

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**PLANTIO DE MUDAS PRÉ BROTADAS (MPB) DE CANA
DE AÇÚCAR EM SISTEMAS DE MANEJO
CONSERVACIONISTA DE SOLO**

Rafael Henrique de Freitas Noronha
Engenheiro Agrônomo

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**PLANTIO DE MUDAS PRÉ BROTADAS (MPB) DE CANA
DE AÇÚCAR EM SISTEMAS DE MANEJO
CONSERVACIONISTA DE SOLO**

Rafael Henrique de Freitas Noronha

Orientador: **Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani**

Coorientador: **Dr. Denizart Bolonhezi**

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

2018

N852p Noronha, Rafael Henrique de Freitas
Plantio de mudas pré brotadas (MPB) de cana de açúcar em sistemas de manejo conservacionista de solo / Rafael Henrique de Freitas Noronha. -- Jaboticabal, 2018
xix, 77 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Coorientador: Denizart Bolonhezi
Banca examinadora: Rouverson Pereira da Silva, Cristiano Zerbato, Marcelo Boamorte Ravelli, Adilson José Rocha Mello
Bibliografia

1. Biomassa. 2. Raízes. 3. Rip-Strip. 4. Preparo de solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.543:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

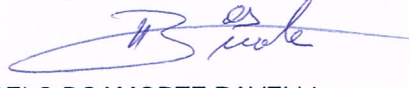
TÍTULO DA TESE: PLANTIO DE MUDAS PRÉ BROTADAS (MPB) DE CANA DE AÇÚCAR EM SISTEMAS DE MANEJO CONSERVACIONISTA DE SOLO

AUTOR: RAFAEL HENRIQUE DE FREITAS NORONHA
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
COORIENTADOR: DENIZART BOLONHEZI


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



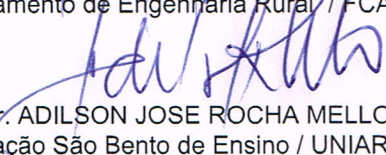
Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MARCELO BOAMORTE RAVELLI
Unidade 4 / UNIARA - Araraquara/SP



Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ADILSON JOSE ROCHA MELLO
Associação São Bento de Ensino / UNIARA - Araraquara/SP



Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DA AUTOR

RAFAEL HENRIQUE DE FREITAS NORONHA - nascido em 30 de janeiro de 1986, na cidade de Tupã – SP, filho de Genival Clementino de Noronha e Ruth de Freitas. Iniciou em março de 2004 o curso de graduação em Engenharia Agrônoma na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq. Em 2008, realizou intercâmbio graduação-sanduíche durante 15 meses pelo Programa BRAFAGRI - Brasil França Agricultura. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2009. Em março de 2010 ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na mesma faculdade em que se graduou, também como bolsista CNPq, obtendo o grau de mestre em 02 de maio de 2012, sob orientação do Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva. Entre maio de 2011 e julho de 2015, atuou como Engenheiro Agrônomo na Usina ETH Bioenergia/Odebrecht e na Usina Santa Adélia, respectivamente nas cidades de Teodoro Sampaio – SP e Jaboticabal – SP. Em agosto de 2015 ingressou no curso de doutorado no mesmo programa de Pós-graduação, bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani.

Obteve o título de Doutor em 05 de fevereiro de 2018.

“A vida é construída nos sonhos e concretizada no amor. ”

Chico Xavier

Ofereço

Aos meus Pais,

Genival Clementino de Noronha e Ruth de Freitas pelo amor, dedicação, educação e esforços sem limites dedicados a mim.

À minha Esposa,

Larissa Fernanda Simielli Fonseca Noronha pelo amor, companheirismo e por estar sempre ao meu lado, me apoiando em todas as horas.

Obrigado por estarem ao meu lado sempre!

A todos aqueles que passaram pela minha vida
e de alguma forma contribuíram para minha
formação pessoal e profissional.

Dedico

Agradecimentos

A Deus, por estar presente em todos os lugares em todos os momentos.

Aos meus pais, pela educação, amor, oportunidades e exemplo de vida e caráter.

À minha amada Larissa, pelo amor, paciência, amizade, companheirismo, pelo seu carinho e pelo carinho que recebo da sua família.

Ao meu Irmão Renan, aos meus Avós, Sogros e a todos os meus Familiares pelas alegrias compartilhadas e pelo apoio dispensado a mim.

Ao meu sobrinho Eduardo que tornou nossas vidas mais felizes e divertidas.

À Unesp e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade de crescimento científico que me proporcionaram.

Ao meu orientador, Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pelas valiosas sugestões, pelos anos de orientação no doutorado, por todas as oportunidades proporcionadas e exemplo de profissionalismo.

Ao Dr. Denizart Bolonhezi, meu co-orientador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, APTA Centro Leste, pela incansável ajuda e principalmente pela amizade que construímos.

Ao Professor Rouverson Pereira da Silva e ao Professor Cristiano Zerbato, pelos ensinamentos, disponibilidade, confiança e amizade dispensados a mim.

Aos componentes da banca examinadora Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, Prof. Dr. Marcelo Boamorte Ravelli, Prof. Dr. Rouverson Pereira da

Silva, Prof. Dr. Adilson José Rocha Mello, Prof. Dr. Cristiano Zerbato pelas valiosas sugestões que contribuíram para aprimorar este trabalho.

A Dr. Cristiano Zerbato, Dr. Fábio Cavichioli, Dr. Marcelo Boamorte Raveli pelas correções e sugestões prestadas no exame de qualificação.

À Fundação AGRISUS - Agricultura Sustentável, pelo apoio financeiro da implantação do experimento.

À todos os meus professores, que compartilharam comigo seus conhecimentos, tornando possível a minha formação.

A todos os amigos dos Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Departamentos de Engenharia Rural e Tecnologia pela ajuda, companheirismo e momentos divertidos, especialmente à André Ferreira Damasceno, Antonio Tassio, Mailson Freire, Danilo Tedesco, Tiago Tavares, Rafael De Graaf, Rafael Bertonha, Renata Queiroz, Lucas Girio, Aycon, Lucas Garcia, Gustavo Buck, Arthur Laurentiz, Leonardo Bernache, Bruno Rocca, Franciele Morlin, Felipe Santinato, Aline Spaggiari, Matheus Borba, Marco Antonio. Elizabeth Kazama, Adão Felipe, Patricia Menezes, Carla Paixão, Murilo Aparecido Voltarelli, Lúgia Negri, Luan Oliveira, Nivanda Lima, Edcarla Nicolau, pela atenção, amizade e auxílio prestado.

A todos aqueles que estiveram presentes nesta inesquecível fase da minha vida, compartilhando todos os momentos, bons ou ruins, mas que foram essenciais para minha formação acadêmica e pessoal.

À vocês todos, meu carinho e gratidão.

Sumário

RESUMO: PLANTIO DE MUDAS PRÉ BROTADAS (MPB) DE CANA DE AÇÚCAR EM SISTEMAS DE MANEJO CONSERVACIONISTA DE SOLO.....	12
ABSTRACT: PLANTING OF PRE-SPROUT SYSTEM (PSS) OF SUGAR CANE IN SOIL CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEMS.....	13
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....	14
1. Introdução.....	14
2. Objetivos.....	15
3. Revisão de Literatura.....	15
4. Referências.....	19
CAPÍTULO 2 – CRESCIMENTO DE CANA DE AÇÚCAR E CANA ENERGIA EM TRÊS MANEJOS DO SOLO.....	23
Resumo.....	23
CHAPTER 2: GROWTH OF SUGARCANE AND ENERGY CANE IN THREE SOIL MANAGEMENT.....	24
Abstract.....	24
1. Introdução.....	25
2. Material e Métodos.....	27
2.1. Área experimental.....	27
2.2. Caracterização dos dados climáticos: Distribuição de chuvas, Temperatura mínima e máximas na área experimental	29
2.3. Operações mecanizadas de preparo de solo e tranplântio de mudas pré brotadas.....	30
2.4. Amostragem e coleta de dados	31
2.5. Análise de dados	33
3. Resultados e Discussão.....	34
3.1. Perfilhamento.....	34
3.2. Biomassa Fresca Total (BFT) e Biomassa Seca Total (BST).....	35
3.3. Biomassa Fresca (BFC) e Biomassa Seca Colmos (BSC).....	37
3.4. Parâmetros do modelo logístico de crescimento para Biomassa Fresca de Colmos e Biomassa Fresca Total.....	39
3.5. Parâmetros do modelo logístico de crescimento para Biomassa Seca de Colmos e Biomassa Seca Total.....	42
3.6. Análise Multivariada.....	44

Componente Principal 1 (CP1); Componente Principal 2 (CP2); Biomassa Fresca Total (BFT), Biomassa Seca Total (BST), diâmetro de colmos (DIA); folhas secas (PLH); folhas verdes (FVE), conjunto de colmos (COL), comprimento do colmo (ALT), internódios (INT) e índice de área foliar (IAF).....	46
4. Conclusão.....	46
5. Referências.....	47
CAPÍTULO 3 – BIOMASSA DE RAÍZES E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DA CANA DE AÇÚCAR E CANA ENERGIA EM MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO.....	50
Resumo.....	50
CHAPTER 3: ROOT BIOMASS AND SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES OF ENERGY CANE IN CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEM.....	51
Abstract.....	51
1. Introdução.....	52
2. Material e Métodos.....	54
2.1. Área experimental.....	54
2.2. Análise Física do Solo	56
2.3. Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP).....	56
2.4. Teor de Água do Solo (%)	57
2.5. Análise de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total	57
2.6. Avaliações do Sistema Radicular	58
3. Resultados e Discussão.....	60
3.1. Amostragem Física do Solos	60
3.2. A Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP)	60
3.3. Teor de Água no Solo (%)	65
3.4. Análise Inicial: Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total	66
3.5. Análise Final: Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total	67
3.6. Análise do Sistema Radicular.....	69
4. Conclusões.....	73
5. Referências.....	74

RESUMO: PLANTIO DE MUDAS PRÉ BROTADAS (MPB) DE CANA DE AÇÚCAR EM SISTEMAS DE MANEJO CONSERVACIONISTA DE SOLO

O manejo conservacionista do solo melhora as condições químicas, físicas e biológicas, devido ao incremento de matéria orgânica por manutenção da palha de cobertura, evitando uma possível erosão. Devido a esses fatores, o sistema radicular da cana-de-açúcar pode ser beneficiado, mas, neste tipo de manejo, o sistema radicular das culturas está concentrado nas camadas superficiais. Objetiva-se estudar o crescimento vegetativo e radicular de mudas pré brotadas de cana de açúcar em Latossolo Vermelho Eutroférico em Ribeirão Preto/SP, utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, composto de parcelas com três manejos do solo: preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, e subparcelas com a variedade IACSP955000 de cana-de-açúcar e o clone de *Saccharum spontaneum* de cana de energia. As variáveis biométricas agrônômicas. Ainda, quanto aos atributos físicos do solo, quantificase as alterações na biomassa de raízes quanto aos tratamentos. Para coleta de raízes foi utilizada uma sonda amostradora. Pressupõe-se que o manejo conservacionista poderia interferir na biomassa do sistema radicular da cana-de-açúcar tanto da parte aérea quanto da dinâmica radicular, ou até mesmo entre as espécies de cana. O perfilhamento máximo ocorreu aos 150 dias após o transplantio e estabilizou-se por 240 dias após transplantio das mudas, sendo 20% maior com mínimo e sem preparo do que o preparo convencional e 51% maior para a cana de energia do que a cana-de-açúcar. A biomassa seca total foi de 21,37 e 11,42% maior para o mínimo e sem preparo, respectivamente, do que o preparo convencional, e o rendimento foi 10,48% maior para a cana-de-açúcar do que a cana de energia. A análise multivariada indicou, no gráfico biplot, a cana de energia correlacionou-se com NPL, DIA, PLH e INT. Quanto aos atributos físicos do solo. O cultivo mínimo com Rip Strip® proporcionou uma redução na resistência à penetração, com valores médios na linha e entrelinha, mesmo nos meses com maior pluviosidade, beneficiando os atributos físicos de solo, como microporosidade, macroporidade, porosidade total, e densidade do solo são verificadas somente nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm). O plantio direto e o cultivo mínimo possibilitaram o maior acúmulo de biomassa do sistema radicular, concentrando 80% nas camadas 0,60m de profundidade.

