seven years with green harvest system, located in Planalto city, Sao Paulo State, Brazil. It was be used a complete randomized blocks experimental design with treatment arranged by strip scheme and five replications. Treatments comprised by combination of tillage were done before planting peanut with tillage were done before planting the sugarcane variety RB966928 by MEIOSI system. It was evaluated: tillering, vegetative and root biomass, stalk yield and soil penetration resistance. There was significant interaction between tillage done previously to peanut and before planting the sugarcane. Even though with the highest penetration resistance values, the association of strip tillage for peanut and direct planting for sugarcane has provided increase of 15 Mg ha^{-1} for stalk yield, without damage in the root system of variety RB966928. The calcium oxide has sowed efficiency only in condition of conventional tillage done previously to the peanut crop.

Keywords: *Saccharum officinarum*, root biomass, conventional tillage, no-tillage, minimum tillage, soil compaction, stalk yield.

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL SITUADA NO MUNICÍPIO DE PLANALTO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL. 11

FIGURA 2. DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS NOS INTERVALOS DAS LINHAS DE CANA.....12

FIGURA 3. DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS APÓS A COLHEITA DO AMENDOIM.....14

FIGURA 4. PREPAROS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR: CANTEIRIZADOR(A); CARRETA SULCADORA/ADUBADORA (B); FAIXA DO CULTIVO MÍNIMO (C); FAIXA DA SEMEADURA DIRETA (D). NO MUNICÍPIO DE PLANALTO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL. 15

FIGURA 5. AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (A), AMOSTRAGEM DO CONTEÚDO GRAVIMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO (B).....16

FIGURA 6. CONTAGEM DO NÚMERO DE PERFILHOS (A), COLETA DAS PLANTAS PRESENTES NO METRO DE LINHA DE CANA-DE-AÇÚCAR, CORTANDO-SE TODA A PARTE AÉREA (B) 17

FIGURA 7. AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (A), POSIÇÕES DE AMOSTRAGEM (B), RAÍZES A SEREM ESCANEADAS (C), PESAGEM DAS AMOSTRAS DE RAÍZES (D).....18

FIGURA 8. DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS NOS INTERVALOS DAS LINHAS DE CANA.....19

FIGURA 9. PERFILHAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928 SUBMETIDA A DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MANEJOS DE SOLO REALIZADOS ANTES E APÓS CULTIVO DE AMENDOIM EM SUCESSÃO. AS LETRAS COMPARAM MÉDIAS DOS TRATAMENTOS DE MANEJO REALIZADO PARA CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES. PLANALTO/SP. 20

FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS, DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 01/03/2020 ATÉ 01/07/2021. PLANALTO/SP. 20

FIGURA 11. BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA DA CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928, SUBMETIDA A DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MANEJOS DE SOLO REALIZADOS ANTES E APÓS CULTIVO DE AMENDOIM EM SUCESSÃO. AS LETRAS COMPARAM MÉDIAS DOS TRATAMENTOS DE MANEJO REALIZADO PARA CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES DATAS DE AVALIAÇÃO, PELO TESTE DE TUKEY ($p < 0,05$). PLANALTO/SP. 22

FIGURA 12. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES DATAS E POSIÇÕES DE LEITURA NS: NÃO SIGNIFICATIVO NO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE. PLANALTO/SP. 23

FIGURA 13. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES DATAS E POSIÇÕES DE LEITURA NS: NÃO SIGNIFICATIVO NO TESTE DE TUKEY A 5% DE PROBABILIDADE. PLANALTO/SP.. 24

FIGURA 14. CONTEÚDO GRAVIMÉTRICO DE ÁGUA DO SOLO EM DIFERENTES PREPAROS CONSERVACIONISTAS PARA CULTURA DO AMENDOIM. PLANALTO, SÃO PAULO, BRASIL, 2019.....25

FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL (%) DA BIOMASSA SECA DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928, SUBMETIDA A DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MANEJOS DE SOLO REALIZADOS ANTES E APÓS CULTIVO DE AMENDOIM EM SUCESSÃO. PRIMEIRA AMOSTRAGEM (270 DIAS APÓS O PLANTIO, DEZ/2020). PLANALTO/SP. 28

FIGURA 16. PRODUTIVIDADE DE COLMOS NO PRIMEIRO CORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928, SUBMETIDA A DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MANEJOS DE SOLO REALIZADOS ANTES E APÓS CULTIVO DE AMENDOIM EM SUCESSÃO. RESULTADOS OBTIDOS POR BIOMETRIA. LETRAS MAIÚSCULAS COMPARAM OS MESMOS PREPAROS DO AMENDOIM, DENTRO DOS PREPAROS DA CANA. PLANALTO/SP. 30

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DAS RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928, SUBMETIDA A DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MANEJOS DE SOLO REALIZADOS ANTES E APÓS CULTIVO DE AMENDOIM EM SUCESSÃO, CONSIDERANDO A CAMADA DE 0-100 CM. AMOSTRAGEM REALIZADA AOS 240 DAP. PLANALTO/SP. 26

TABELA 2. BIOMETRIA DA COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR VAR. RB96-6928. PLANALTO/SP. 29

1. INTRODUÇÃO

A área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no Brasil é estimada em 8,1 milhões de hectares, dos quais mais de 50% estão concentradas no Estado de São Paulo. Dessa área, um percentual é destinado anualmente para reforma, sendo que em média, nos últimos 10 anos, foram reformados 517 mil ha^{-1} ano (CONAB, 2022).

A reforma dos canaviais é uma prática importante para aumento da produtividade média dos empreendimentos do setor sucroenergético, pois: permite a substituição de variedades, a melhoria na fertilidade do solo, o auxílio no controle de pragas e doenças, os quais são proporcionados pelo cultivo de culturas comerciais ou espécies de adubos verdes (BOLONHEZI et al., 2014).

Na reforma de canaviais tem sido crescente a adoção do sistema conhecido como MEIOSI (método inter-rotacional ocorrendo simultaneamente). Desenvolvido no início dos anos 80 (BARCELOS, 1984), esse sistema se expandiu devido ao uso de GPS nos tratores modernos, com o qual é possível manter o paralelismo entre os sulcos de plantio. O sistema consiste no plantio de fileiras de cana-de-açúcar, que servirão de mudas para plantio, após o cultivo das culturas (soja, amendoim e crotalárias) nas faixas intercalares.

De acordo com censo varietal do IAC, considerando um universo amostral de 750 mil hectares reformados na região Centro-Sul na safra 2019/20, em cerca de 28% empregou-se a MEIOSI com uso de mudas pré-brotadas, nos quais o pousio, o amendoim, a soja e os adubos verdes, representaram respectivamente; 19%, 11%, 34% e 36% das opções de cultivos intercalares (BRAGA JÚNIOR et al., 2021).

O uso de mudas pré-brotadas, a predominância de colheita mecanizada sem queima prévia, a utilização de subprodutos da agroindústria canavieira, a aplicação do conceito de ambientes de produção baseado na pedologia e o cultivo de leguminosas em sucessão durante a reforma dos canaviais, são tecnologias que

conferem sustentabilidade na produção sucroenergética no Brasil (ROSSETO et al., 2022).

No entanto, a presença de altos níveis de compactação decorrente da intensa mecanização da colheita, o aumento de infestação de insetos-pragas de difícil controle (*Sphenoforus levis e* migdolus) e a necessidade de incorporar corretivos e fertilizantes, contribuem para aumentar o número e a intensidade das operações de preparo do solo por ocasião da renovação (BOLONHEZI et al., 2019)

A ocorrência de compactação após anos de colheita mecanizada é um dos grandes desafios na reforma. O impacto da compactação sobre as raízes da cana-de-açúcar ocorre pois, mais de 60% da biomassa radicular concentra-se nos primeiros 40 cm de solo (LOVERA et al., 2021) e o crescimento fica prejudicado quando os valores de densidade do solo forem superiores a 1,5 e 1,7 g/dm^{-3}, respectivamente para solo argiloso e arenoso (BARBOSA et al., 2018). Da mesma forma, o crescimento das raízes é severamente afetado, quando os valores da resistência mecânica à penetração superiores são superiores a 2,0 MPa nas camadas superficiais (OTTO et al., 2011).

Para mitigar os efeitos da compactação em canaviais, por ocasião da reforma são empregados diferentes preparos de solo, associado ou não com controle de tráfego, técnicas que favorecem o crescimento do sistema radicular e podem conferir aumento na produtividade de colmos entre 8,2 e 10,3 $t\ ha^{-1}$ (ESTEBAN et al., 2018). Todavia, em decorrência do preparo intensivo, aumentam as ocorrências de erosão nos canaviais reformados, sobretudo quando se cultiva o amendoim como cultura na sucessão. Em um ranking de 27 culturas em termos de perdas de solo, o amendoim está na quarta posição, com as médias de perdas de 27 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ (ANACHE et al., 2017).

Por outro lado, de acordo com MARTINS FILHO et al. (2009), a manutenção de 50 e 100% do palhiço oriundo da colheita mecanizada de cana crua, proporciona redução de 65 e 87 % de perdas de solo por erosão. Portanto, é desejável que novas configurações de manejos de solo sejam adotadas por ocasião da reforma, com intuito

de minimizar os efeitos negativos da compactação, sem expor a superfície do solo aos processos erosivos.

Existem resultados de pesquisa que demonstram viabilidade da adoção de preparos conservacionistas do solo para a cultura do amendoim (ORMOND et al., 2018), entretanto na literatura são escassos trabalhos sobre a influência desses preparos e a interação com os preparos realizados para a cana-de-açúcar cultivada em sucessão. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo estudar o impacto sobre as raízes e produtividade de colmos da variedade de cana RB966928, plantada em diferentes manejos de solo em sucessão com amendoim.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

Segundo a CONAB (2022), a área cultivada com cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira, na safra 2022/23, está estimada em 8.127,7 mil hectares, redução de 2,6% em relação à área colhida em 2021/22, por causa da alta procura para o cultivo de soja e milho, em decorrência dos preços atrativos. Já produtividade média, no País, esperada para a cana-de-açúcar, na safra 2022/23, é de 70.484 kg/ha, 1,6% superior a 2021/22. A estimativa para o volume de produção de cana-de-açúcar é de 572.874,9 mil toneladas, decréscimo de 1% em relação ao ciclo 2021/22. O índice nacional da colheita mecanizada é estimado em 88,9%, enquanto o uso da colheita manual é de 11,1%. Em São Paulo, responsável por aproximadamente 51% da área colhida nacional, o índice de colheita mecanizada saiu de 62,7%, na safra 2010/11, para 97,6% na safra 2022/23.

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L*.) é uma *Poaceae* semi-perene amplamente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais. De acordo com Evans (1935), a cultura possui um sistema radicular composto por três classes de raízes, sendo elas as superficiais absorvedoras, as fixadoras e as cordão (entrelaçadas). Através do cruzamento das espécies *S. spontaneum* e *S. officinarum*, novas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) foram surgindo, aliando a rusticidade com a alta produtividade (GOMES; LIMA, 1964).