Palavras-chave: biomassa, sistema radicular, física de solo, *Saccharum spontaneum* L.

ABSTRACT: PLANTING OF PRE-SPROUT SYSTEM (PSS) OF SUGAR CANE IN SOIL CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEMS

The conservationist tillage of the soil improves as chemical, physical and biological soil conditions, due to increase of organic matter by the maintenance of straw on the soil surface, avoiding a possible erosion. Due to these factors, root system of sugarcane can be benefited, but this type of management, the root system of the crops is concentrated in superficial layers. The objective of this study was to study the vegetative and root growth of pre-sprouted sugarcane seedlings in Eutrophic Red Latosol in Ribeirão Preto, SP, Brazil. The experiment had he in split plot design in randomized blocks with four replications composed of plots with three soil management: conventional tillage, minimum tillage and no-tillage, and subplots with IACSP955000 variety of sugarcane and the spontaneous saccharum clone of energy cane. As biometric agronomic variables are quantified through chemical and physical attributes of soil, a green mucuna as a predecessor crop. To collect roots for a somatic sampler. It is assumed and managed by a conservationist, allowing interfering in biomass of sugarcane root system, both on aerial part and on radicular dynamics, or even among cane species. The most complete profile available 150 days after transplanting and stabilized for 240 days after transplanting the seedlings, being 20% larger with minimum and no tillage than conventional tillage and 51% greater for a sugarcane than a cane - of sugar. A total dry biomass of 21.37 and 11.42% higher for the minimum and no tillage, respectively, than the conventional tillage, and the yield was 10.48% higher for sugarcane than the sugarcane. A multivariate analysis indicated, without biplot plot, an energy reel correlated with NPL, DIA, PLH and INT. As for the physical attributes of the soil. The minimum tillage Rip Strip® crop provided a reduction in penetration resistance, with average values in the rows and between rows, even in the months with higher rainfall, benefiting the physical attributes of soil, such as microporosity, macropority, total porosity, and soil density. Checked only in the superficial layers (0-5 and 5-10 cm). No-tillage and minimum cultivation allowed for the greater accumulation of biomass of the root system, concentrating 80% in the layers 0.60m deep.

Keywords: biomass, root system, physical attributes, *Saccharum spontaneum*

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

A queda de produtividade influenciada pelas mudanças climáticas com baixas pluviosidades, a retração das áreas reformadas e a intensa mecanização não favorecem a meta de produtividade acima de 100 toneladas por hectares estipulada pelas usinas e fornecedores de cana-de-açúcar.

O alto custo da fase de implantação de um canavial pode representar de 35 a 45% de todo custo operacional durante todo o ciclo produtivo, considerando um ciclo médio de cinco anos do canavial brasileiro até sua reforma. Há uma exigência pela redução do custo de implantação da cultura devido à crise estabelecida no setor sucroalcooleiro brasileiro, sendo que a utilização do equipamento *Ripstrip*® é inovação tecnológica que pode ser adaptada da cultura do amendoim para a cana de açúcar por meio do cultivo mínimo na operação de preparo de solo.

O setor sucroenergético brasileiro está otimista com vigência do RenovaBio a partir de julho de 2018 (lei 13.576/2017). O programa estimulará os investimentos estratégicos no setor para o possível cumprimento das metas da COP21 por meio da redução de 43% das emissões de gases do efeito estufa, além de dobrar o consumo interno do etanol até 2030, diminuindo em 6% a disponibilidade de açúcar na safra 2017/2018.

O sistema radicular da cana energia (*Saccharum spontaneum*) é mais vigoroso e denso, permitindo maior absorção de água e nutrientes, resultando numa brotação acelerada com maior quantidade de perfilhos, além da maior produtividade e longevidade do canavial. Sendo assim, essa rusticidade pode ser complementada pela maior resistência ao stress hídrico, menor exigência de fertilidade, além de ser mais resistente ao pisoteio.

Os rizomas se apresentam maior quantidade de gemas produzindo mais plantas, sendo que essa característica foi perdida ao longo do melhoramento genético na busca da maior produção de açúcar por tonelada de cana.

As vantagens da cana energia são muitas em relação a cana tradicional, prova disso é o acréscimo de 27 a 87% na quantidade de ATR por hectare, ou seja, há aumento da produtividade média de 85% a 121%, com redução do ATR

por tonelada de cana entorno de 15% a 31%. Ainda, há um aumento de biomassa, sendo que a porcentual de fibra está entre 18% a 26% contra os 12% da cana tradicional e na produção de bagaço são de 79 a 96 contra 25 toneladas por hectare.

2. Objetivos

Tendo em vista que o crescimento da cana-de-açúcar e a produtividade de colmos pode não reduzir significativamente quando se utiliza o plantio direto; e as espécies de cana podem ter comportamento alterado nos três manejos de solo; além do preparo convencional não melhora as principais características físicas do solo em áreas de cana crua. O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento vegetativo (Capítulo 2) e a os atributos físicos do solo e biomassa radicular (Capítulo 3) de mudas pré-brotadas de cana de açúcar em três sistemas de manejo de solo, sendo manejo convencional, reduzido e plantio direto, e duas variedades de cana, a cana energia e a IACSP955000 em sucessão à mucuna verde, além de quantificar as alterações nas características agronômicas das duas variedades de cana por meio dos atributos químicos e físicos do solo, para o melhor entendimento da dinâmica radicular, que está intimamente ligada à produtividade da parte aérea, que é o interesse econômico da cana-de-açúcar:

3. Revisão de Literatura

3.1 Cana de açúcar

Na região Centro-Sul do Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada em 9,48 milhões de hectares, dos quais 5,71 milhões estão presentes no estado de São Paulo, região produtora com mais de 78 % dos canaviais colhidos sem queima prévia (CONAB, 2017). O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar 661 milhões de toneladas, posicionando-se como maior produtor e exportador de açúcar, além de ser o segundo maior produtor de etanol com 31% da produção mundial (OECD-FAO, 2015).

A cana de açúcar é uma alternativa potencial para a produção de biocombustíveis e cogeração de energia elétrica a partir de sua biomassa. A busca por fontes energéticas renováveis, além do potencial de redução da

emissão de gases do efeito estufa por meio da capacidade de conversão do carbono atmosférico em carbono orgânico na formação de biomassa (DUVAL et al., 2013; TOLLEFSON et al., 2013; HUGHES et al., 2018).

O direcionamento dos programas de melhoramentos para a produção de biomassa impulsionou a importância da cana energia no setor sucroenergético realizado por meio de retrocruzamentos dos híbridos atuais com ancestrais selvagens de *Saccharum spontaneum* (SIMS et al., 2010; KNOLL et al., 2013; DUVAL et al., 2013) com a finalidade de aumentar o conteúdo de fibras, proporcionando um aumento de produtividade, maior rusticidade e adaptabilidade para as novas áreas de fronteiras agrícolas, prolongando em cinco anos o ciclo produtivo para a reforma do canavial (ZHAO et al. 2017).

A gestão da cana energia foi iniciada em 1970, voltada para o acúmulo de açúcar e avaliação da qualidade tecnológica da matéria prima (ALEXANDER, 1985), sendo reorientada afim de obter altas produções de fibra ou biomassa total em relação a tradicional busca de produtividade em açúcar (MATSUOKA et al., 2014). A sazonalidade e a disponibilização de matéria prima favorecem a cana energia, pois não depende do cronograma de colheita para o acúmulo de açúcar exigido pela *Saccharum officinarum* L. (KNOLL et al., 2013).

O potencial produtivo da cana-de-açúcar depende da tecnologia empregada, técnicas de manejo e do ambiente de produção que podem proporcionar valores atuais de produtividade superiores a 200 Mg ha⁻¹ para as variedades *S. officinarum* (MORAIS et al., 2017), enquanto que a cana energia apresenta uma evolução intervalo de 41 Mg ha⁻¹ (CHEEROO-NAYAMUTH et al. 2000) para 178 Mg ha⁻¹ (ZHAO et al. 2017).

A produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar é a evolução de um método alternativo (LANDELL et al., 2013) implantando desde o final da década de 80 (STOLF & TOKESHI, 1990), para o aumento de taxas de multiplicação para reduzir a quantidade de mudas e melhorar a qualidade dos viveiros de mudas (SILVA GIRIO et al., 2015; GIROTTI et al., 2016).

O sistema MPB reduz a quantidade de mudas de 10 para 2 t ha⁻¹ (MAWLA et al., 2014) sendo extremamente dependente da reposição da necessidade hídrica para sincronização do perfilhamento e conseqüente uniformização do estande e reduz tempo de formação do canavial (LIBARDI et al., 2018),

proporcionando ganhos de 18% na produtividade do canavial (MOHANTY et al., 2015).

3.2 Manejo Conservacionista

Aquino e Medina (2014) encontraram que na retirada total ou a manutenção de 25% da palhada na superfície do solo resultam em menor produtividade da cana-planta e a manutenção de 50, 75, 100% da palhada em superfície não afeta a produtividade na cana planta, resultados semelhantes encontrados CAMPOS et al. (2010).

Camilotti et al. (2005), estudando o efeito de diferentes sistemas de manejo, incluindo um preparo convencional e um sistema de cultivo mínimo apenas com destruição de soqueira, em Latossolo Vermelho, também não observaram diferenças significativas entre tratamentos em atributos do solo como densidade e porosidade total. Em estudo sobre a compactação do solo e a brotação das soqueiras de cana-de-açúcar, Fernandes et al. (1983) observaram que, em densidades de solo superiores a $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$, as raízes não encontram condições de suprir a parte aérea das plantas com nutrientes em níveis satisfatórios.

Com o revolvimento do solo no preparo convencional, há redução da densidade de solo e aumento da porosidade total, com redução da microporosidade (Hill & Cruse, 1985). Os implementos de preparo, entretanto, podem criar camadas mais adensadas em subsuperfície (camada de 0,10-0,20 m) com aumento da densidade de solo, redução da porosidade total e aumento dos microporos. Na superfície, o plantio direto, além de reduzir a porosidade total, altera a distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho (OUWERKERK; BOONE, 1970; TORMENA et al., 2002).

A maior resistência mecânica do solo à penetração deve-se ao acúmulo de pressões pelo tráfego de máquinas e, ainda, pela acomodação natural das partículas, apresentando valores maiores do índice do cone do solo em todas as camadas, principalmente nas camadas de 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m apresentando valores prejudiciais ao desenvolvimento radicular da cana de açúcar em comparação com a lavoura profunda sem linha com o tráfego no preparo convencional (MARASCA et al., 2015).

Souza et al. (2014) e Souza et al. (2015) em estudo sobre a influência do controle de tráfego nos canaviais com utilização do piloto automático, podendo preservar a qualidade física do solo com menor densidade e grau de compactação e maior porosidade total e macroporosidade na linha de plantio. A resistência mecânica do solo a penetração foi inferior a 2 MPa com o ajuste de bitola e uso do piloto automático proporcionando maior superfície e volume radicular e um ganho de produtividade 18% e 20%, respectivamente. A agregação do solo, carbono orgânico total, e as variáveis tecnológicas da cana não diferiram entre os manejos.

A manutenção da cobertura do solo proposto pelo manejo conservacionista contribui para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas e influencia o teor de carbono do solo e o fluxo de CO₂. Prova disso, são os resultados encontrados por Tavares et al. (2016) na colheita de cana crua uma variabilidade temporal nos primeiros cinco anos, e uma variabilidade espacial em dez anos de colheita de cana crua quanto ao fluxo de carbono, correlacionado com a temperatura do solo, espaço de poros cheios de ar, porosidade total, umidade do solo e os teores de Ca e Mg, tanto no período seco, como chuvoso.

Há maior quantidade de emissões de CO₂ para a atmosfera em operações de preparo de solo convencionais quando comparadas com cultivo mínimo e plantio direto promovendo menor impacto e redução na perda de C orgânica (SILVA-OLAYA et al., 2013). Após 50 anos de cultivo tradicional de cana-de-açúcar, as ações de estoque de carbono retornaram a tamanhos de estoque semelhantes encontrados nas florestas, enquanto as reservas de N continuaram um pouco empobrecidas (12-19% mais baixas do que nas florestas), provavelmente devido à menor concentração de N em resíduos de cana-de-açúcar do que na floresta, comprovando que o manejo de resíduos de culturas por meio do cultivo mínimo ou pelo plantio direto são alternativas sustentáveis com efeitos positivos na estrutura do solo e seqüestro de carbono no cultivo de cana-de-açúcar (ANAYA e HUBER-SANNWALD et al., 2015).

Os resultados de pesquisas sobre plantio direto em reforma de cana crua, estão mais concentrados nas culturas de sucessão/rotação e adubos verdes (BOLONHEZI et al., 2007). Os poucos resultados de pesquisa sobre plantio

direto de cana-de-açúcar foram realizados sem uso de culturas de sucessão ou somente com adubos verdes.

Entretanto, a recomendação de plantio exige muita mobilização do solo e várias operações (preparo do solo, sulcação e adubação e transplante das mudas), expondo aos sérios riscos de erosão e à maior susceptibilidade ao estresse hídrico. Como existe grande interesse de adotar este sistema em plantios comerciais, surge a necessidade de avaliar qual o potencial de aplicação dos princípios da agricultura conservacionista. Dessa forma, são apresentadas as seguintes hipóteses; (i) o plantio direto de mudas pré-brotadas sobre mucuna favorece o crescimento vegetativo e crescimento radicular, independente do genótipo de cana-de-açúcar; (ii) a produtividade de colmos e açúcar na cana planta é aumentada no manejo conservacionista do solo.

4. Referências

ANAYA, C. A.; HUBER-SANNWALD, E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. **Soil and Tillage Research**, v. 147, p. 20-29, 2015.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 173-180, 2014.

BOLONHEZI, D., MUTTON, M. A., MARTINS, A. L. M. Sistemas conservacionistas de manejo de solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 939-947, 2007.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A.R.; MUTTON, M.A. & 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**, 25:189-198, 2005.

CAMPOS, L.H.F.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; FORTES, C.; SILVA, J. S. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.345-350, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i2.3703.

CHEEROO-NAYAMUTH, F. C., ROBERTSON, M. J., WEGENER, M. K., & NAYAMUTH, A. R. H. Using a simulation model to assess potential and attainable sugar cane yield in Mauritius. **Field Crops Research**, v. 66, n. 3, p. 225-243, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 4, Safra 2017/18, n. 1, Primeiro Levantamento, Brasília, 2017. Retrieved December 08, 2017 from, http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_20_14_04_31_bol_etim_cana_portugues_-_1o_lev_-_17-18.pdf.

DUVAL, B. D.; ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; DAVIS, S. C.; KEOGH, C.; LONG, S. P.; PARTON, W. J.; DELUCIA, E. H. Predicting greenhouse gas emissions and soil carbon from changing pasture to an energy crop. **PloS one**, v. 8, n. 8, 2013.

FERNANDES, J.; RIPOLI, T.C. & MILLAN, M.A. A compactação do solo e a brotação das soqueiras. **Álcool Açúcar**, v. 3, p. 12-17, 1983.

GIROTTI, L. E.; GARCIA, J. C.; XAVIER, M. A.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. INOCULAÇÃO DE AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA PRODUÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR. **STAB**, v. 188, 2016.

HILL, R.L. & CRUSE, R.M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. **Soil Science Society American Journal**, v. 49, p. 1270-1273, 1985.

HUGHES, S.; CHU, E. K.; MASON, S. G. Introduction. **In Climate Change in Cities** Springer, Cham. p. 1-15, 2018.

KNOLL, J. E.; ANDERSON, W. F.; RICHARD, E. P.; DORAN-PETERSON, J.; BALDWIN, B.; HALE, A. L.; VIATOR, R. P. Harvest date effects on biomass quality and ethanol yield of new energycane (*Saccharum hyb.*) genotypes in the Southeast USA. **Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 147-156, 2013.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 2012. 17p. (IAC. Documentos, 109).

LIBARDI, L. G. P., DE FARIA, R. T., DALRI, A. B., DE SOUZA ROLIM, G., & PALARETTI, L. F. Lisímetros de pesagem de precisão para medidas de evapotranspiração em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, 2017.

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**, v. 39, n. 5, p. 1490-1497, 2015.

MATSUOKA, S.; KENNEDY A. J.; DIAS DOS SANTOS, E. G.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, p. 13, 2014.

MAWLA, H.A.; HEMIDA, B.; MAHMOUD, W.A. Study on the mechanization of sugar cane transplanting. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 2, n.8, 2014.

MOHANTY, M.; DAS, P.P.; NANDA, S.S. Introducing SSI (Sustainable Sugarcane Initiative) technology for enhanced cane production and economic returns in real farming situations under east coast climatic conditions of India. **Sugar Tech**, v. 17, n. 2, p. 116-120, 2015.

MORAIS, K. P.; MEDEIROS, S. L. P.; DOS ANJOS, S. D.; BIONDO, J. C.; BOELTER, J. H.; DIAS, F. S. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. **Ceres**, v. 64, n. 3, 2017.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (OCDE-FAO). **Perspectivas agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024**. 54p., 2015. Disponível em: Acesso em: 05 jan. 2018.

OUWERKERK, C. & BOONE, F.R. Soil physical aspects of zero-tillage experiments. **Netherland Journal Agriculture Science**, v. 18, p. 247-261, 1970.

SILVA GIRIO, L. A. D.; FERREIRA DIAS, F. L.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 33-43, 2015.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 1, 2013.

SIMS, R. E.; MABEE, W.; SADDLER, J. N.; TAYLOR, M. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource technology**, v. 101, n. 6, 1570-1580, 2010.

SOUZA, G. S. D.; SOUZA, Z. M. D.; SILVA, R. B. D.; BARBOSA, R. S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 135-146, 2014. SOUZA, G. S. D.; SOUZA, Z. M. D.; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 3, p. 270-277, 2015.

STOLF, R.; TOKESHI, H. A ratoon transplanting technique for renewing sugarcane fields. **Sugarcane**, 2, 19, p. 6-9, 1990.

TAVARES, R. L. M.; SOUZA, Z. M. D.; SCALA JR, N. L.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, G. S. D.; TORRES, J. L. R. Spatial and Temporal Variability of Soil CO₂ Flux in Sugarcane Green Harvest Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

TOLLEFSON, J. The forecast for 2018 is cloudy with record heat. **Nature**, v. 49, n. 7457, p. 139, 2013.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolos cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 4, p. 895-801, 2002.

ZHAO, D.; IREY, M.; LABORDE, C.; HU, C. J. Identifying Physiological and Yield-Related Traits in Sugarcane and Energy Cane. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 927-937, 2017.

CAPÍTULO 2 – CRESCIMENTO DE CANA DE AÇÚCAR E CANA ENERGIA EM TRÊS MANEJOS DO SOLO

Resumo

Os princípios da agricultura conservacionista podem aumentar os ganhos de produtividade para a intensificação sustentável da agricultura. Objetivou-se avaliar o crescimento vegetativo de mudas de cana pré-brotadas ao longo do tempo em uma área classificada como Latossolo Vermelho cultivado com pastagem por 26 anos, com três tratamentos de manejo do solo, no município de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. O delineamento experimental foi constituído em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições, composto de parcelas com três manejos do solo: preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, e subparcelas com a variedade IACSP955000 de cana-de-açúcar e o clone de *Saccharum spontaneum* de cana de energia. As variáveis agrônômicas foram avaliadas mensalmente foram o índice da área foliar, número de internódios, diâmetro do colmo, comprimento do colmo, número de colmos, folhas verdes, folha seca, biomassa fresca total, biomassa fresca dos colmos, biomassas secas total biomassa seca dos colmos, submetidos ao teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O perfilhamento máximo ocorreu aos 150 dias após o transplântio e estabilizou-se por 240 dias após transplântio das mudas, sendo 20% maior com mínimo e sem preparo do que o preparo convencional e 51% maior para a cana de energia do que a cana-de-açúcar. O índice da área foliar, número de internódios, diâmetro do colmo, comprimento do colmo, número de colmos, folhas verdes, folha seca, diâmetro dos colmos não diferiram significativamente entre os três tipos de manejo do solo. A biomassa seca total foi de 21,37 e 11,42% maior para o mínimo e sem preparo, respectivamente, do que o preparo convencional, e o rendimento foi 10,48% maior para a cana-de-açúcar do que a cana de energia. A análise multivariada indicou que os rendimentos elevados em Biomassa Fresca Total, Biomassa Fresca de Colmos, Biomassa Seca Total, Biomassa Seca dos colmos, Biomassa Fresca e Folhas verdes para a variedade IACSP955000 estão correlacionados com o processo de crescimento da cana de açúcar. Conforme demonstrado no gráfico biplot, a cana de energia correlacionou-se com NPL, DIA, PLH e INT.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L., *S. spontaneum* L., biomassa, plantio direto, *rip strip*, manejo conservacionista.