A evolução se deu por meio de estudos que partiram para melhoramentos genéticos capazes de trazer à planta maior capacidade de produção, mais resistentes às condições de solo e climáticas tendo hoje mais de 100 espécies registradas. A sua produção e cultivo são de longa duração (12 a 18 meses em média), o que faz com que a planta precise se adaptar às quatro estações do ano, enfrentando o verão, o inverno e períodos de chuva e sequidão (GUIMARÃES, 2017).

GUIMARÃES (2017) cita que em estação longa, com umidade no solo, alta incidência dos raios solares, quente, são as condições para uma produção máxima

de açúcar, onde a planta usa 148 a 300 g de água para produzir 1 g de substância seca.

SILVA (2019) aponta que tanto a produção canavieira quanto a qualidade do produto são beneficiadas se o lugar e o solo disponibilizarem as quantidades ideais de água e nutrientes, principalmente nos três primeiros estádios (germinação, perfilhamento e crescimento intenção) fazem total diferença, quando combinado a uma determinação restrição de água no estádio final (maturação).

Conhecendo o manejo ideal, os fatores agronômicos, ambientais e fisiológicos, aliados a genética da planta é possível ter bons resultados e evitar prejuízos econômicos com os desafios que surgirem no meio da produção canavieira, resultando em um sucesso na produção (BARBOSA, 2019). BRAGA JÚNIOR et al., (2021) citam também que, conhecer os desafios da região, posicionar as variedades em suas respectivas regiões, ter profissionais capacitados e instruídos para levar a informação até o produtor, são questões fundamentais para que se tenha uma produtividade suficiente, evitando ao máximo os prejuízos que possam ocorrer na produção canavieira.

2.2 Plantio Direto e Cultivo Mínimo para cana-de-açúcar

As pesquisas sobre plantio direto de cana-de-açúcar realizadas no passado, na maioria dos casos, não contemplaram rotação de culturas e foram realizadas em condição de cana queimada (MUTTON, 1983, STOLF, 1985). Predominam resultados de cana sobre palha de cana, ou estudos nos quais o preparo era realizado antes da cultura de sucessão. DIAS (2001), avaliaram em dois tipos de solos com palhiço na superfície, o efeito de quatro preparos (aração com aiveca; grade aradora; dessecação +subsolagem e somente dessecação) sobre as características agronômicas e tecnológicas de três variedades de cana-de-açúcar (RB 85-5257, RB 85-5536, RB 85-5113). Concluíram para cana planta e primeira soca, que não houve diferença significativa entre produtividade, todavia em relação ao sistema convencional, o plantio direto apresentou menor margem de contribuição. Os poucos

resultados de pesquisa que avaliaram o plantio direto com plantio prévio de leguminosas, utilizaram adubos verdes e não cultura comercial.

Para as condições da região canavieira Norte Fluminense, DUARTE Jr. & COELHO (2008), compararam o sistema plantio direto de cana-de-açúcar em sucessão com três adubos verdes (mucuna preta, *Crotalaria juncea* e feijão-de-porco), em relação ao convencional com pousio. Concluíram que a produtividade de cana no plantio direto sobre resíduos de adubos verdes foi em média 36,9 $t.ha^{-1}$ maior.

No Brasil, a cana-de-açúcar é manejada atualmente sob diferentes sistemas de preparo, identificados como preparo convencional, plantio direto e preparo mínimo (FARHATE et al., 2020).

Segundo BARBOSA (2015) o preparo convencional utiliza-se de implementos que promovem a inversão e o revolvimento total do solo e destorroa e nivela a superfície do solo, o preparo reduzido combina técnicas que diminuem o número de operações e uso de implementos menos agressivos ao solo e o plantio direto que ocorre sem o preparo prévio do solo, apenas com a sulcação anterior ao plantio, onde a maior parte da superfície do solo permanece coberta com restos culturais.

Em termos gerais, o sistema convencional de preparo de solo intensifica a degradação do solo e, com o intuito de reduzir esses problemas, vêm sendo adotados métodos como o preparo reduzido e o plantio direto (PEREIRA et al., 2011). De acordo com STORINO et al. (2010), o excessivo uso de equipamentos pesados no preparo do solo pode aumentar a erosão (devido ao terreno ficar descoberto de material vegetal), a compactação nas camadas subsuperficiais e o aumento do escoamento superficial da água. O sistema plantio direto vem sendo adotado nas propriedades rurais brasileiras, porém, no cultivo da cana-de-açúcar é pouco utilizada (BARBOSA et al., 2019).

FUENTES-LLANILLO et al., (2021) realizou um levantamento entre 2006 e 2017, e registrou um aumento de 84,9 % na área de cultivos anuais em prática de plantio direto no Brasil, passando de 17,9 para 33,0 milhões de ha^{-1}. Autor cita também que, o número de propriedades sob a prática de plantio direto passou de 507 mil para mais de 553 mil, um aumento de 9,2%. Na região Sudeste, a área sob a prática de

plantio direto passou de 1,4 para 2,9 milhões de ha^{-1}, um aumento de 107,4%. O Estado de São Paulo na área de plantio direto expandiu 113,0 %, considerado um ótimo crescimento, porém muito menor do que o esperado em relação ao potencial da região, devido à lenta velocidade de conversão da cultura da cana-de-açúcar em sistema plantio direto. Entretanto, vem ganhando aceitação no cultivo da cana-de-açúcar como uma estratégia conservacionista para a preservação do solo (BLANCO-CANQUI & RUIS, 2018).

As práticas de manejo conservacionista são uma das estratégias para mitigar o impacto do maquinário intenso (SILVA-OLAYA et al., 2017). BLAIR (2000), esclarece o revolvimento do solo em condição de palhiço de cana acumulado ao longo dos anos, proporciona perdas de 67% no carbono, em comparação com área mantida sem preparo. Algumas abordagens geralmente recomendam reduzir ou eliminar as práticas de preparo do solo para manter a agregação natural (POEPLAU et al., 2015). Trabalhos apontam que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima sob sistema de plantio direto, favorece a manutenção das raízes (LOVERA et al., 2021) e reduz o custo de implantação do canavial em até 40% (BOLONHEZI, 2013).

2.3. O sistema radicular da cana-de-açúcar e metodologias de avaliação

As raízes da cana-de-açúcar apresentam-se dividida entre raízes superficiais de absorção, as quais se originam os primórdios radiculares, raízes de sustentação, possuindo grande quantidade de pelos radiculares e crescimento ativo e, raízes-cordão, sendo as mais profundas e apresentando como principal função a absorção de água (EVANS, 1935).

VAN DEN BERG et al. (2000) descreveram que a produtividade da cana- de-açúcar está amplamente relacionada ao volume do seu sistema radicular. Diversos fatores influenciam no crescimento das raízes da cana como a proporção de elementos minerais no solo, o teor de água no mesmo, a porosidade, a presença de elementos tóxicos subsuperficiais e o sistema de manejo utilizado para sua implantação demostrando a importância de um solo bem manejado (RAIJ et al., 1996).

A distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo é diferente a cada corte realizado. Enquanto as raízes da cana-planta (primeiro corte) se distribuem melhor em profundidade, as da cana-soca (segundo corte em diante) concentram-se mais na camada superficial (BACCHI, 1983). Isso foi verificado por ALVAREZ et al., (2000) que, ao analisarem o sistema radicular da soqueira da cana, constataram que 70% das raízes se concentram entre a profundidade 0 e 0,2 m. Em termos gerais, o sistema radicular da cana-de-açúcar pode atingir entre 2 e 6 m de profundidade, renova-se quase integralmente após a colheita e apresenta 63% da biomassa concentrada nos primeiros 30 cm (SMITH et. al, 2005).

Após o corte da cana, o sistema radicular antigo ainda se mantém vivo por algum tempo, suprindo as necessidades da soqueira, até que novos perfilhos possam emitir suas próprias raízes e, assim, o sistema radicular é totalmente renovado a cada corte, sendo que a biomassa de raízes velhas pode ultrapassar 5 t ha^{-1} de matéria seca, valor significativo em termos de sequestro de carbono (BEAUCLAIR & SCARPARI, 2007).

Resistência à penetração no solo é um fator que reduz o crescimento radicular da cana-de-açúcar que, quanto maior for, menor será o potencial de absorção de água e nutrientes pelas raízes (OTTO et al., 2011).

Pode haver também prejuízo financeiro em caso de acidez e saturação do solo por alumínio elevada, pois necessitará de correções para adequação à planta (OLIVEIRA et al. 2010). Uma eventual degradação do solo e compactação são fatores relatados em diversos estudos como prejudiciais para o crescimento da planta, pela inibição do desenvolvimento do sistema radicular (BARBOSA et al, 2019; AWE et al., 2020).

A avaliação do sistema radicular é de fundamental importância para a compreensão das características da cultura. Diante disso, ATKINSON (2000) propôs os princípios mais importantes para esse tipo de avaliação, que consistem em quantificar a massa, o comprimento e a área das raízes, além de analisar os parâmetros que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular,como a acidez do solo, a porosidade e a quantidade de água e nutrientes disponíveis. Porém FANTE JUNIOR et al., (1999) destacaram que ainda existem muitos desafios para o estudo

do sistema radicular, como a rápida degradação das raízes mais finas e a diferença entre o ambiente edáfico, que pode proporcionar diferentes comportamentos nas raízes.

Diversos métodos podem ser utilizados para a análise do sistema radicular, mas de acordo com VASCONCELOS (2002), não existe uma metodologia única para esse tipo de avaliação pois os dados podem ser diferentes de acordo com; as condições físico-químicas do solo (além do seu manejo), a cultivar utilizada e as características biológicas do solo também. Outros pontos importantes para a escolha do método adequado é se as raízes serão retiradas do solo, a mão-de-obra disponível para a amostragem das mesmas e o intuito do estudo (OTTO et al., 2009).

Dentre os métodos mais utilizados para a análise do sistema radicular, juntamente com a sua biomassa, estão os do monólito, que é considerado o padrão para a amostragem (KÖPKE, 1981) e o da sonda amostradora. Além disso, um método bastante utilizado, mas que não se pode obter a biomassa radicular é o do perfil, onde é escavada uma trincheira próxima a planta para a quantificação do número de raízes (BÖHM, 1979). Vasconcelos et al. (2003), compararam cinco métodos para avaliação do sistema radicular de duas variedades cana-de-açúcar (IAC87-3396 e RB85-5536), a saber; método do trado, monolito (matéria seca), monólito (comprimento), perfil cultural (comprimento) e perfil (contagem). Concluíram que o método do trado com duas subamostras, superestimou a quantidade de raízes e que os métodos baseados no perfil cultural apresentaram os menores coeficientes de variação. Além disso, verificaram que os atributos físicos e químicos têm influência sobre a razão entre comprimento e massa, para as comparações entre variedades, sistemas de colheita e profundidade de amostragem. Azevedo et al. (2011) através de estudo de métodos de avaliação do sistema radicular em três sistemas de manejo do solo, concluíram que o método da contagem das intersecções de raízes (CIR) foi cerca de 10 vezes mais rápido que os convencionais (removem amostras) e pode ser utilizado para comparar sistemas de manejo. Estes autores não mencionaram resultados comparativos entre os sistemas de manejo estudados, mas somente comparação entre os métodos.

O método do trado ou sonda amostradora, foi primeiramente testado e aperfeiçoado em nossas condições por FUJIWARA et al. (1994). Esse método tem sido bastante utilizado atualmente (LOVERA et al., 2021) pela praticidade e possibilidade de fornecer além da biomassa seca, outras informações complementares, as quais são obtidas pela geração de imagens. Ao término da amostragem, as raízes são escaneadas e digitalizadas e analisadas por meio de programas computacionais para a verificação do diâmetro, comprimento e área das mesmas. Dentre eles, pode-se citar o Safira®,que foi desenvolvido por pesquisadores da Embrapa (JORGE & OLIVEIRA RODRIGUES, 2008).

Não são encontrados na literatura, trabalhos sobre raízes de cana-de-açúcar, com uso de técnicas mais modernas de imagens através de mini-rhizotrons, ao contrário de outras culturas como o trigo (MUÑOZ-ROMERO et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O ensaio foi instalado na safra 2019/20 na cidade do Planalto, Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). O solo no local foi classificado como LATOSSOLO Vermelho-Amarelo álico, textura arenosa (18% de argila), de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos., 2018). As coordenadas geográficas do local estudado são 21º 02' 06” S e 49º 55' 48” W, e está localizado a 423 m acima do nível do mar. O clima da região é classificado como AW, tropical com invernos secos e verões chuvosos, com temperatura média anual de 23,4^{oC} e precipitação média anual de 1465 mm (Alvares et al., 2013).

Figura 1. Imagem aérea da área experimental situada no município de Planalto, Estado de São Paulo, Brasil.

O experimento foi implantado em talhão comercial com histórico de cana-de-açúcar cv. RB855156, que foi colhida sem queima por sete anos. Em área de 27 hectares foi feita a sistematização para reforma com sistema MEIOSI, em seguida, foram destinados 2,24 hectares (8,3%) para produzir cana-de-açúcar (linha mãe) e 24,7 hectares intercalados (91,7%) para a produção de amendoim. O último corte foi realizado em 30 de maio de 2019 e a quantidade de palha na superfície do solo foi de 20,7 T ha^{-1}. De acordo com os resultados da análise química do solo foi aplicado 1,5 T ha^{-1} de calcário em superfície, para elevar o nível de V% em até 70%. Para o transplantio das linhas mãe no sistema MEIOSI, foi utilizado mudas pré-brotadas da cultivar RB966928 transplantadas no dia 07/10/2019 com preparo convencional, que foi realizado apenas para plantar uma linha de cana-de-açúcar espaçadas a 23,1 m.

3.2 Equipamentos e operações realizadas

As faixas entres as linhas de cana-de-açúcar foram usadas como parcelas para a implantação do amendoim (Figura 2), onde foi utilizado delineamento de blocos casualizados com quatro tratamentos: Preparo convencional (PC), Preparo reduzido (PR), Preparo localizado (PL) e Semeadura direta (SD).

Blocos	Linhas de cana	Tratamentos	Parcela	Área (ha)
	MEIOSI→	Bordadura	-	0,47
Bloco 1	MEIOSI→	Preparo convencional	1	0,99
	MEIOSI→	Preparo localizado	2	0,99
	MEIOSI→	Preparo reduzido	3	1
	MEIOSI→	Semeadura direta	4	1
Bloco 2	MEIOSI→	Preparo reduzido	5	1
	MEIOSI→	Preparo localizado	6	1
	MEIOSI→	Semeadura direta	7	1
	MEIOSI→	Preparo convencional	8	1
	MEIOSI→	Semeadura direta	9	1
Bloco 3	MEIOSI→	Preparo localizado	10	1
	MEIOSI→	Preparo convencional	11	1,01
	MEIOSI→	Preparo reduzido	12	1,01
	MEIOSI→	Preparo convencional	13	1,01
Bloco 4	MEIOSI→	Preparo reduzido	14	1,01
	MEIOSI→	Semeadura direta	15	1,01
	MEIOSI→	Preparo localizado	16	1,02
	MEIOSI→	Preparo convencional	17	1,02
Bloco 5	MEIOSI→	Preparo localizado	18	1,01
	MEIOSI→	Preparo reduzido	19	1
	MEIOSI→	Semeadura direta	20	1
	MEIOSI→	Bordadura	-	3,39

Figura 2. Disposição dos tratamentos nos intervalos das linhas de cana.

O Preparo Convencional (PC) foi realizado em junho / 2019 que compreendeu cinco operações: gradagem (grade pesada de 18 discos de 36'', subsolagem (subsolador de 7 hastes parabólicas espaçadas a 45 cm, profundidade de trabalho 50 cm), seguido gradagem (grade leve de 36 discos de 28'' e duas gradagens feitas com grade niveladora de 72 discos de 22''.

Para o Preparo Localizado (PL) utilizou-se o equipamento da Metalúrgica Carderoli, de quatro linhas, cada uma composta por disco de corte 26'' mais dois discos dentados de 12'' localizados nas laterais do disco de corte, deslocados para trás, seguidos da haste subsoladora (profundidade de trabalho 35 cm) do tipo reta

inclinada com ponteira alada, seguida de dois discos recortados de 20'' seguidos de dois corrugados de 20'' e rolo destorroador, esta máquina prepara uma faixa de 40 cm de largura.

No Preparo Reduzido (PR) foi utilizado subsolador com disco de corte 22'' posicionados a frente das 6 hastes do tipo reta inclinada com ponteira estreita 0,04m (GTS®, modelo Terrus DXS®) espaçadas 60 cm entre si (profundidade de trabalho de 0,45 m).

Para a Semeadura Direta (SD) e preparo reduzido foi utilizado semeadora adubadora John Deere®, modelo 1113, equipada com disco de corte ondulado 22'' à frente da haste escarificadora (profundidade de trabalho 25 cm) de distribuição de fertilizante, sistema de distribuição de sementes a vácuo, com disco duplo desencontrado, composta de seis linhas espaçadas de 90 cm. Para todos os tratamentos foi utilizado o mesmo modelo de semeadora adubadora, porém nos preparos localizado e convencional foi equipada com disco duplo desencontrado na distribuição de fertilizante, e sem disco de corte de palha. O preparo de solo reduzido e localizado foram feitos no dia 17/08/2019. O trator utilizado para as operações foi da marca John Deere, modelo 7200 4x2 TDA com 162 kW (220 cv) de potência.

Após a colheita do amendoim (março/2020), cada tratamento de manejo de solo já instalado, foi subdividido em três tratamentos: canteirizador mais aplicação de óxido de cálcio (C+O), canteirizador sem óxido de cálcio (C) e sulcação direta (S).

Por conseguinte, as 20 parcelas experimentais inicialmente instaladas na fase do cultivo de amendoim, a pesquisa passou a contar com 60 unidades experimentais, incluindo 04 sulcos que receberam a aplicação de óxido de cálcio e magnésio. Dessa maneira, a combinação dos tratamentos de manejo previamente estabelecidos com e sem preparo para plantio das mudas oriundas da MEIOSI, constituíram um total de 4 tratamentos principais e 3 secundários, dispostos em 5 repetições no campo (Figura 3).

BLOCOS	TRATAMENTOS	PARCELA	SUB-TRATAMENTOS	QTE LINHAS
Bloco 1	Convencional	1	C+O	4 L
		2	C	4 L
		3	D	8 L
	Cultivo em Faixas	4	C+O	4 L
		5	C	4 L
		6	D	8 L
	Cultivo Mínimo	7	C+O	4 L
		8	C	4 L
		9	D	8 L
	Semeadura Direta	10	C+O	4 L
		11	C	4 L
		12	D	8 L
Bloco 2	Cultivo Mínimo	13	C+O	4 L
		14	C	4 L
		15	D	8 L
	Cultivo em Faixas	16	C+O	4 L
		17	C	4 L
		18	D	8 L
	Semeadura Direta	19	C+O	4 L
		20	C	4 L
		21	D	8 L
	Convencional	22	C+O	4 L
		23	C	4 L
		24	D	8 L
Bloco 3	Semeadura Direta	25	C+O	4 L
		26	C	4 L
		27	D	8 L
	Cultivo em Faixas	28	C+O	4 L
		29	C	4 L
		30	D	8 L
	Convencional	31	C+O	4 L
		32	C	4 L
		33	D	8 L
	Cultivo Mínimo	34	C+O	4 L
		35	C	4 L
		36	D	8 L
Bloco 4	Convencional	37	C+O	4 L
		38	C	4 L
		39	D	8 L
	Cultivo Mínimo	40	C+O	4 L
		41	C	4 L
		42	D	8 L
	Semeadura Direta	43	C+O	4 L
		44	C	4 L
		45	D	8 L
	Cultivo em Faixas	46	C+O	4 L
		47	C	4 L
		48	D	8 L
Bloco 5	Convencional	49	C+O	4 L
		50	C	4 L
		51	D	8 L
	Cultivo em Faixas	52	C+O	4 L
		53	C	4 L
		54	D	8 L
	Cultivo Mínimo	55	C+O	4 L
		56	C	4 L
		57	D	8 L
	Semeadura Direta	58	C+O	4 L
		59	C	4 L
		60	D	8 L

Figura 3. Disposição dos tratamentos após a colheita do amendoim.

No dia 14/03/2020 uma parte da parcela foi preparada com canteirizador marca Carderoli, operação que também aplicou óxido de cálcio e magnésio na profundidade de 30 cm e na quantidade de 300 kg ha^{-1} de Oxyfertil® 6030 (30% de MgO e 60% de CaO). Para todos os tratamentos na operação de sulcação, foi aplicado 30, 160 e 50 kg ha^{-1} N, P_2O_5 e K_2O, na formulação 6-32-10, utilizando-se carreta sulcadora/adubadora adaptada pelo produtor (Figura 4). A “desdobra” das linhas mãe

da MEIOSI (variedade RB96-6928) realizada manualmente no dia 18 março/2020, com espaçamento 1,5 m, taxa de desdobra 1:16 (1 linha mãe de cana, forneceu rebolos para 16 sulcos).

Figura 4. Preparos da cana: canteirizador(a); carreta sulcadora/adubadora (b); Faixa do Cultivo Mínimo (c); Faixa da Semeadura Direta (d).

3.3 Avaliações realizadas

A resistência mecânica do solo à penetração foi medida em dois momentos. No mês de maio/2020 após o plantio da cana-de-açúcar (60 dias), no mês de fevereiro/2021, quando as plantas se encontravam com 330 dias após o plantio. As medições foram feitas em intervalos de profundidade de 0,01 m da superfície até 50 cm de profundidade, com penetrômetro digital (marca DLG, modelo PNT2000®) em duas posições de leitura (linha e entre linha) em pontos aleatórios dentro de cada

parcela. Os dados foram transferidos para o computador e os resultados foram expressos em MPa, sendo uma leitura realizada na linha e entrelinha da cana-de-açúcar. Concomitantemente, foram realizadas amostragens de solo para determinação do conteúdo de água no solo pelo método gravimétrico (Figura 5).