CHAPTER 2: GROWTH OF SUGARCANE AND ENERGY CANE IN THREE SOIL MANAGEMENT

Abstract

The principles of conservation agriculture must increase productivity gains for the sustainable intensification of agriculture. The objective of this study was to evaluate the vegetative growth of cane seedlings pre-sprouted over time in an area classified as Red Latosol cultivated with pasture for 26 years, in which three soil management treatments in the city of Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. The experimental design consisted of a randomized complete block design with four replications, consisting of plots with three soil management: conventional tillage (PC), minimum tillage (CM) and no tillage (PD), and subplots with IACSP955000 variety of sugarcane (CA) and *Saccharum spontaneum* clone of energy cane (CE). The agronomic variables were monthly evaluated were stem diameter (DIA), straw (PLH); (ALT), number of internodes (INT), leaf area index (LAI), number of stalks (NPL), tillering, total fresh biomass and (BFT and BFC) and total and stem biomass (BST and BSC), submitted to the Tukey test at the 5% probability level. INT was maximal at 150 days post-transplant and stabilized for 240 days and was 20% higher with minimum and no tillage than conventional tillage and 51% higher for sugar cane than sugar cane. DAY, PLH, FVE, COL, ALT and IAF did not differ significantly between the three types of soil management. The total dry biomass was 21.37 and 11.42% higher for the minimum and no tillage, respectively, than the conventional tillage, and the yield was 10.48% higher for sugarcane than sugarcane power. Multivariate analysis indicated that high yields in BFT, BST, COL and FVE for CA (IACSP955000) are correlated with the sugarcane growth process. As shown in the biplot graph, the EC (energy cane) correlated with NPL, DIA, PLH and INT.

Keywords: *S. spontaneum* L., biomass, no-till, rip strip, conservation management system.

1. Introdução

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2016/2017 foi de 647,6 milhões de toneladas em uma área de 8,84 milhões de hectares, sendo 5,7 milhões de hectares no estado de São Paulo, onde mais de 80% da cana foi colhida sem queima anterior (CONAB, 2017). A intensa mecanização e a baixa precipitação nos últimos três anos culminaram com uma diminuição da produção de cana-de-açúcar de 82 para 68 t ha⁻¹ (BIGATON et al., 2016).

Uma estratégia para a renovação da produção de cana-de-açúcar neste período de crise é aumentar a produtividade média das empresas e diminuir o custo da preparação do solo por meio de práticas de conservacionistas. O alto preço dos insumos combinado com o maior número de operações de preparo do solo no sistema produtivo canavieiro, no entanto, contribuiu para maiores custos de implementação, atualmente de R\$ 5500,00 para R\$ 6500,00 por hectare. Esta realidade tem um grande impacto nos 70.000 fornecedores que representam menos que 30% da cana processada (CONAB, 2017).

O transplante de mudas pré brotadas de cana-de-açúcar é uma opção para reduzir o número de mudas e melhorar a qualidade dos viveiros de produção. El Mawla et al. (2014) afirmam que este sistema diminuiu o número de mudas de 10 a 2 t ha⁻¹, conservando 2000 m³ de água de irrigação, melhorando a sincronização do perfilhamento e a uniformidade consequente do suporte, reduzindo o tempo de formação de cana-de-açúcar, e diminuindo a demanda de energia, reparação e manutenção da maquinaria (MANTOAM et al., 2014) pelo uso de um novo conceito de formação de cana-de-açúcar.

Este método de propagação consiste na extração de gemas, na formação de mudas em um substrato em um ambiente protegido, e depois no transplante no campo e pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar em 18% (MOHANTY et al., 2015). Este método tem sido usado no Brasil desde o final da década de 1980 (STOLF; TOKESHI, 1990), mas recentemente foi remodelado como o sistema de mudas pré-brotadas (MPB) pelo Instituto Agrônomo de Campinas (LANDELL et al., 2013).

As prioridades para pesquisas futuras destinam-se a melhorar os rendimentos de biomassa por unidade de área e ao desenvolvimento de tecnologias para a conversão de baixo custo da biomassa lignocelulósica para

biocombustíveis (PENG et al. 2014). O manejo conservacionista após a etapa de implantação é favorecido pela operação da colheita mecanizada de cana-de-açúcar que proporciona o aumento da cobertura vegetal por meio do mecanismo de limpeza dos rebolos no campo (BRAUNBECK; MAGALHAES, 2010) e pode ser controlada por meio de um protocolo de procedimento operacional para ajudar a indústria a melhorar as eficiências da produção de etanol de segunda geração e da bioeletricidade (LISBOA et al., 2017).

A remoção total ou retenção de 25% da palha diminui a produtividade em 15% (AQUINO; MEDINA, 2014), enquanto o manejo conservacionista ajuda a reter a palha na superfície do solo maior que 50% sem prejudicar o desenvolvimento da cultura. As inovações na operação de preparo do solo podem, assim, ajudar a aumentar a produtividade, melhorando o ambiente radicular beneficiado pelos dos atributos físicos do solo e a longevidade dos canaviais (SURENDRAN et al., 2016).

O sistema radicular da cana energia (*Saccharum spontaneum* L.) é vigorosa e densa, portanto, pode absorver grandes quantidades de água e nutrientes, acelerando a brotação com mais cultivadores e aumentando a produtividade e a longevidade dos campos de cana. Zhao et al. (2017) sugeriram que esta versatilidade poderia ser complementada por uma maior resistência ao estresse hídrico e danos mecânicos por colhedores e por um menor requisito de fertilizante. As recomendações de transplante, no entanto, requerem muito movimento do solo e várias operações (preparo de solo, sulcação, fertilização e transplante de mudas), expondo o solo a sérios riscos de erosão e a maior susceptibilidade ao estresse hídrico.

Como existe grande interesse de adotar este sistema em plantio comerciais, surge necessidade de avaliar qual o potencial de aplicação dos princípios da agricultura conservacionista. Dessa forma, a produtividade de colmos de cana-planta pode aumentar com o manejo conservacionista do solo. Objetivou-se especificamente, avaliar por meio de parâmetros biométricos o crescimento vegetativo mensal de cana-de-açúcar em três sistemas de manejo do solo (PC, CM e PD) e duas variedades de cana-de-açúcar (IACSP955000 e cana energia) propagada por mudas pré brotadas.

2. Material e Métodos

2.1. Área experimental

A pesquisa foi instalada em experimento de longa duração iniciado em 2003/04 na Agência Paulista de Tecnologia Agropecuária (APTA-Centro Leste) no município de Ribeirão Preto - SP, próximo às coordenadas geográficas 21°11' S e 47°52' O, com altitude e declividade média de 599 m e declividade de 5%, respectivamente, a área possui relevo suave a suave ondulado, de forma que os sulcos abertos sejam aproximadamente retilíneos, com clima Aw de acordo com a classificação de Koppen (ROLIM et al., 2007), sobre um Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2013) com histórico abaixo:

- ✓ Solo original: cultivo de pastagem por 26 anos
- ✓ Experimentos anteriores durante 12 anos: sempre foram instalados três tratamentos de manejo de solo (PC -preparo convencional, CM – cultivo mínimo e PD - plantio direto) nas mesmas parcelas, com esquema de rotação de culturas em amendoim, milho+gramíneas e soja, perfazendo 38 anos de estabilização para a parcela de plantio direto.
- ✓ Instalação da cultura de cobertura: em dezembro/2014, realizou-se semeadura de mucuna verde, a qual se desenvolveu por 90 dias após a semeadura (Silva et al., 2011) afim de proporcionar a cobertura do solo.
- ✓ Formação da cobertura vegetal do solo: a biomassa de mucuna verde foi dessecada (abril/2015) por meio de herbicida sistêmico não seletivo, e após 30 dias (maio/2015), a massa dessecada de mucuna foi triturada por uma roçadora, afim de evitar uma provável paralisação por acúmulo de palha nos órgãos ativos das máquinas durante as operações de preparo de solo e transplântio.
- ✓ Preparo de solo e Transplântio de MPB: a operações de preparo de solo foram realizadas no mesmo dia que as operações de transplântio (maio/2015).
- ✓ Irrigação de salvamento: lâmina de 40 mm mensais devido a deficiência hídrica entre junho/2015 a agosto/2015.

- ✓ Início das avaliações biométricas do experimento: em agosto/2015 (90 dias após o transplântio) iniciou-se as atividades de coleta de dados na área experimental.
- ✓ Fim do experimento e das avaliações biométricas: em maio/2016 (360 dias após transplântio) foi o estágio final de crescimento e maturação dos colmos.

O croqui experimental (Figura 1) foi elaborado no esquema de parcelas subdivididas com quatro blocos casualizados, consistindo em parcelas de três manejos de preparo de solo: preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM), e o plantio direto (PD), além de subparcelas de duas variedades de cana: CA (IACSP955000) e a CE (cana energia) utilizando o sistema de MPB. As parcelas experimentais foram dimensionadas para favorecer a mecanização das operações e apresentam 30 x 10 m, conforme a figura abaixo:

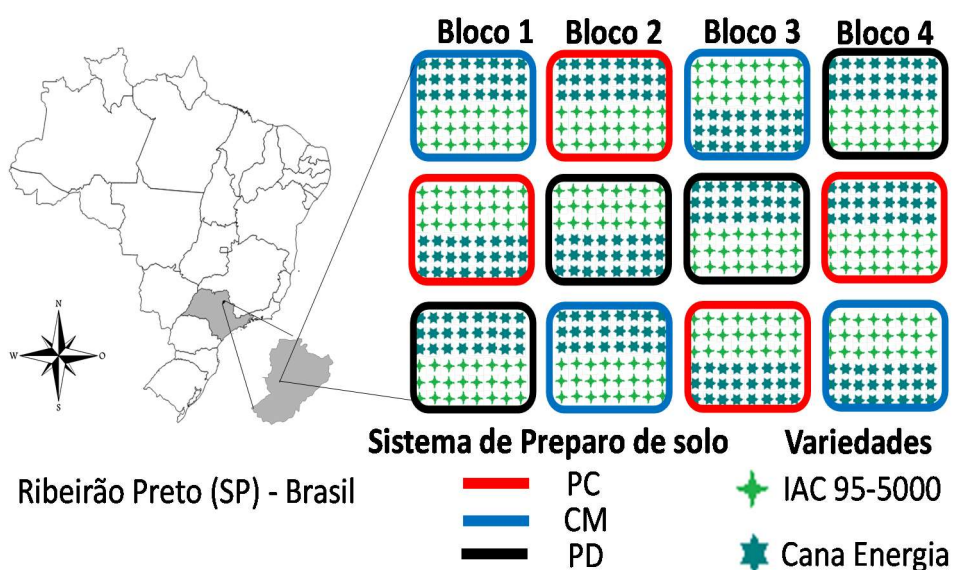


Figura 1. Local experimental e esquema experimental de parcelas subdivididas com em parcelas com três manejos de solo: preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), e subparcelas com as variedades: IAC95-5000 e cana energia.