Figura 5. Avaliação de resistência mecânica do solo à penetração (a), amostragem do conteúdo gravimétrico de água no solo (b).

Mensalmente foram realizadas contagens do número de perfilhos, contabilizando em quatro pontos por parcela (1 metro cada ponto amostrado) e a quantidade de brotações presentes por metro. Na ocasião, foram coletadas as plantas presentes nesse metro de linha de cana-de-açúcar, cortando-se toda a parte aérea. De cada amostra foi retirada uma alíquota para secagem em estufa e determinação da biomassa seca. Esse procedimento foi realizado dos 60 aos 240 dias após plantio da cana-de-açúcar, totalizando-se 07 avaliações (Figura 6).

Figura 6. Contagem do número de perfilhos (a), coleta das plantas presentes no metro de linha de cana-de-açúcar, cortando-se toda a parte aérea (b).

Aos 270 dias (Dez/2020), foram coletadas 1200 amostras de solo para estudo das raízes utilizando-se o método da sonda amostradora (modelo SONDATERRA®) (Figura 7 a), posicionada em 3 pontos em cada lado da linha de plantio (15, 45 e 75 cm de distância) (Figura 7 b). As amostras foram retiradas nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. No Rhizolab/IAC, em Ribeirão Preto, as amostras foram lavadas, passadas em peneira com abertura de 0,5 mm, limpas e identificadas, para então serem mantidas em congelador. Após o descongelamento rápido, imagens destas raízes foram obtidas em scanner de mesa (Figura 7 c), e submetidas ao software Safira®, que forneceu informações sobre o comprimento, diâmetro, volume e área superficial de cada amostra, que após secagem foram pesadas para determinação da biomassa seca das raízes (Figura d).

Figura 7. Avaliação do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar.

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada no dia 05/07/2021. Foram realizadas amostragens para biometria em cada uma das 60 parcelas experimentais, onde foram retiradas amostras de um metro de cana-de-açúcar para determinação do comprimento, diâmetro, número de internódios, massa de colmos e produtividade final (Figura 8).

Figura 8. Biometria da cana-de-açúcar.

3.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada pelo software AGROESTAT (Barbosa & Maldonado, 2009) utilizando ANOVA e o teste de Tukey foi empregado para determinar a separação entre as médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfilhamento (Figura 9) diminuiu a partir da segunda amostragem (90 DAP), estabilizando-se aos 240 DAP com média entre 15 e 22 perfilhos por metro, resultados que concordam com ALVAREZ E CASTRO (1999), que citam sobre a ocorrência da morte de alguns perfilhos e estabilização próxima de 15 a 20 perfilhos por metro. SUGUITANI E MATSUOKA (2001), citam que após o ponto máximo de perfilhos, há um declínio, diminuindo até atingir a estabilidade. Essa é uma característica genética influenciada pelo ambiente e que contribui para estimar o potencial produtivo. Segundo THOMAS et al. (2016), a intensidade do perfilhamento depende de fatores como variedade, temperatura (entre 26°C e 30°C é o ideal), radiação solar, disponibilidade hídrica e outros fatores.

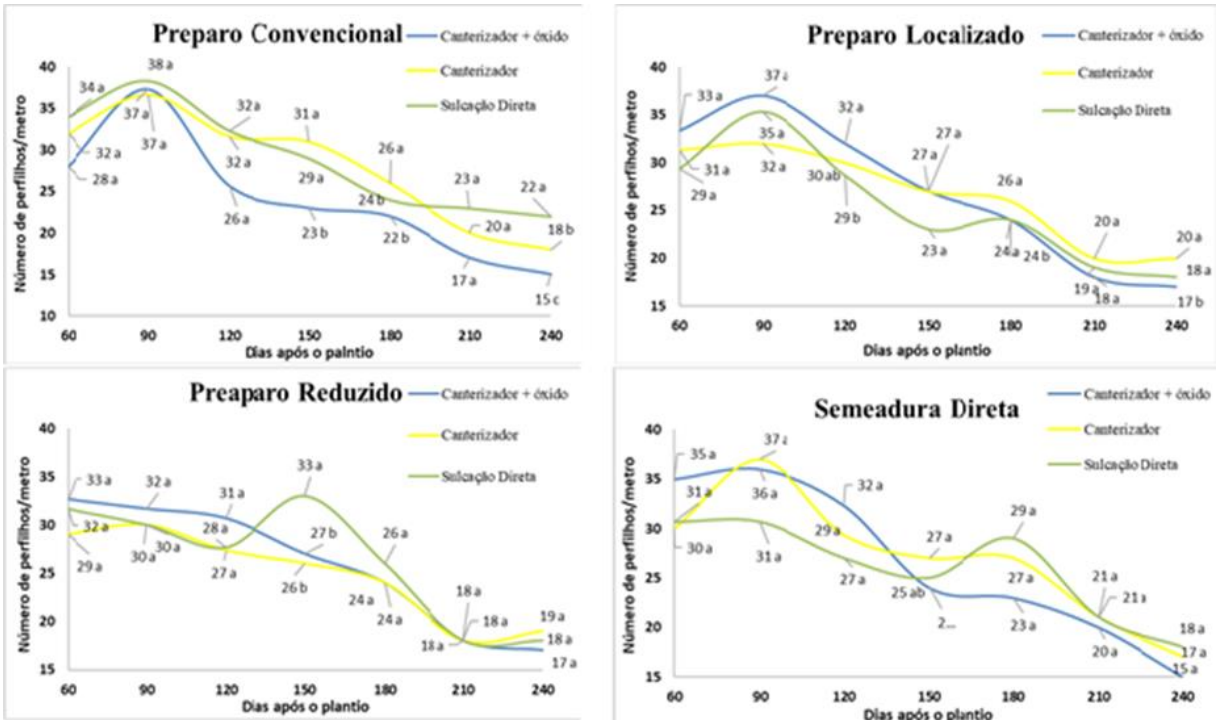

Figura 9. Perfilhamento da cana-de-açúcar var. RB96-6928 submetida a diferentes combinações de manejos de solo realizados antes e após cultivo de amendoim em sucessão. As letras comparam médias dos tratamentos de manejo realizado para cana-de-açúcar em diferentes. Planalto/SP.

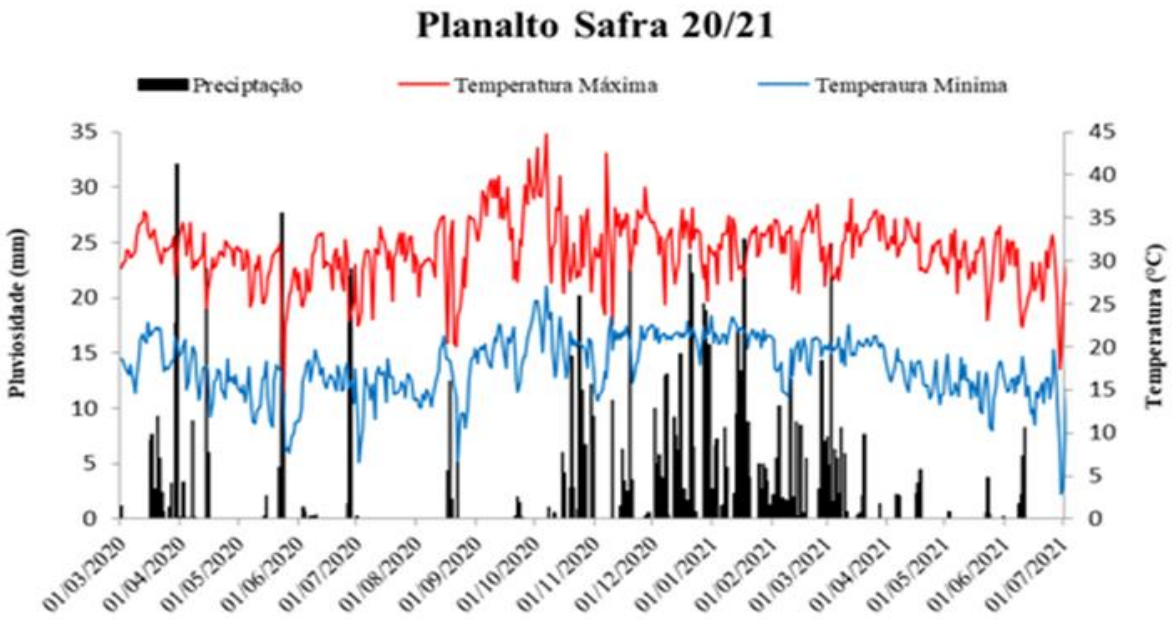

Figura 10. Distribuição das chuvas, das temperaturas máximas, mínimas no período compreendido entre 01/03/2020 até 01/07/2021. Planalto/SP.

Observa-se na Figura 10, que entre os 60 DAP e 90 DAP, ocorreram temperaturas abaixo do ideal e poucas chuvas, condição que contribuiu para a diminuição do número de perfilhos. Houve diferença estatística entre os preparos realizados para a cana-de-açúcar somente na condição de semeadura direta para o amendoim. Aos 150 DAP houve diferença estatística entre uso do canteirizador com e sem óxido de cálcio e a sulcação direta. Na última avaliação aos 240 DAP, para nenhum dos manejos prévios utilizados para o amendoim houve redução no perfilhamento quando se utilizou a sulcação direta para plantio da cana-de-açúcar. O maior número de perfilhos (22) foi contabilizado na sulcação direta combinada com preparo convencional para o amendoim, situação predominante no sistema de produção cana-de-açúcar/amendoim.

Com relação ao acúmulo da biomassa seca da parte aérea (Figura 11), também não foram verificadas diferenças significativas entre os preparos usados antes do plantio da cana-de-açúcar, exceto para avaliação realizada aos 240 DAP. Nessa avaliação houve interação significativa entre os preparos utilizados para o amendoim e para cana-de-açúcar. A sulcação direta proporcionou aumentos significativos na biomassa seca da parte aérea, somente quando se fez preparo reduzido antes do cultivo do amendoim. Da mesma forma, o canteirizador + óxido fez a diferença somente no preparo convencional.