2.2. Caracterização dos dados climáticos: Distribuição de chuvas, Temperatura mínima e máximas na área experimental

A distribuição de chuvas e as temperaturas mínimas e máximas após o transplântio de 01 de maio de 2015 até o final de 31 de maio de 2016 são apresentadas na Figura 2. O somatório de chuvas durante esse período de experimento foi de 1471,1 mm, distribuída em 51 dias de chuvas.

Entre os meses de junho/2015 a agosto/2015 choveu apenas 42,5 mm, justificando nesse período uma irrigação de salvamento perfazendo 40 mm mensais (total acumulado de 1591,1mm) por meio de um caminhão tanque contendo água, onde as mangueiras estavam direcionadas nas linhas de transplântio, justificando o início das avaliações biométricas em agosto de 2015 (90 dias após o transplântio).

A temperatura média máxima e mínima foi de 27,8 e 15,4°C, respectivamente. Em agosto/2015, ocorreu um inverno mais quente do que a média histórica (PALARETTI; MANTOVANI; SEDIYAMA, 2014), apresentando temperatura média máxima superiores a 29°C.

As condições microclimatológicas (Figura 2) no período de estudo foram, portanto, acima das médias históricas (PALARETTI; MANTOVANI; SEDIYAMA, 2014), o que pode ter contribuído para a discussão dos resultados obtidos nesse experimento. Os primeiros estágios de desenvolvimento (brotação e estabelecimento) ocorreram em condições controladas, porque as plantas foram transplantadas como mudas pré-brotadas.

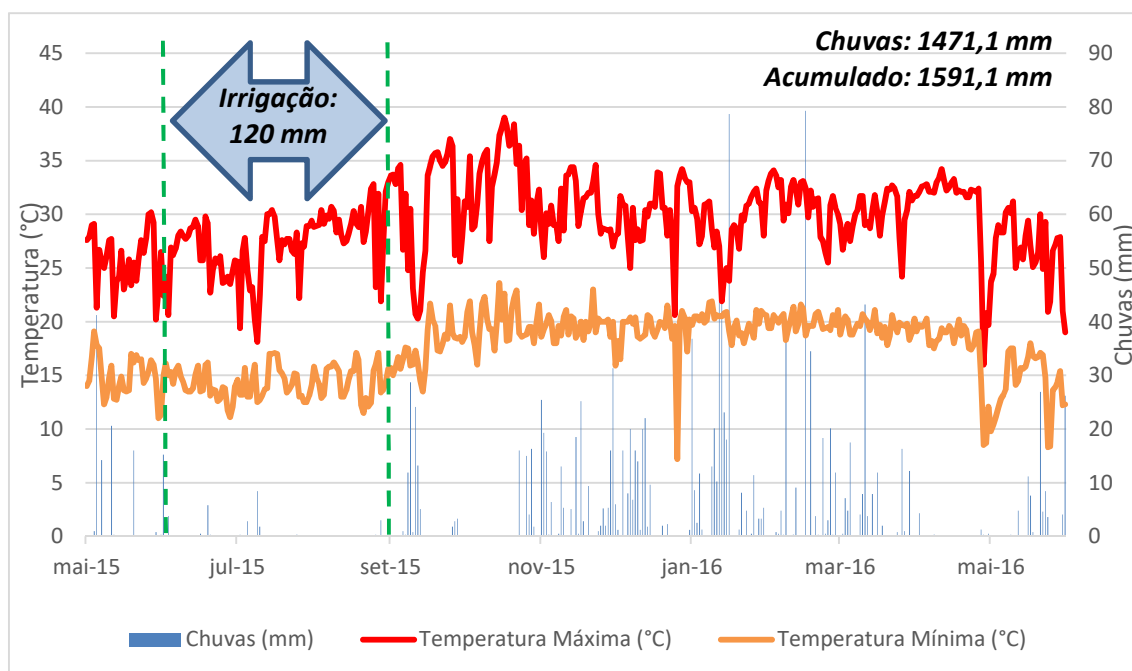


Figura 2. Distribuição de chuvas e temperatura máxima e mínima de 01/05/2015 a 31/05/2016 em Ribeirão Preto APTA Centro Oeste.

2.3. Operações mecanizadas de preparo de solo e transplante de mudas pré brotadas

As parcelas para PC foram preparadas inicialmente por uma grade, um arado de aivecas na profundidade de trabalho de 0,35 m, seguido por uma grade niveladora para incorporar o calcário e os resíduos para a correção da acidez do solo.

O preparo de solo para CM foi realizado pelo equipamento *Rip Strip*® (Kelley Manufacturing Co., Tifton, GA, EUA), afim de viabilizar a semeadura do amendoim em áreas de reforma de cana-de-açúcar, quando comparado com a cultura da soja que pode ser semeada em sistema o plantio direto na palhada da cana. Este equipamento foi desenvolvido para o manejo conservacionista do cultivo de amendoim nos EUA e nunca foi usado para cultivo de cana-de-açúcar.

Para o PD não houve preparo do solo, apenas foi utilizada uma roçadora após 30 dias de dessecação da mucuna verde pelo herbicida para evitar a paralisação por acúmulo da cobertura vegetal nos órgãos ativos da operação de

transplântio e o mecanismo de abertura e fechamento do sulco da transplantadora.

O processo de transplântio de mudas foi realizado em 07/05/2015, pela transplantadora fabricada pela STA Máquinas Agrícolas (Goiânia, Brasil), que utiliza tecnologia italiana da marca Pivot no sistema de transplântio do tipo “caneca”. A transplantadora realizou o mecanismo de abertura do sulco por meio do disco corta palha, seguido por uma haste escarificadora que trabalhou a 0,20 m de profundidade, com a deposição de fertilizante no fundo do sulco. A transplantadora foi regulada para uma deposição de mudas de 0,50 m na linha de transplântio e com espaçamento entrelinha de 1,50 m. Houve uma reposição das mudas nos primeiros 15 dias após o transplântio para a garantia de uniformidade das plantas.

Com base na análise química de solo, na adubação foram fornecidos 40, 140 e 80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O somente por ocasião do transplântio, para atender a recomendação nutricional da cultura da cana de açúcar do boletim técnico 100.

2.4. Amostragem e coleta de dados

As avaliações mensais dos caracteres agrônômicos biométricos foram iniciadas aos 90 dias após o transplântio (agosto/2015) e 360 dias após o transplântio (maio/2016), conforme a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Meses e anos correspondentes aos dias após transplântio (DAT) das avaliações biométricas.

Ano	2015					2016			
Meses	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Mai
DAT	90	120	150	180	210	240	270	300	360

Devido ao período de falta de chuvas (junho/2015 a agosto/2015), houve a necessidade de 120 mm de irrigação por três meses para evitar a mortalidade das mudas, onde o conjunto de colmos de duas soqueiras na mesma linha distanciadas 0,50 m foram cortados, amarrados e levados ao laboratório para a quantificação das médias de:

- Índice de área foliar (IAF): contagem do número de folhas nas plantas e medição da área foliar, por meio do equipamento CI-202 da CID-Bioscience, onde cada índice caracteriza o desenvolvimento e o crescimento da folha na interceptação a radiação solar para a fotossíntese que leva ao acúmulo de biomassa da planta;

- Número de internódios (INT): média da contagem de cada internódio no colmo;

- Diâmetro de colmos (DIA): o diâmetro médio de cada colmo entre o segundo e o penúltimo internódio usando um paquímetro eletrônico aferido no momento da medida com precisão micrométrica (Mitutoyo Corporation, Tokyo, Japão);

- Comprimentos dos colmos (ALT): mede-se a extensão entre a base até o ápice do colmo, por meio de uma trena graduada em milímetros;

- Número de colmos (NPL): contagem de colmo por soqueira de cana;

- Folhas verdes (FVE): massa de folhas verdes no colmo, por meio de uma balança digital de 1,00 grama de precisão;

- Folhas secas (PLH): massa de folhas secas, destacando-se as folhas secas, por meio de uma balança digital de 1,00 grama de precisão;

- Biomassa fresca de colmos (BFC): pesagem de colmos após limpeza total destacando as folhas verdes e secas, por meio de uma balança digital de 1,00 grama de precisão;

- Biomassa seca colmos (BSC): massa seca de colmos após a secagem em estufa a 70°C até a massa se tornar constante (SILVA et al., 2009);

- Biomassa fresca de total (BFT): somatório da massa de todo material vegetal proveniente do campo, por meio de uma balança digital de 1,00 grama de precisão;

- Biomassa seca total (BST): somatório da massa de todo material vegetal após a secagem em estufa a 70°C até a massa se tornar constante (SILVA et al., 2009).

2.5. Análise de dados

Os resultados foram analisados por meio da análise de variância, utilizando-se o teste F de Snedecor, a 5% de probabilidade e quando houve significância, aplicou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias, utilizando o pacote estatístico AGROESTAT®.

O modelo estatístico logístico (regressão não-linear) pode descrever as curvas de crescimento, de um modo geral, é um processo de estimação dos parâmetros pode ser obtido pela minimização da soma de quadrados dos erros, obtendo-se o sistema de equações normais não-linear, o qual não apresenta uma solução explícita e é obtido por processos iterativos. As variáveis biomassa fresca de colmos (BFC), biomassa seca dos colmos (BFT), biomassa seca dos colmos (BSC) e biomassa seca total (BST) para as duas variedades de cana utilizando a fórmula (1) do modelo logístico, onde:

$$Y = Y_{max} + \frac{Y_{min} - Y_{max}}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p} \quad (1)$$

Y_{max} . - é o parâmetro que indica o crescimento máximo da cultura;

Y_{min} . - é o parâmetro que indica o crescimento mínimo da cultura (não avaliado, devido a qualidade morfológica das mudas e a uniformidade inicial das parcelas por meio do reposição quando houve falhas até os 15 dias após o transplântio);

X_0 - ponto de inflexão (valor "x" dias após o transplântio onde é atingido o máximo crescimento);

p - é o parâmetro que define o taxa máxima de crescimento (X_0).

A análise multivariada de dados foi realizada utilizando o software Statistica® para analisar a aplicação técnica dos componentes principais (HAIR, 2009), usando os mesmos traços, para visualização após 360 dias do transplante de MPB no plano bidimensional formado pelos principais componentes e facilitar a interpretação por meio do poder discriminatório das variáveis em cada componente principal.