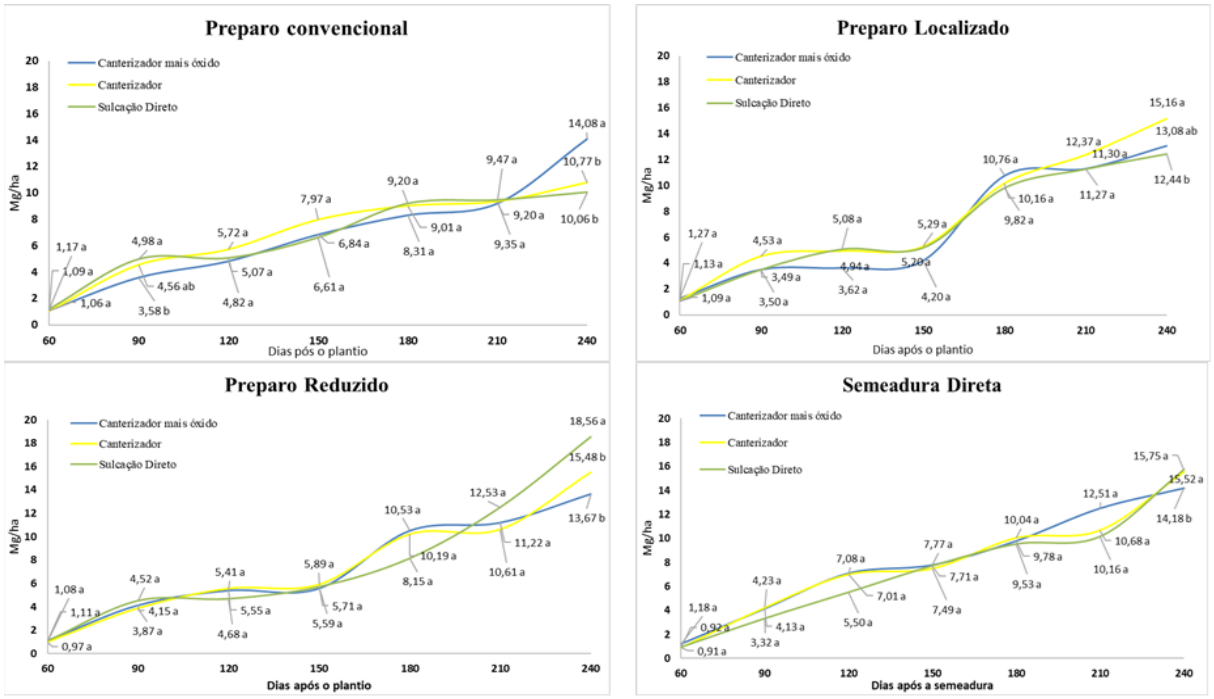

Figura 11. Biomassa seca da parte aérea da cana-de-açúcar var. RB96-6928, submetida a diferentes combinações de manejos de solo realizados antes e após cultivo de amendoim em sucessão. As letras comparam médias dos tratamentos de manejo realizado para cana-de-açúcar em diferentes datas de avaliação, pelo teste de Tukey (p <0,05). Planalto/SP.

As leituras da resistência mecânica do solo à penetração, demonstraram variação expressiva em função da época de leitura. A resistência mecânica do solo à penetração tem uma forte variabilidade espaço-temporal como é relatado por vários autores (GUEDES FILHO et al., 2010; KUHWALD et al., 2020). No período seco (Figura 12), na avaliação de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em maio/2020 após o plantio da cana-de-açúcar (60 DAP), verifica-se que a magnitude dos valores chegou acima de 10 MPa (a partir dos 30 cm), quando as leituras foram efetuadas na linha, e 15 MPa para a entrelinha. Observa-se ao longo do perfil do solo, que há diferença estatística entre os preparos de solo realizados antes do plantio da cana-de-açúcar. Os valores médios de RMSP foram menores na linha no tratamento sulcação direta quando se fez preparo convencional antes do amendoim, porém foram maiores no tratamento preparo reduzido em faixa. A sulcação direta sobre o

tratamento semeadura direta de amendoim, apresentou menores valores de RMSP, sobretudo na entrelinha, denotando que a manutenção do palhiço de cana associado aos resíduos do amendoim, reduziram as perdas de água do solo, contribuindo para diminuição da mesma.

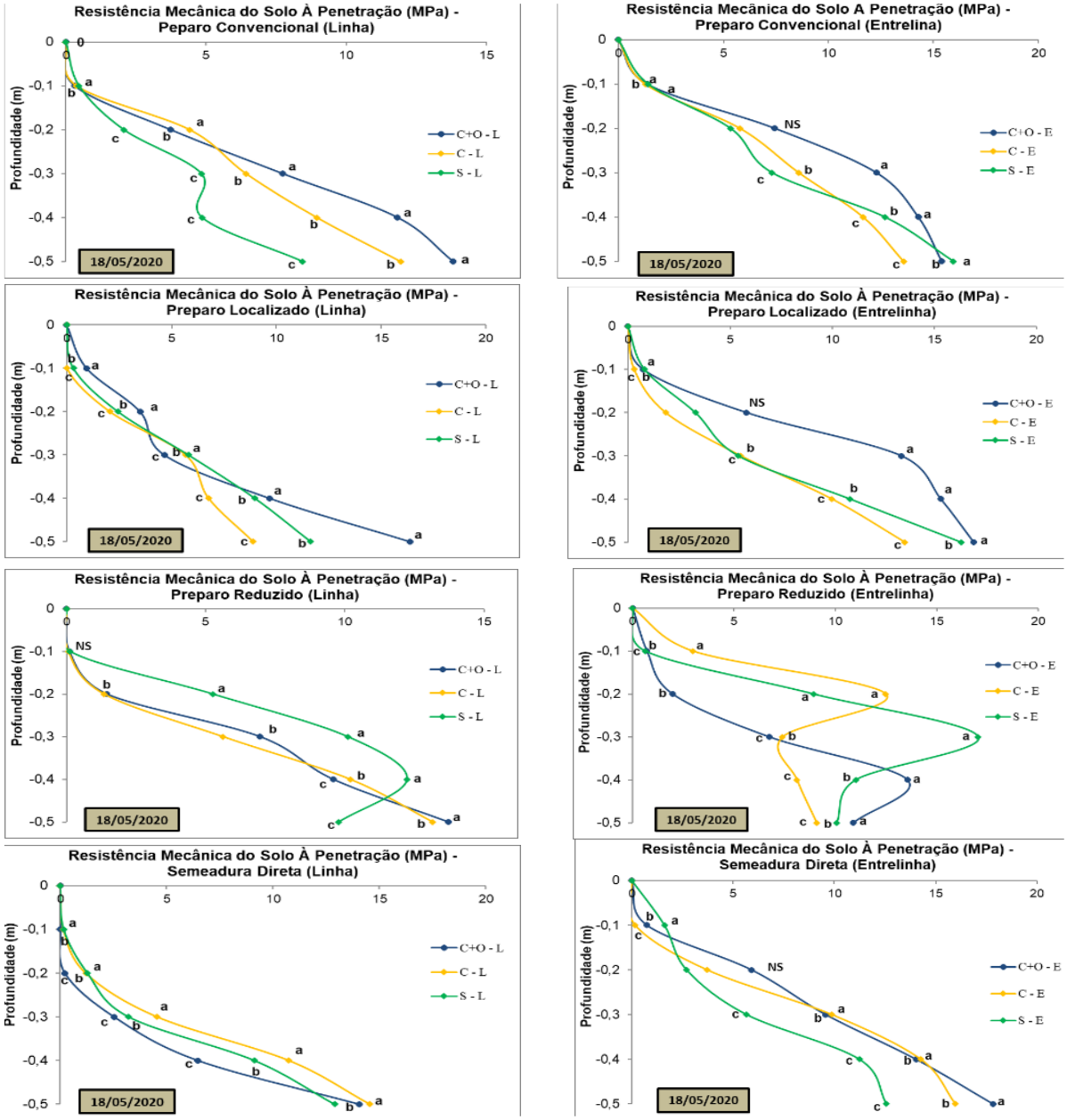

Figura 12. Resistência mecânica do solo à penetração em diferentes datas e posições de leitura ns: não significativo no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Planalto/SP.

No mês de fevereiro/2021 (330 DAP) (Figura 13), a magnitude dos valores de resistência à penetração até 30 cm de profundidade não ultrapassou 2 MPa, ou seja, cinco vezes menor, independentemente do manejo utilizado anteriormente no amendoim.

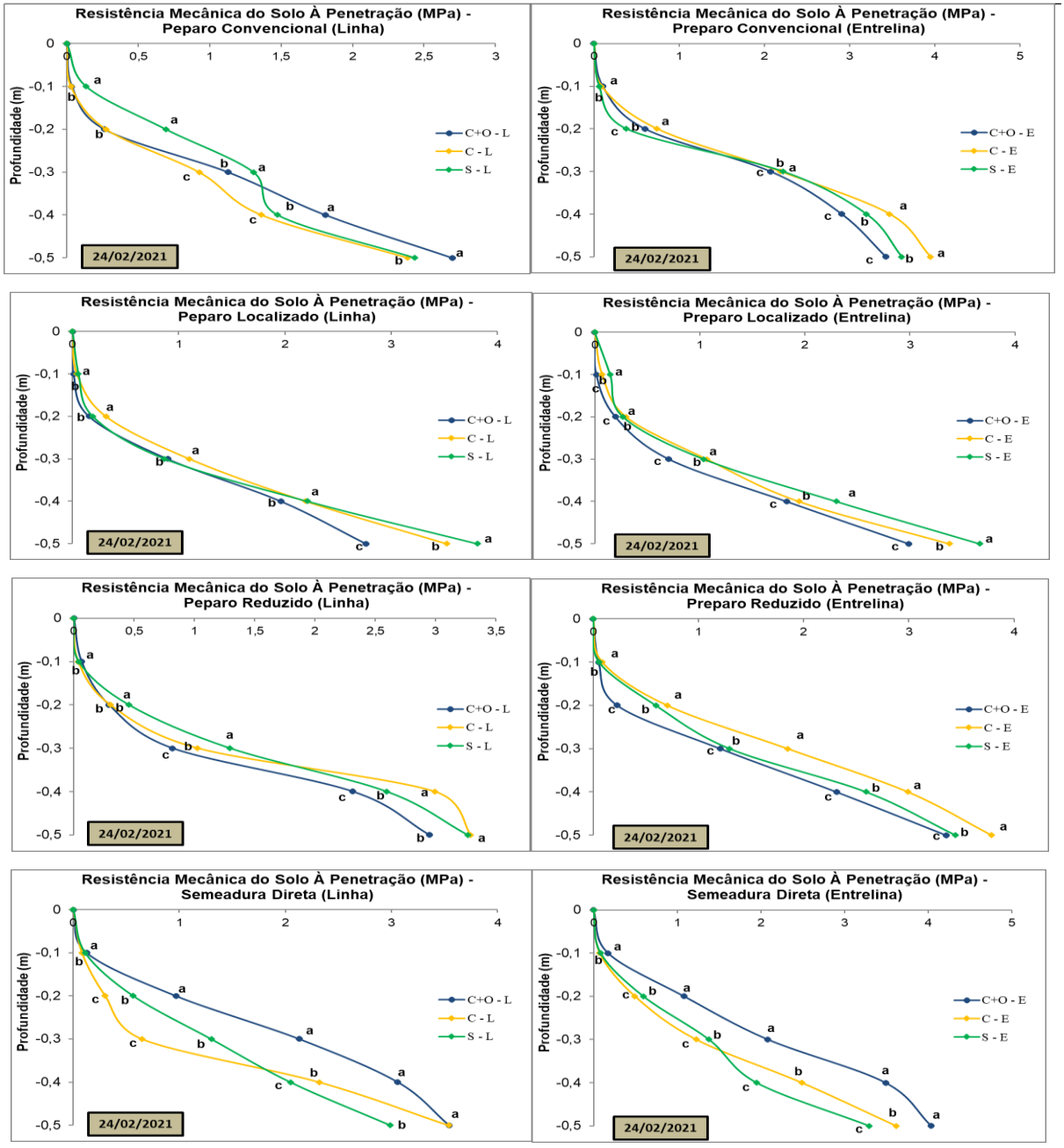

Figura 13. Resistência mecânica do solo à penetração em diferentes datas e posições de leitura ns: não significativo no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Planalto/SP.