3. Resultados e Discussão

3.1. Perfilamento

A Tabela 2 apresenta o número de colmos por metro, os quais mais do que duplicou entre 90 e 150 dias após transplante (DAT), estabilizando cerca de 20 perfilhos m^{-1} após 240 DAT e foi 20% maior para CM e 51% maior para PD do que PC para produção de cana-de-açúcar. O número de colmos foi sempre maior em CM e PD do que PC. O número de colmos foram significativamente maiores na CE (cana energia) em todas as avaliações, corroborando com Matsuoka et al. (2014) e Han et al. (2016), superando em média 14 a mais do que aqueles contados no CA (cana-de-açúcar).

Bolonhezi et al. (2014) relataram resultados semelhantes em um experimento de longo prazo, demonstrando a vantagem competitiva desses sistemas. A manutenção da umidade do solo e um maior teor de matéria orgânica são alguns dos benefícios de manter a palha na gestão conservacionista que pode conferir aumentos significativos de 10 $Mg\ ha^{-1}$ na produtividade da cana-de-açúcar (BOLONHEZI et al., 2011).

Tabela 2. Perfilhamento (m) em três sistemas de preparo de solo (PC, preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) e das mudas pré brotadas de CA (IACSP 95-5000) e CE (cana energia), dias após o transplântio (DAT).

DAT	Manejo do Solo			F	Variedades		F	Int.	CV (%)	
	PC	CM	PD		CA	CE			princ	sec
Perfilhamento (m)										
90	19,63 b	25,50 a	26,38 a	**	23,00 a	24,67 a	ns	ns	11,46	19,57
120	32,88 b	43,75 a	44,25 a	**	32,83 b	47,75 a	**	ns	10,20	18,29
150	54,88 b	68,00 a	74,63 a	**	52,42 b	79,25 a	**	ns	11,92	9,42
180	41,38 b	53,75 a	53,38 a	**	40,08 b	58,92 a	**	ns	5,21	15,42
210	31,63 b	37,94 a	38,56 a	**	29,25 b	41,63 a	**	ns	10,93	15,34
240	21,88 b	32,00 a	30,75 a	**	23,33 b	33,08 a	**	ns	7,98	12,53
270	21,25 b	28,88 a	28,75 a	**	21,92 b	30,67 a	**	ns	13,99	16,5
300	21,19 b	25,63 a	25,87 a	*	19,88 b	28,58 a	**	ns	11,82	17,39
330	21,00 b	24,13 a	24,63 a	*	19,33 b	27,17 a	**	ns	8,16	13,47
360	20,38 b	24,50 a	24,75 a	**	18,50 b	27,92 a	**	ns	8,14	8,72

Letras minúsculas comparam as médias na horizontal. ns: não significativo a 5% de probabilidade *: significativo a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade pelo Tukey. Interações entre manejo de solo e variedades (Int.); CV (%) Coeficiente de variação tratamento principal (princ.) e secundário (sec).

O perfilhamento médio final (360 DAT) foi 20% maior para CM e PD do que PC (Tabela 2). Especificamente na colheita, a CE aumentou em aproximadamente 80 000 colmos ha⁻¹ para o espaço a 1,50 m com 28 colmos por metro, em comparação com Silveira et al. (2015) que obteve 200 000 colmos ha⁻¹ avaliando a produtividade de clones de CE no preparo convencional do solo com sulcos espaçados em 1,40 m e 14 colmos por metro.

3.2. Biomassa Fresca Total (BFT) e Biomassa Seca Total (BST)

As médias de biomassa fresca total foi menor a partir dos 150 DAT para PC (Tabela 3), provavelmente devido ao estresse inicial da planta causado pelas condições ambientais intrínsecas deste tipo de manejo (TAVARES, 2010). Zhao et al. (2017) relataram que a biomassa fresca total foi 11,70% menor para a CE

que a CA no primeiro corte, comparados aos resultados encontrados com uma diferença de 6,99%.

Tabela 3. Biomassa Fresca Total (Mg ha^{-1}) em três sistemas de preparo de solo (PC, preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) e das mudas pré brotadas de CA (IACSP 95-5000) e CE (cana energia), dias após o transplântio (DAT).

DAT	Manejo do Solo			F	Variedades		F	Int	CV (%)	
	PC	CM	PD		CA	CE			princ	sec
Biomassa Fresca Total										
90	1,31 a	1,35 a	1,81 a	Ns	1,56 a	1,41 a	ns	Ns	27,32	27,11
120	2,27 a	3,10 a	3,51 a	Ns	3,53 a	2,38 b	**	Ns	36,64	22,05
150	11,68 b	18,75 a	19,31 a	**	17,51 a	15,64 a	ns	Ns	20,35	14,33
180	41,13 b	53,74 ab	63,94 a	**	56,68 a	49,20 a	ns	Ns	15,63	21,04
210	59,35 b	81,27 ab	98,61 a	**	81,69 a	77,80 a	ns	Ns	18,08	13,97
240	93,82 b	115,07 a	109,87 a	*	116,22 a	96,28 b	**	Ns	9,46	10,59
270	146,87 b	181,74 a	171,66 a	**	181,48 a	152,03 b	**	Ns	6,95	8,24
300	165,27 b	186,68 a	182,03 a	**	191,92 a	164,06 b	**	Ns	2,93	10,39
330	176,56 b	195,41 a	195,14 a	**	201,39 a	176,69 b	**	Ns	4,18	7,23
360	185,53 b	222,19 a	214,01 a	**	214,75 a	199,74 b	**	Ns	4,43	3,27

Letras minúsculas comparam as médias na horizontal. ns: não significativo a 5% de probabilidade
*: significativo a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade pelo Tukey. Interações entre manejo de solo e variedades (Int.); CV (%) Coeficiente de variação tratamento principal (princ.) e secundário (sec).

A biomassa seca total foi maior em CM a partir dos 270 e 300 DAT para as duas variedades testadas. A biomassa seca total diferiu significativamente entre os sistemas de manejo do solo aos 240 e 300 DAT (Tabela 4), sendo superior aos valores encontrados na literatura para a cana energia (KIM et al., 2011; PENG et al., 2014; LEON et al., 2015; ZHAO et al. 2017).

Tabela 4. Biomassa Seca Total (Mg ha⁻¹) em três sistemas de preparo de solo (PC, preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) e das mudas pré brotadas de CA (IACSP 95-5000) e CE (cana energia), dias após o transplântio (DAT).

DAT	Manejo do Solo			F	Variedades		F	Int	CV (%)	
	PC	CM	PD		CA	CE			princ	sec
Biomassa Seca Total										
90	0,48 a	0,43 a	0,60 a	ns	0,55 a	0,45 a	ns	ns	26,5	28,83
120	0,77 b	1,01 a	1,16 a	**	1,09 a	0,86 a	ns	ns	16,46	26,59
150	2,81 b	4,64 a	4,33 a	*	3,97 a	3,89 a	ns	ns	24,85	27,07
180	9,81 b	13,44 a	15,94 a	*	13,19 a	12,93 a	ns	ns	23,16	22,76
210	16,10 b	22,39 a	21,58 a	*	18,41 b	21,62 a	*	ns	20,09	15,13
240	21,83 b	31,11 a	30,60 a	**	30,30 a	25,39 b	**	ns	7,92	12,55
270	28,41 b	37,07 a	33,87 a	**	35,90 a	30,33 b	**	ns	6,37	11,52
300	37,95 b	45,34 a	44,14 a	**	45,12 a	39,83 b	*	ns	6,06	9,64
330	47,45 b	56,35 a	56,06 a	**	57,64 a	48,92 b	**	ns	6,19	8,18
360	61,29 b	74,39 a	68,29 a	*	71,33 a	64,56 b	**	ns	8,48	7,19

Letras minúsculas comparam as médias na horizontal. ns: não significativo a 5% de probabilidade
*: significativo a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade pelo Tukey. Interações entre manejo de solo e variedades (Int.); CV (%) Coeficiente de variação tratamento principal (princ.) e secundário (sec).

3.3. Biomassa Fresca (BFC) e Biomassa Seca Colmos (BSC)

Na Tabela 5, os colmos representaram 84 e 86% da biomassa fresca total no CA e a CE, respectivamente, em 300 e 330 DAT. O rendimento do colmo a partir de 300 DAT foram 15 Mg ha⁻¹ maior em CM e PD (p<0,05) do que a PC, alcançando a máxima diferença aos 360 DAT 33 Mg ha⁻¹ no CM (Tabela 3). O rendimento do colmo PC, no entanto, foi 21 Mg ha⁻¹ maior para CA do que o clone de CE. Kim et al. (2011) e Han et al. (2016) relataram uma redução de

10,69% menor de biomassa seca da CE sendo compensada em 350% pela maior produção de etanol que a CA.

Tabela 5. Biomassa Fresca dos Colmos (Mg ha^{-1}) em três sistemas de preparo de solo (PC, preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) e das mudas pré brotadas de CA (IACSP 95-5000) e CE (cana energia), dias após o transplante (DAT).

DAT	Manejo do Solo			F	Variedades		F	Int.	CV (%)	
	PC	CM	PD		CA	CE			princ	sec
Biomassa Fresca Colmo										
90	0,43 b	0,56 ab	0,66 a	*	0,56 a	0,54 a	ns	ns	27,10	36,47
120	0,70 b	0,81 ab	1,33 a	*	0,99 a	0,90 a	ns	ns	37,52	21,36
150	11,20 a	10,67 a	6,42 b	*	9,24 a	9,62 a	ns	ns	26,72	18,89
180	26,78 c	39,17 b	47,94 a	**	38,47 a	37,45	ns	ns	14,87	24,98
210	51,85 b	74,16 a	90,73 a	**	72,74 a	71,75 a	ns	ns	18,38	14,34
240	76,67 b	93,50 a	88,37 a	*	91,44 a	80,89 b	*	ns	10,59	11,79
270	122,32 b	152,93 a	144,23 a	**	151,71 a	127,94 b	**	ns	7,64	7,44
300	140,12 b	158,10 a	154,20 a	**	161,55 a	140,06 b	**	ns	3,11	9,96
330	151,67 b	167,01 a	166,68 a	*	171,40 a	152,17 b	**	ns	4,77	7,76
360	156,50 b	189,22 a	180,76 a	**	182,37 a	168,62 b	**	ns	4,71	3,30

Letras minúsculas comparam as médias na horizontal. ns: não significativo a 5% de probabilidade
*: significativo a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade pelo Tukey. Interações entre manejo de solo e variedades (Int.); CV (%) Coeficiente de variação tratamento principal (princ.) e secundário (sec).

Na Tabela 6, a biomassa seca dos colmos foram superiores para a CA em relação a CE, a partir dos 240 DAT. A biomassa seca dos colmos foi de 22,42% maior em CM do que a PC devido às condições hídricas intrínsecas do estresse inicial que a planta sofre (TAVARES, 2010).

Tabela 6. Biomassa Seca dos Colmos (Mg ha^{-1}) em três sistemas de preparo de solo (PC, preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) e das mudas pré brotadas de CA (IACSP 95-5000) e CE (cana energia), dias após o transplântio (DAT).

DAT	Manejo do Solo			F	Variedades		F	Int.	CV (%)	
	PC	CM	PD		CA	CE			princ	sec
Biomassa Seca Colmo										
90	0,19 ab	0,16 b	0,25 a	*	0,21 a	0,18 a	ns	ns	26,19	26,35
120	0,24 b	0,31 b	0,45 a	**	0,33 a	0,33 a	ns	ns	22,58	33,76
150	1,32 b	2,25 a	2,09 a	*	1,93 a	1,84 a	ns	ns	26,59	25,09
180	6,16 b	9,80 a	11,30 a	**	8,40 a	9,77 a	ns	ns	24,82	29,71
210	14,75 b	20,58 a	19,48 ab	*	16,20 b	20,13 a	*	ns	20,13	15,95
240	15,04 b	22,58 a	22,06 a	**	21,31 a	18,47 b	*	ns	10,45	12,88
270	19,50 c	26,06 a	23,17 b	**	24,66 a	21,15 b	**	ns	7,54	8,39
300	27,31 b	32,92 a	31,92 a	**	32,05 a	29,38 b	*	ns	5,31	8,11
330	35,82 b	42,29 a	41,91 a	**	42,83 a	37,19 b	**	ns	7,19	8,05
360	45,86 b	56,14 a	50,44 ab	*	53,68 a	47,94 b	*	ns	11,02	9,66

Letras minúsculas comparam as médias na horizontal. ns: não significativo a 5% de probabilidade
*: significativo a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade pelo Tukey. Interações entre manejo de solo e variedades (Int.); CV (%) Coeficiente de variação tratamento principal (princ.) e secundário (sec).

Em geral, nota-se na Tabela 2 aos 240 DAT ocorreu maior perfilhamento da cana energia em relação a cana de açúcar, porém houve menor acúmulo de massa (TABELAS 3, 4, 5 e 6) durante o mesmo período. Matsuoka et al. (2014) e Silveira et al. (2015) apresentaram resultados semelhantes, justificado pela morfologia interna da cana energia que após iniciar o processo de maturação e reduzir o processo de crescimento, houve uma redução do preenchimento interno do colmo por água, com concentração maior das fibras e minerais próximas a parede externa dos colmos.

3.4. Parâmetros do modelo logístico de crescimento para Biomassa Fresca de Colmos e Biomassa Fresca Total

O crescimento acumulado máximo da cultura (Tabela 7) foi significativamente menor com o PC em relação aos manejos conservacionistas (CM e PD) para as variáveis Biomassa Fresca de Colmos e Biomassa Fresca Total (MACHADO et al., 1982; MARRAFON, 2012).

O ponto de inflexão apresentou diferença significativa entre as variedades estudadas, onde apenas quando utilizado o PC retardou o máximo crescimento em relação aos preparos conservacionistas. Especificamente, para a variável Biomassa Fresca dos Colmos (BFC) ocorreu o atraso em 16 dias após o transplântio (subtração entre 250,12 e 234,22 DAT), com o alcance do máximo de crescimento da cana energia que variando entre 229 e 250 dias após o transplântio. Ainda, para a variável Biomassa Fresca Total (BFT) ocorreu um atraso de 21 dias após o transplântio (subtração entre 252,32 e 231,38 DAT) com o alcance do máximo de crescimento da cana energia que variaram entre 229 e 252 dias após o transplântio.

Na Tabela 7, as taxas de crescimento máxima não apresentaram diferenças estatísticas. Os valores de Y_{\min} serão desconsiderados nesse modelo logístico devido a valores serem inexpressivo, justificado pela alta qualidade na produção da muda utilizada para o transplântio no experimento e pela uniformidade inicial apresentada após o transplântio em campo.

Os valores elevados para o coeficiente de determinação ajustado (r^2_{ajustado} superiores a 0,96) e valores baixos de raiz do erro quadrático médio (RMSE inferiores a 6,99%) para todos os tratamentos, podendo explicar a maior parte da variação do acúmulo de biomassa fresca (BFC e BFT).

Tabela 7. Parâmetros do modelo de crescimento logístico para as variáveis Biomassa Fresca Colmo (BFC) e Biomassa Fresca Total (BFT) da IACSP 955000 (CA) e cana energia (CE) em três sistemas (SM) de preparo de solo (PC - preparo convencional; CM, cultivo mínimo, PD, plantio direto) das mudas pré-brotadas.

SM	Var.	Parâmetros			Regressão			
		Y_{max}	X_0	P	r^2	$r^2_{ajustado}$	RMSE	
BFC	PC	CA	169,74 Ba	234,22 Ab	6,60 Aa	0,9940	0,9893	3,55
		CE	173,97 Ba	250,12 Aa	6,60 Aa	0,9958	0,9958	2,17
	CM	CA	200,11 Aa	232,35 Aa	6,18 Aa	0,9891	0,9803	5,34
		CE	198,18 Aa	235,71 Aa	5,44 Aa	0,9905	0,9830	5,20
	PD	CA	213,75 Aa	231,72 Aa	5,29 Aa	0,9816	0,9668	6,99
		CE	179,93 Aa	229,61 Aa	4,80 Aa	0,9802	0,9643	6,65
BFT	PC	CA	205,22 Ba	231,38 Ab	6,72 Aa	0,9899	0,9819	5,41
		CE	209,74 Ba	252,32 Aa	5,26 Aa	0,9971	0,9949	2,80
	CM	CA	237,19 Aa	230,09 Aa	5,85 Aa	0,9897	0,9815	6,01
		CE	237,20 Aa	238,03 Aa	5,18 Aa	0,9901	0,9822	6,21
	PD	CA	254,07 Aa	229,64 Aa	5,02 Aa	0,9877	0,9779	6,64
		CE	221,28 Aa	235,59 Aa	4,45 Aa	0,9858	0,9745	6,55

Letras maiúscula comparam as médias entre os sistemas de preparo, e as letras minúsculas comparam as médias entre variedades de cana-de-açúcar. Y_{max} : crescimento máximo da cultura; x_0 – ponto de inflexão (dia após o transplante com máximo de crescimento); p: taxa de crescimento máxima. r^2 : coeficiente de determinação; $r^2_{ajustado}$: coeficiente de determinação ajustado ;RMSE: raiz do erro quadrático médio.

3.5. Parâmetros do modelo logístico de crescimento para Biomassa Seca de Colmos e Biomassa Seca Total

O crescimento acumulado máximo da cultura (Tabela 8) foi significativamente menor com o PC de solo em relação aos manejos conservacionistas (CM e PD) para as variáveis Biomassa Seca de Colmos e Biomassa Seca Total em ambas as variáveis não foram constatados o alcance do máximo de crescimento dentro o período de condução de experimentos, corroborando com MACHADO et al. (1982); DOMINGUES CARLIN et al. (2008) e MARRAFON (2012) justificado a propriedade da cana-de-açúcar que possui para o acúmulo de biomassa fresca.

O potencial máximo de crescimento acumulado da CE (Tabela 8) foi significativamente maior que a variedade CA em todos os preparos de solo para as variáveis Biomassa Seca de Colmos (BSC) e Biomassa Seca Total (BST), semelhante aos resultados por Batista et al. (2013). Os alcances máximo de crescimento (X_0) ultrapassaram aos 360 DAT, devido a característica das variedades (KIM et al., 2011; MACHADO et al., 1982). Isto, não justifica a permanência da cana no campo por um período maior pois dificulta a operação mecanizada de colheita (LISBOA et al., 2017).

O ponto de inflexão (X_0) e as taxas de crescimento máximo (p) por dia não apresentaram diferenças estatísticas. O modelo logístico apresentou ótimo desempenho explicando maior parte da variação do acúmulo de biomassa seca (BSC e BST), por meio de valores elevados para o coeficiente de determinação ajustado (r^2 ajustado superiores a 0,96) e raiz do erro quadrático médio (RMSE inferiores a 2,35%) para todos os tratamentos, corroborando com Silveira et al. (2015) devido à maior produção de biomassa associada a uma maior capacidade de colheita e ao peso dos colmos.

Tabela 8. Parâmetros do modelo de crescimento logístico para as variáveis Biomassa Seca de Colmos (BSC) e Biomassa Seca Total (BST) da IACSP 955000 (CA) e cana energia (CE) em três sistemas (SM) de preparo de solo (PC - preparo convencional; CM - cultivo mínimo, PD - plantio direto) das mudas pré-brotadas.

SM	Var.	Parâmetros			Regressão			
		Y_{max}	X_0	P	r^2	$r^2_{ajustado}$	RMSE	
BSC	CT	CA	96,19 Ab	457,3 Aa	3,29 Aa	0,9858	0,9745	1,28
		CE	177,47 Aa	579,7 Aa	2,83 Aa	0,9745	0,9728	1,34
	MT	CA	72,76 Ab	361,18 Aa	3,51 Aa	0,9799	0,9710	1,78
		CE	184,23 Aa	402,22 Aa	2,88 Aa	0,9748	0,9680	2,10
	NT	CA	85,04 Ab	402,97 Aa	3,16 Aa	0,9860	0,9798	2,35
		CE	171,99 Aa	488,91 Aa	2,66 Aa	0,9844	0,9766	2,31
BST	CT	CA	172,38 Ab	456,17 Aa	3,06 Aa	0,9888	0,9799	1,30
		CE	334,94 Aa	614,98 Aa	2,65 Aa	0,9901	0,9822	1,24
	MT	CA	125,52 Ab	377,18 Aa	3,51 Aa	0,9872	0,9769	2,28
		CE	348,45 Aa	455,54 Aa	2,81 Aa	0,9882	0,9787	1,55
	NT	CA	150,09 Ab	377,19 Aa	3,51 Aa	0,9882	0,9791	1,64
		CE	323,98 Aa	456,25 Aa	3,06 Aa	0,9758	0,9685	1,65

Letras maiúscula comparam as médias entre os sistemas de preparo, e as letras minúsculas comparam as médias entre variedades de cana-de-açúcar. Y_{max} : crescimento máximo da cultura; x_0 – ponto de inflexão (dia após o transplante com máximo de crescimento); p: taxa de crescimento máxima. r^2 : coeficiente de determinação; $r^2_{ajustado}$: coeficiente de determinação ajustado ;RMSE: raiz do erro quadrático médio.

O diâmetro do colmo, palha; as folhas verdes, o número de colmos, a altura dos colmos e o índice da área foliar não diferiram significativamente entre os três tipos de manejo do solo.