Vale destacar, que esta avaliação ocorreu após a operação denominada “quebra lombo”, e após o período das chuvas (Figura 14). Isso demonstra que o preparo convencional realizado para o amendoim não se justificou para a cana-de-açúcar, afinal em termos de resistência não diferiu do plantio direto.

Considera-se como limite crítico para raiz da cana-de-açúcar valores de RP> 2,0 MPa e DS> 1,78 Mg m^{-3} (OTTO et al., 2011) ou RP> 1,5 MPa e DS> 1,7 para solos arenosos (BARBOSA et al., 2018). Vale lembrar que, o talhão reformado sofreu pressão de colheita mecanizada durante 7 cortes antes da reforma com amendoim.

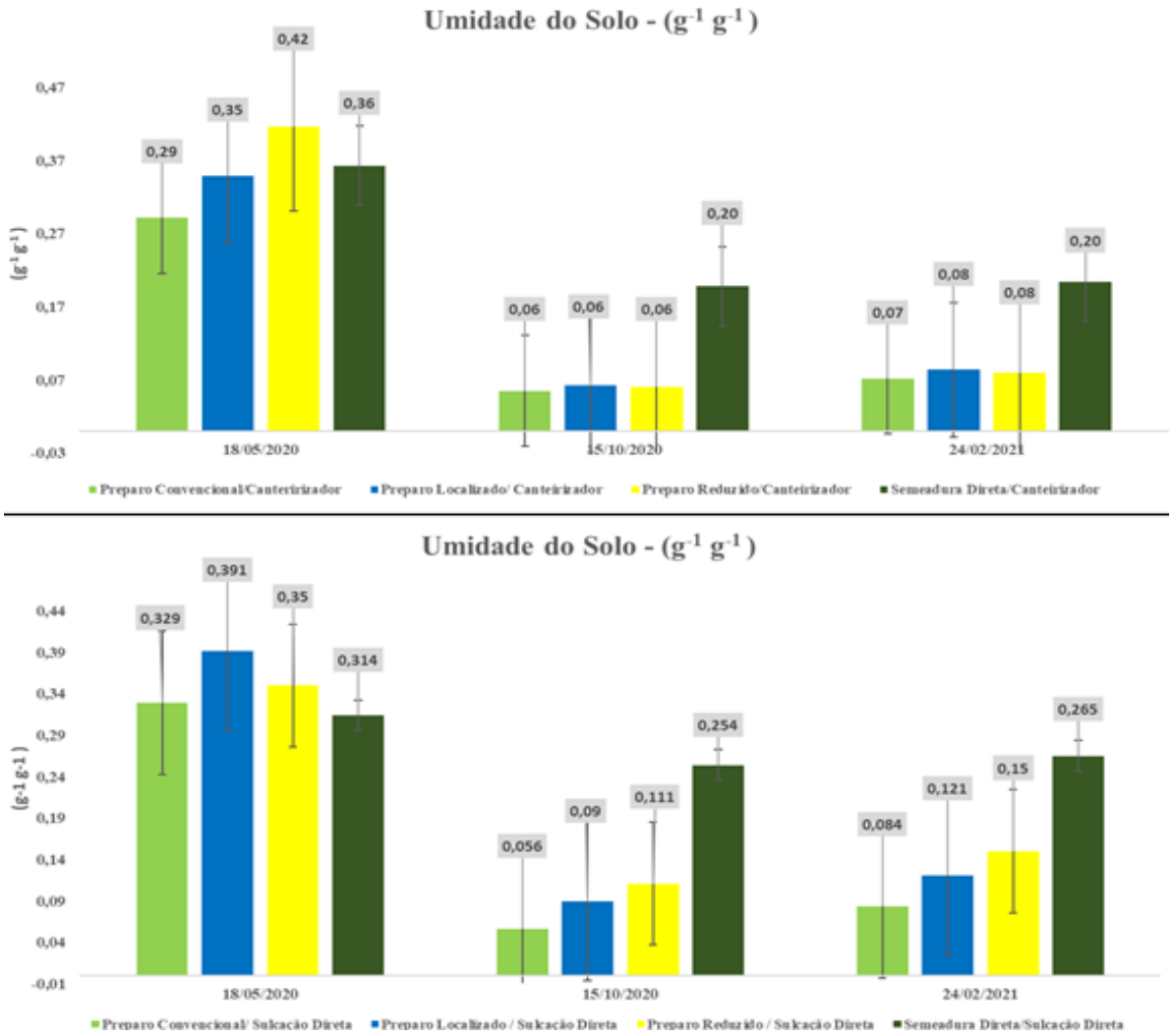

Figura 14. Conteúdo gravimétrico de água do solo em diferentes manejos conservacionistas para cultura do amendoim. Planalto, São Paulo, Brasil, 2019.

Em geral, mais de 70% da compactação do solo na cana-de-açúcar ocorre após a primeira colheita (GARSIDE et al., 1997), portanto, os benefícios observados no tratamento preparo convencional na fase do amendoim, não apresentou efeito residual para a cana-de-açúcar.

Quanto ao impacto desses manejos sobre as características das raízes da cana-de-açúcar (Tabela 1) observa-se que não houve interação significativa entre os manejos de solo e não foi constatada diferença estatística para nenhuma das características estudadas. Os altos valores de coeficiente de variação obtidos para essas características são comuns em virtude da alta variabilidade espacial, fato que dificulta o uso e interpretação dos testes estatísticos convencionais.

Tabela 1. Características das raízes de cana-de-açúcar var. RB96-6928, submetida a diferentes combinações de manejos de solo realizados antes e após cultivo de amendoim em sucessão, considerando a camada de 0-100 cm. Amostragem realizada aos 240 DAP. Planalto/SP.

Manejo no Amendoim (A)	**Volume (mm^3)**	**Diâmetro (mm)**	**Área (mm^2)**	**Comprimento ($m\ ha^{-1}$)**	**Biomassa ($kg\ ha^{-1}$)**
Semeadura Direta	10519,7	16,8	32057,4	7681814,5	1084,5
Escarificador	9161,2	16,4	26639,5	6641531,5	831,2
Preparo Loc. Faixa	8278,2	15,9	26663,4	6718986,8	1007,5
Preparo Convencional	7323,2	17,1	24772,8	6460302,4	838,0
Teste F.	0,41 ns	0,48 ns	0,41 ns	0,30 ns	1,08 ns
DMS (Tukey 5%)	8957	3,1	20699	4192875	509
Manejo na Cana (B)					
Sulcação Direta	9683,17	16,58	29815,7	7379901,4	999,3
Canterizador + Óxido	7958,03	16,5	25250,8	6371416,2	881,3
Teste F.	1,99 ns	0,03 ns	1,77 ns	1,48 ns	1,40 ns
DMS (5%)	3393,4	1,2	9518,5	2298349,6	277,0
Interação AxB	0,49 ns	1,27 ns	0,48 ns	0,52 ns	0,91 ns
CV% parcela	76,5	14,5	56,6	45,9	40,8
CV% subparcela	43,8	8,6	39,4	38,1	33,6

Em termos de distribuição percentual da biomassa no perfil (Figura 15), nota-se que o canteirizador + óxido de cálcio diminuiu o percentual na camada de 0-20 cm para a maioria dos tratamentos prévios de preparo do solo para a cultura do amendoim. Porém, os maiores percentuais de biomassa seca de raiz na camada abaixo de 40 cm de profundidade foram verificados no tratamento sulcação direta associado ao preparo reduzido para amendoim e canteirizador + óxido na condição de preparo convencional, os quais proporcionaram 6,3 e 3,0 % a mais, respectivamente. É importante salientar que, ocorreu severa deficiência hídrica após o plantio da cana-de-açúcar, que se estendeu até novembro de 2021. BUSO et al., (2009) citam que quanto mais profunda a camada que as raízes alcançarem, melhor será sua tolerância em períodos de seca, quando há baixa disponibilidade de água. FARONI et al. (2006) afirmam que o estudo do sistema radicular tem sido postergado devido às variabilidades de condições físicas, químicas e biológicas do solo, as quais influenciam a distribuição das raízes.

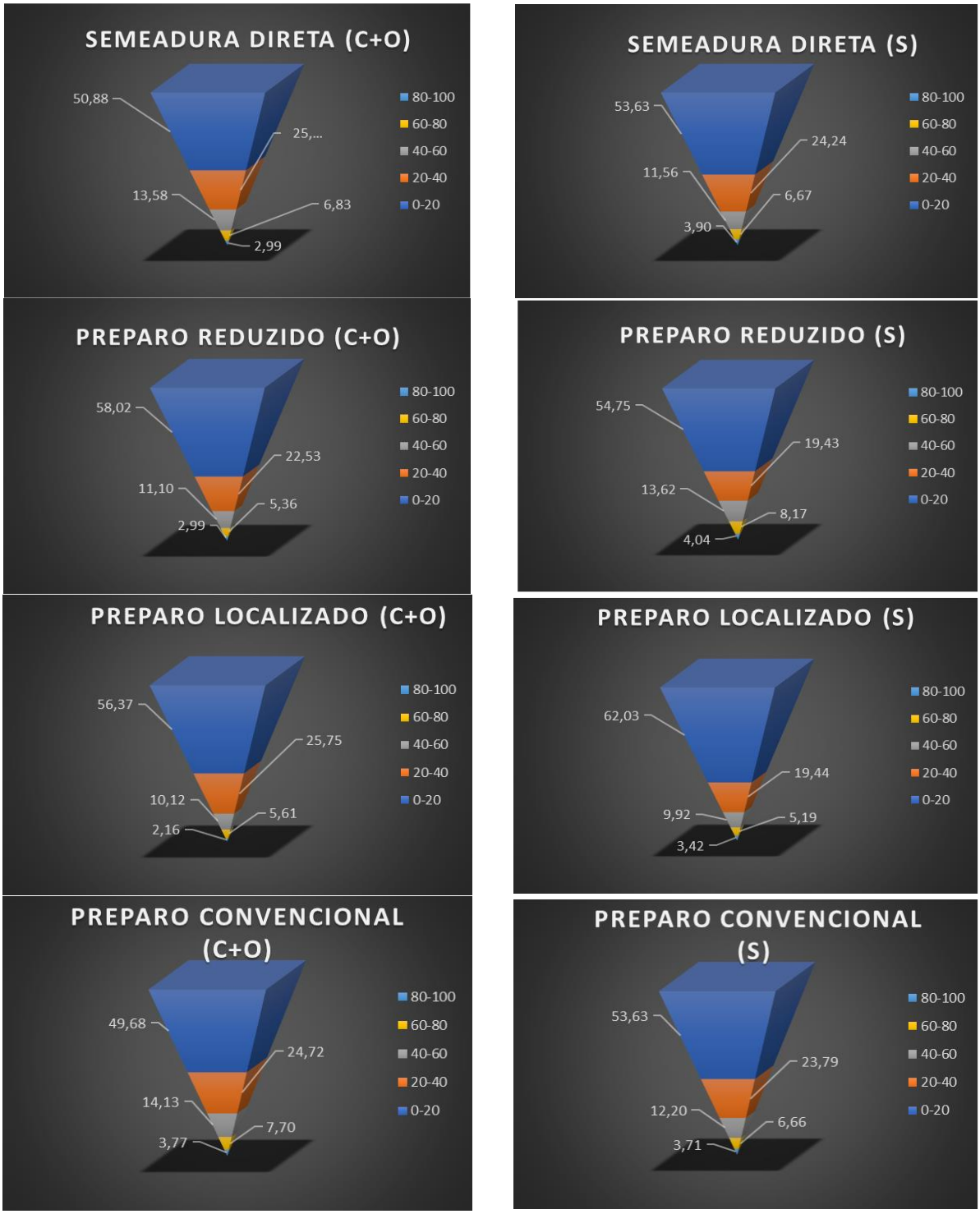

Figura 15. Distribuição percentual (%) da biomassa seca das raízes de cana-de-açúcar var. RB96-6928, submetida a diferentes combinações de manejos de solo realizados antes e após cultivo de amendoim em sucessão. Primeira amostragem (270 dias após o plantio, Dez/2020). Planalto/SP.

Com relação às características agronômicas não foram verificadas diferenças estatísticas entre os preparos de solo estudados (Tabela 2).

Tabela 2. Biometria da colheita da cana-de-açúcar var. RB96-6928. Planalto/SP.

Manejo no Amendoim (A)	**Número de Cana (1 metro)**	**Diâmetro (mm)**	**Altura (m)**	**Número de Internódios**	**Peso Colmos (kg)**	**Produtividade de (t ha^{-1})**
Semeadura Direta	13,47	24,1	2,65	26,56	17,09	104,95
Escarificador	14,07	24,57	2,62	24,04	18,83	112,69
Preparo Loc. Faixa	14	24,05	2,65	23,85	18,61	113,28
Preparo Convencional	13,67	24,53	2,64	23,83	19,15	105,32
Teste F	0,17 ns	1,03 ns	0,20 ns	1,25 ns	0,95 ns	3,45 ns
DMS (Tukey 5%)	2,9173	1,1388	0,1403	5,0034	3,9315	22,91
Manejo na Cana (B)						
Canterizador + Óxido	13,35	24,65	2,65	24,04	18,32	115,03
Canterizador	13,9	24,54	2,65	24,13	17,92	103,81
Sulcação Direta	14,15	23,74	2,62	25,54	19,04	108,34
Teste F	0,95 ns	2,62 ns	0,27 ns	1,02 ns	0,54 ns	0,76 ns
DMS (Tukey 5%)	1,6995	1,238	0,1149	3,37222	3,1231	13,1787
Interação AxB	1,27 ns	2,07 ns	1,42 ns	1,09 ns	2,26 ns	2,97*
CV% parcela	19,5	4,32	4,9	18,78	19,68	11,13
CV% subparcela	13,63	5,63	4,82	15,19	18,76	16,48

Para produtividade, houve interação significativa entre os dois fatores estudados (preparos realizados para o amendoim e para cana-de-açúcar). No desdobramento da interação apresentado na Figura 16, pode-se observar que os preparos convencionais do solo, realizados nas duas culturas e a associação do preparo localizado para amendoim, seguido pela sulcação direta para a cana-de-açúcar, proporcionaram respectivamente, a menor (91 t ha^{-1}) e a maior (133 t ha^{-1}) produtividade de colmos na cana planta. Provavelmente os benefícios da subsolagem realizada no preparo convencional tiveram sua eficiência reduzida em decorrência das três operações com grade antes da semeadura do amendoim. Por outro lado, no

preparo localizado, embora a distância entre as hastes subsoladoras seja de 0,90 m, ocorreu a manutenção de resíduos na superfície do solo, favorecendo assim boas condições para a manutenção de água no solo, mas com os benefícios do rompimento de camadas compactadas presentes após anos de colheita mecanizada.

Verifica-se também na Figura 16, que a sulcação direta para cana-de-açúcar associada com preparo localizado antes do cultivo de amendoim proporcionou aumento de 13 t ha^{-1} em comparação com o preparo realizado com canteirizador.

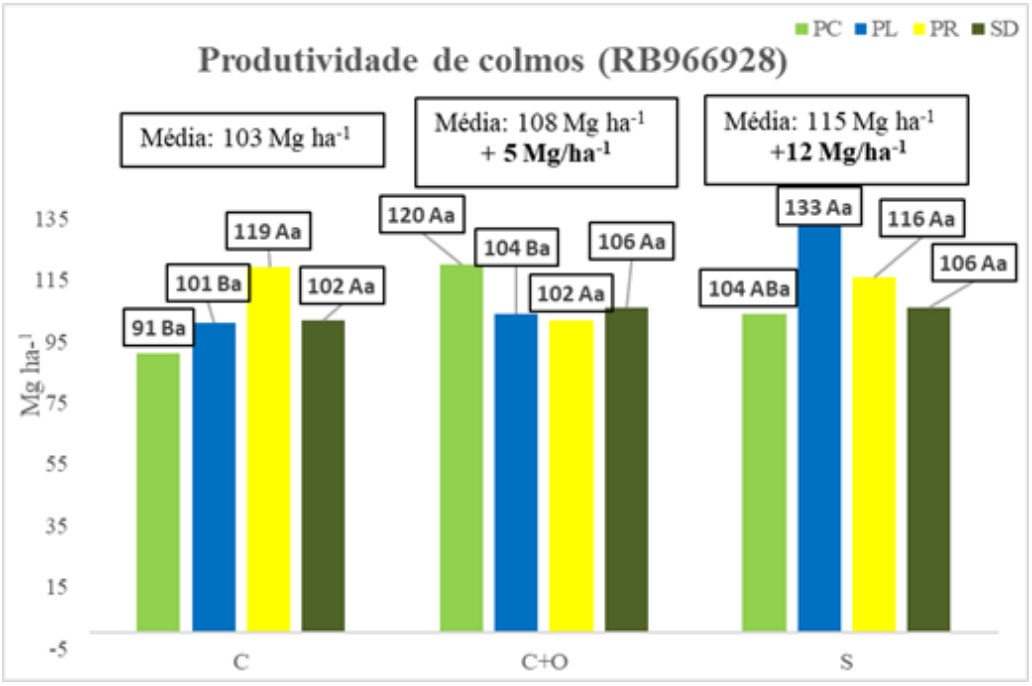

Figura 16. Produtividade de colmos no primeiro corte da cana-de-açúcar var. RB96-6928, submetida a diferentes combinações de manejos de solo realizados antes e após cultivo de amendoim em sucessão. Resultados obtidos por biometria. Letras maiúsculas comparam os mesmos preparos do amendoim, dentro dos preparos da cana.

A aplicação de óxido de cálcio e magnésio no manejo com canteirizador proporcionou ganhos de 24% na produtividade de colmos, somente quando foi realizado preparo convencional previamente na cultura do amendoim, sem diferenças estatísticas nos demais tratamentos. Considerando as médias dos preparos de solo realizados para a cultura do amendoim, verificou-se que o tratamento canteirizador,

canteirizador + óxido de cálcio e sulcação direta, proporcionaram produtividades de colmos de 100, 108 e 115 tha^{-1}, respectivamente.

AWE et al., 2020 não verificaram diferença significativa entre preparo convencional (aração e gradagem a uma profundidade de 20 cm), cultivo mínimo (escarificador, com três hastes escarificadoras, espaçadas de 80 cm, com profundidade média de trabalho de 30 cm) e plantio direto da cana-de-açúcar, todavia concluíram que altos níveis de compactação no plantio direto reduziu em 12 % a produtividade de colmos.

É importante salientar que a associação entre semeadura direta do amendoim e sulcação direta para cana-de-açúcar proporcionou aumento de 15 t ha^{-1} em comparação com o preparo convencional para amendoim e cana-de-açúcar. Entretanto, FUENTES-LANILHO et al. (2021) mencionam que o crescimento da adoção do plantio direto no Brasil, não aumenta na região sudeste devido à baixa adoção pela cana-de-açúcar. Portanto, além dos benefícios do controle da erosão, constatar ganhos de produtividade em relação ao comumente adotado em escala no setor sucroenergético, pode contribuir para mudar o cenário da canavicultura.

5. CONCLUSÕES

Mesmo observando maiores valores de resistência mecânica do solo à penetração, a associação de preparos conservacionistas, não prejudicou o sistema radicular e proporcionou ganhos de 15% na produtividade de colmos para a variedade RB966928. A aplicação de óxido de cálcio mostrou-se eficiente somente em condição de preparo convencional previamente ao cultivo de amendoim.

6. REFERÊNCIAS

Alfonsi, RR, Pedro Júnior, M. J., Brunini, O., & Barbieri, V. (1987) Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: Paranhos SB. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, p. 42- 55, v. 1.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas, PC, de Moraes Gonçalves JL (2013) Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical & Applied Climatology** 113(3–4):407–427.

Alvarez IA, Castro PRC, Nogueira MCS (2000) Crescimento de raízes de cana cruae queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola** 57:653-659.

Azevedo MCB, Chopart JL, Medina CC (2011) Sugarcane, root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agrícola** 68(1):94-101.

Anache JAA, Wendland EC, Oliveira PT, Flanagan DC, Nearing MA (2017) Runoff and Soil Erosion Plot-Scale Studies under Natural Rainfall: A Meta-Analysis of the Brazilian Experience. **Catena** 152:29–39.

Atkinson D (2000) Root characteristics: why and what to measure. In: Smith AL.; Bengough AG, Engels C, Van Noordwijk M, Pellerin S, Geijn SC. **Root methods**. Germany: Springer Berlin Heidelberg, p.1-32.

Awe GO, Reichert JM, Fontanela E (2020) Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research** 196:e104447.

Bacchi OOS (1983) Botânica da cana-de-açúcar. In: Orlando Filho J (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, p.24-37.

Barbosa LC, Souza ZM de, Franco HCJ, Otto R, Rossi Neto J, Garside AL, Carvalho JLN (2018) Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil. **Geoderma** 13:15-25. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.03.002

Barbosa A de M (2019) **Manejo varietal em cana-de-açúcar**.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2009) **Software AgroEstat**: Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

Barbosa LC (2015) **Atributos físicos do solo e desenvolvimento radicular da cana planta em diferentes sistemas de manejo**. 69 f. Dissertação (Mestrado em EngenhariaAgrícola) – Unicamp, Campinas.

Barbosa LC, Magalhães, PSG, Bordonal, RO, Cherubin, MR, Castioni, GAF, Tenelli, S, & Carvalho, JLN (2019) Soil physical quality associated with tillage practicesduring sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil and Tillage Research** 195:104383.

Barcelos JET (1984) Meiosi - Cana e Alimentos, método inter-rotacional ocorrendo simultaneamente. Saccharum. **Revista Tecnológica da Indústria Açúcareira Alcooleira** 8: 31.

Beauclair EGF, SCARPARI MS (2007) Noções fitotécnicas. In: Ripoli & Ripoli (Ed.) **Plantio de cana-de- açúcar**: Estado da Arte. (eds.). p.65-73

Blanco-canqui H, Ruis SJ (2018) Plantio direto e ambiente físico do solo. **Geoderma** 326:164-200, 2018.

Blair N (2000) Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research** 55:183-191.

Böhm W (1979) **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer Science & Business Media, 188p.

Bolonhezi D, Rossini DB, Frizzas A, Furlani CEA, Bolonhezi AC (2014) Conservation agriculture principles applied for brazilian peanut crop system. In: WORLD CONGRESS ONCONSERVATION AGRICULTURE **Proceedings...**, Winnipeg, p.140-144. CD-Rom.

Bolonhezi D (2013) Plantio direto e calagem na reforma de cana crua. **A Granja** 769(1):75-77.

Bolonhezi D, Lela RP (2019) Manejo conservacionista do solo para amendoim. In: Jammal DG (Org) **A cultura do amendoim e seus reflexos econômicos, sociais e técnicos**. Jaboticabal: AREA, p. 30-44.

Bolonhezi D, Gentilin Junior O, Scarpellini Junior, Bolonhezi D, Silva TL (2014) Sugarcane inNo-tillage and Liming Long-term Experiment: Fifteen Years fo Results. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE. **Proceedings…** Winnipeg:, p. 4-5.

BolonhezI D, Montezuma MC, Finoto E, Ivan LMA, Gomes GV, Palhares R, Gentilin Junior O, Bolonhezi AC (2010) Influence of conservation tillage and crop rotation on

sugarcane yield. In: CONGRESO DE LA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELO. **Proceedings...** Santiago: ISCO (International Soil Conservation Organization), Sociedade Chilena de Ciência do Solo,p.18-23.

Braga Junior RLC, Landell MGA, Silva DN, Bidóia MAP, Silva TN, Thomazinho Junior JR, Silva VHP, Anjos IA (2021) **Censo varietal IAC de cana-de açúcar no Brasil** – Safra 2018/19 e na região Centro-Sul - Safra 2019/20. Campinas: IAC, 72 p. (Boletim Técnico IAC, 225).

Braga Júnior RL (2021) **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil** - safra 2019/20 e na região Centro-Sul - safra 2020/21. Campinas: IAC. (Boletim técnico, 226).

Braunack MV, Arvidson J, Hakansson I (2006) Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research** 89:103-121, 2006.

Buso PHM, Koehler HS, Daros E, Zambon JLC, Ido OT, Bespalhok-Filho JC (2009) O sistema radicular da variedade RB855536 de cana-de-açúcar no plantioem minitolete e tolete. **Scientia Agraria** 10:343-349.

Camargo OA, Alleoni LR (1997) **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degas pari; 1997.

Castro AMC, Dos Santos KH, Miglioranza E, Gomes CJA, Marchione MS (2013) Avaliação de atributos físicos do solo em diferentes anos de cultivode cana-de-açúcar. **Agrarian** 6(22):415–422. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1964. Acesso em: 5 maio. 2022.

CONAB (2021) **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar – Quarto levantamentoompanhia Nacional de Abastecimento - Safra 2020/21. Brasília: CONAB, 57p. (v 7, n 4).

Dias FLF (2001) **Sistemas de preparo de solo em área de colheita mecanizada de cana crua**. 83 f. UNESP, Jaboticabal: FCAV-UNESP, 2001, 83 F. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Duarte Junior JB, Coelho FC (2008) Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema plantio direto. **Bragantia** 67(3):723-732.

Esteban, D. A. A. (2018) **Atributos do solo e desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar com diferentes espaçamentos de plantio e controle de tráfego**

(Doctoral dissertation, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Agrícola).

Evans H (1935) The root-system of the sugar-cane: I. Methods of study. **Empire Journal of Experimental Agricultura** 3:351–363.
Fante Junior L, Reichardt K, Jorge LAC, Bacchi OOS (1999) Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agricola** 56:1091-1100.

Fuentes-Llanillo R, Telles, TS, Junior, DS, de Melo, TR, Friedrich, T., & Kassam, A. (2021) Expansão da prática de plantio direto na agricultura deconservação no Brasil. **Pesquisa de Solo e Cultivo** 208:104877.

Farhate CVV, Souza, ZMD, Cherubin, MR, Lovera, LH, Oliveira, IND, Carneiro, MP, & La Scala Jr, N. (2020) Abiotic soil health indicators that respond to sustainable management practices in sugarcane cultivation. **Sustainability** 12(22):9407.

Faroni CE, Trivelin PCO (2006) Quantificação de raízes metabolicamente ativas de canade-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41:1007-1013.

Gomes FP, Lima UA (1964) A Cana-de-açúcar no Mundo. In: Malavolta E (coord.) **Cultura e Adubação da Cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 368 p.

Guedes Filho O, Vieira SR, Chiba MK, Nagumo CH, Dechen SCF (2010) Spatial and temporal variability of crop yield and some Rhodic Hapludox properties under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciências Solo** 34:1-14. https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100001.

Guimarães D (2017) **Produtividade e qualidade do caldo de cultivares de cana de cana-de-açúcar em arranjos de espaçamentos entre fileiras no Cerrado**. X f. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) – UNB, Brasília.

Jorge LAC, Oliveira Rodrigues AF (2008) **Safira**: Sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 24).

Köpke V (1981) Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM **Anais...** Londrina: Fundação Instituto Agronômico do Paraná, p. 303-318.

Kuhwald M, Hamer WB, Brunotte J, Duttmann R (2020) Soil Penetration Resistance after One-Time Inversion Tillage: A Spatio-Temporal Analysis at the Field Scale. **Land** 9:482. https://doi.org/10.3390/land9120482.

Lovera LH, De Souza ZM, Esteban DAA, De Oliveira IN, Farhate CVV, Lima EDS, Panosso AR (2021) Sistema radicular de cana-de-açúcar: Variação ao longo de três ciclos sob diferentes sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura. **Soil and Tillage Research** 208:104866.

Martins Filho, M. V., Liccioti, T. T., Pereira, G. T., Marques Júnior, J., & Sanchez, R. B. (2009) Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 29(1):8-18.

Mutton MA (1983) **Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar (Sccharum spp. var. Na 5679)**. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Unesp, Jaboticabal.

Muñoz-romero V, Benitez-vega J, Lopez-bellido L, Lopez-bellido R (2010) Monitoring wheat root development in a rainfed Vertisol: tillage effect. **European Journal of Agronomy** 33(3): 182-187.

Ormond ATS, Dos Santos AF, Alcantara AS, Zerbato C, Furlani CE (2018) Tillage Interference in The Quality of Peanut Mechanized Harvest. **Engenharia Agrícola** 38:251–259.

Otto R, Silva AP, Franco HCJ, Oliveira ECA, Trivelin PCO (2011) High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil Tillage Research** 117:201-10. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.005.

Otto R, Silva, AD, Franco, HCJ, Oliveira, ED, & Trivelin, PCO (2011) Alta resistência à penetração do solo reduz o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. **Pesquisa de Solo e Preparo do Solo** 117:201-210.

Otto R, Trivelin PCO, Franco HCJ, Faroni CE, Vitti AC (2009) Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:601-611.

Pereira FS, Andrioli I, Pereira FS, Oliveira PR, Centurion JF, Falqueto RJ, Martins ALS (2011) Qualidade física de um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35(1):87-95.

Poeplau C, Kätterer T, Bolinder MA, Börjesson G, Berti A, Lugato E (2015) Baixa estabilização do carbono residual de culturas acima do solo em solos arenososde experimentos suecos de longo prazo. **Geoderma** 237:246-255.

RAIJ B (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001.

Raij B van, CANTARELLA H, QUAGGIO JA, FURLANI AMC (1996) **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed revisada. Campinas: Fundação IAC, 1996. 285p.

Rossetti KDV, Centurion JF (2013) Sistemas de manejo e atributos físico- hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:472-479.

Rossetto R, Ramos, NP, de Matos Pires, RC et al. (2022) Sustentabilidade na Cadeia de Suprimentos da Cana-de- Açúcar no Brasil: Questões e Caminhos a Seguir. **Sugar Tech** 24, 941–966 (2022)

Santos HG (2018) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa.

Silva C. H (2019) **Produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de cultivo e idade canavial**. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFAL, Rio Largo.

Silva-Olaya AM, Cerri CE, Williams S, Cerri CC, Davies CA, Paustian K (2017). Modelando a resposta do SOC às mudanças no uso da terra e práticas de manejo no cultivo de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil. **Plant and Soil** 410(1):483-498.

Smith DM, Inman-barber NG, Thorburn PJ (2005) Growth and function ofsugarcane root system. **Field Crops Research** 92:169-183.

Souza GSD, Souza ZMD, Silva RBD, Barbosa RS, Araújo FS (2014) Efeitos do controle de tráfego na qualidade física do solo e no cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38(1):135-146.

Storino M, Peche Filho A, Kurachi SAH (2010) Aspectos operacionais do preparo do solo. In: Dinardo-miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) (2010) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, p.882.

Stolf R (1985) Cultivo mínimo para a cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Planalsucar** 6(1):p.5-42.

Suguitani C, Matsuoka S (2001) Efeitos do fósforo nas características industriais agrícola em cana-de-açúcar (cana planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CINECIA DO SOLO, **Resumos...** Londrina: SBCS, p. 119.

Thomas AL, Costa JA, Lange CE (2016) Desenvolvimento da Planta de Cana-de-açúcar. In: Thomas AL (Org.) **Desenvolvimento das Plantas da Batata, Mandioca, Fumo e Cana-de-açúcar**. Porto Alegre: UFRS, p.55-75.

Van den berg M (2000) **Land use systems research on strongly weathered soils in south andsouth-east Brazil**. Utrecht: The Royal Dutch Geographical Society, 432p.

Vasconcelos ACM (2002) **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**: crua mecanizada e queimada manual. 140f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Vasconcelos ACM, Casagrande AA, Perecin D, Jorge LAC, Landell MGA (2003) Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27(5):p.849-858.