3.6. Análise Multivariada

A análise de componentes principais permitiu uma distribuição única de acessos pela Componente Principal 1 (CP1) e Componente Principal 2 (CP2), uma vez que apenas dois autovalores foram maiores do que "um" (KAISER, 1958), sendo 6,91 e 3,34, respectivamente. Os dois principais componentes principais juntos permitiram uma ordem bidimensional de acessos e variáveis, produzindo um gráfico biplot (Figura 3).

A distribuição dos sistemas de gestão do solo e os traços agronômicos biométricos para a cana de açúcar apresentaram que esses componentes explicaram 78% da variabilidade, 53,12% e 25,71% dos quais em CP1 e CP2, respectivamente.

O eixo x (CP1) apresenta os contrastes do CA (IACSP955000) e da CE (cana de energia), explicada pela relação entre os traços e variedades de componentes de produção de biomassa (SILVEIRA et al., 2015). O eixo CP2 apresenta o sub-contraste com a contribuição potencial da agricultura de conservação do que a plantação convencional (PITTELKOW et al., 2015).

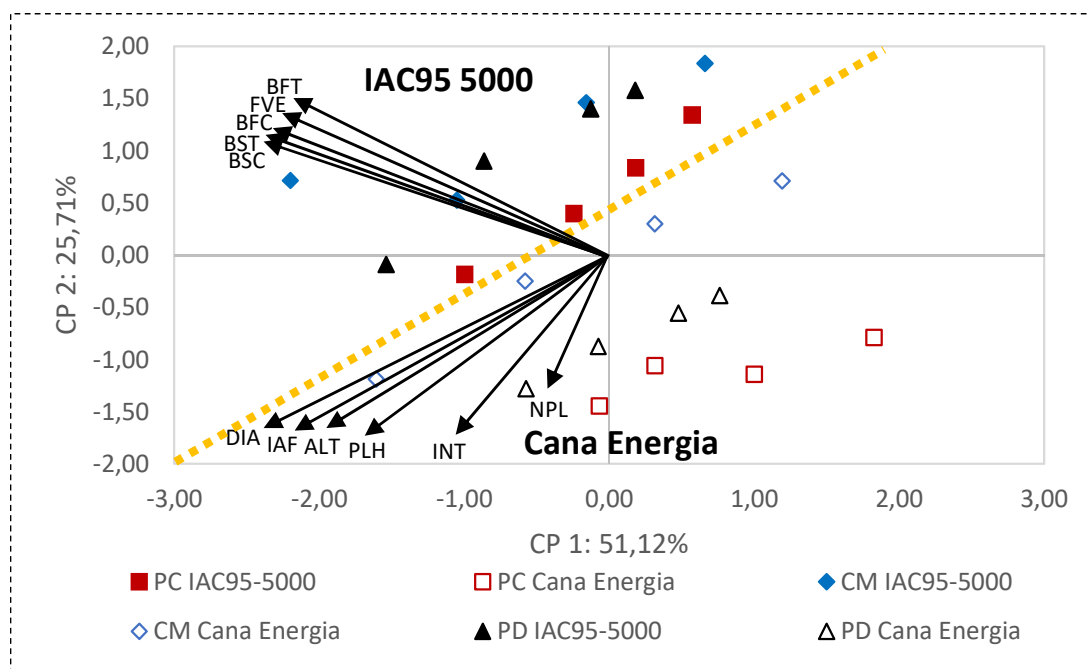


Figura 3. Biplot da distribuição dos três sistemas de manejo de solo (PC - preparo convencional; CM - Cultivo Mínimo, e PD - plantio direto) de acordo com as componentes principais 1 e 2 e seus vetores com as variáveis agrônômicas: Biomassa Seca Total (BFT); Biomassa Fresca de Colmos (BFC), Biomassa Seca Total (BST), Biomassa Seca Colmos (BSC), Diâmetro do colmo (DIA); Folha Seca (PLH), Folhas Verdes (FVE), Altura de Colmos (ALT), número de internódios (INT) e Índice de área foliar (IAF).

Os valores das correlações entre as características biométricas das variedades de cana e os dois primeiros componentes principais são apresentados na Tabela 9. De acordo com os sistemas de manejo do solo, PC1 possui alto poder discriminatório para as seguintes variáveis de crescimento da cana, BFT (-0,83), BST (-0,93), BSC (-0,91), DIA (-0,73), PLH (-0,81), FVE (-0,78), COL (-0,88), ALT (-0,75). Vale ressaltar que o alto impacto dos rendimentos finais da cana energia, proporcionam uma oportunidade com o sistema de gestão do solo para expandir a produção (ZHAO et al., 2017). O PC2 mostrou um alto poder discriminatório para o INT com correlação de -0,80 tanto com IAC95 5000 quanto com cana de energia (LEON et al., 2015).

Tabela 9. Correlação entre os três manejos de solo e as duas variedades de cana de açúcar com as variáveis produtivas agrônômicas da cana em duas componentes principais (CP1 e CP2).

	CP1	CP2
BFT	-0,83	0,49
BST	-0,93	0,25
BSC	-0,91	0,23
DIA	-0,75	-0,49
PLH	-0,81	-0,42
FVE	-0,78	0,48
BFC	-0,88	0,32
ALT	-0,75	-0,49
INT	-0,35	-0,80
IAF	-0,68	-0,57
NPL	-0,33	-0,89

Componente Principal 1 (CP1); Componente Principal 2 (CP2); Biomassa Fresca Total (BFT), Biomassa Seca Total (BST), diâmetro de colmos (DIA); folhas secas (PLH); folhas verdes (FVE), conjunto de colmos (COL), comprimento do colmo (ALT), internódios (INT) e índice de área foliar (IAF).

4. Conclusão

O perfilhamento máximo ocorreu aos 150 dias e se estabilizou aos 240 dias após o transplante, com acréscimos de 20% nos manejos conservacionistas e 51% para cana energia.

Não houve diferença significativas para quantidade de internódios, diâmetro e comprimentos dos colmos.

Os preparos de solo conservacionista cultivo mínimo e plantio direto proporcionaram um acúmulo de biomassa fresca de 19,76 e 15,35% comparados ao preparo convencional de solo.

O acúmulo final de biomassa seca proporcionou com ganhos significativos de 21,37 e 11,42%, respectivamente para o cultivo mínimo e plantio direto em relação ao preparo de solo convencional. A cana de açúcar pode proporcionar um acréscimo de 10,48% em relação a cana energia.

5. Referências

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 173-180, 2014.

BATISTA, E. D. S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. D.; BOEHRINGER, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1080-1087, 2013.

BIGATON, A.; OLIVEIRA, A. M. P.; XAVIER, L. F. S.; SILVA, H. J. T.; MARQUES, P. V. Previsão de custos do setor sucroenergético na região Centro-Sul do Brasil: safra 2016/17. **Revista iPecege**, v. 2, n. 3, p. 106-113, 2016.

BOLONHEZI, D.; GENTILIN JR., O.; SCARPELLINI, J.R.; BOLONHEZ, D.; SILVA, T.L. Sugarcane in No-tillage and Liming Long-term Experiment: Fifteen Years fo Results. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, VI, Winnipeg, Canada, 2014. **Proceedings...Winnipeg**, 2014, p. 4-5.

BOLONHEZI, D.; ROSSINI, D.B.; COSTA, N.; MARCONATO, M.B.; CANTARELLA, H.; GENTILIN JUNIOR, O.; GARCIA, J.C.; SANT'ANA, S.A. DE; BOLONHEZI, A.C. Surface application of lime for sugarcane production under no-tillage system. Balancing Sugar and Energy Production in Developing Countries: Sustainable Technologies and Marketing Strategies. **Proceedings...INTERNATIONAL SUGAR CONFERENCE**, IV, New Delhi, India, p.140-144, 2011. (Full Paper).

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. **Bioetanol De Cana-De-Açúcar**, p. 451-475, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 4, Safra 2017/18, n. 1, Primeiro Levantamento, Brasília, 2017. Retrieved October 08, 2017 from, http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_20_14_04_31_bol_etim_cana_portugues_-_1o_lev_-_17-18.pdf.

DOMINGUES CARLIN, S.; ALMEIDA SILVA, M. D.; ROSSETTO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, v. 67, n. 4, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: SNLCS, 353p. 2013.

EL MAWLA, H. A.; HEMIDA, B.; MAHMOUD, W. A. Study on the mechanization of sugarcane transplanting. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 2, n. 8, p. 2321-0869, 2014.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**, Bookman Editora, 1st ed., 2009.

HAN, K. J.; MOON, Y.; DAY, D. F.; PITMAN, W. D. Feedstock analysis sensitivity for estimating ethanol production potential in switchgrass and energycane biomass. **International Journal of Energy Research**, v. 40, n. 2, p. 248-256, 2016.

KAISER, H.F. – The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of industrial microbiology & biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803-807, 2011.

LANDELL, M. G. A. CAMPANA, M. P. FIGUEIREDO, P. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 2013. 16p. (Documentos IAC, 109)

LEON, R. G.; GILBERT, R. A.; COMSTOCK, J. C. Energycane (*Saccharum* spp.× *Saccharum spontaneum* L.) biomass production, reproduction, and weed risk assessment scoring in the humid tropics and subtropics. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 1, p. 323-329, 2015.

LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. C.; CERRI, D. G.; CERRI, C. E. Guidelines for the recovery of sugarcane straw from the field during harvesting. **Biomass and Bioenergy**, v. 96, p. 69-74, 2017.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MANTOAM, E. J.; MILAN, M.; GIMENEZ, L. M.; ROMANELLI, T. L. Embodied energy of sugarcane harvesters. **Biosystems engineering**, v. 118, p. 156-166, 2014.

MARRAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 2012, 29 p. (Documentos 168).

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G. D. D.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, p. 1-4, 2014.

MOHANTY, M; DAS, P.P.; NANDA S.S. Introducing SSI (Sustainable Sugarcane Initiative) technology for enhanced cane production and economic returns in real farming situations under east cost climatic of India. **Sugar Tech**, v. 17, n. 2, p. 116-120, 2015.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Sensitivity analysis of Hargreaves Samani equation components for Bebedouro region-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.2, p. 299-306, 2014.

PENG, L.; JACKSON, P. A.; LI, Q. W.; DENG, H. H. Potential for bioenergy production from sugarcane in China. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 3, p. 1045-1059, 2014.

PITTELKOW, C. M.; LIANG, X.; LINQUIST, B. A.; VAN GROENIGEN, K. J.; LEE, J.; LUNDY, M. E.; GESTEL, N.; SIX, J.; VENTEREA, R. T. VAN KESSEL, C. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, v. 517, n. 7534, p. 365-368, 2015.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2009.

SILVA, A. G. B.; GUERRA, J. G. M.; JUNIOR, M. G.; COSTA, J. R.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; DA SILVA ARAÚJO, E. Desempenho agrônômico de mucuna-verde em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 603-608, 2011.

SILVEIRA, L. C. I.; BRASILEIRO, B. P.; KIST, V.; WEBER, H.; DAROS, E.; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M. H. P. Selection strategy in families of energy cane based on biomass production and quality traits. **Euphytica**, v. 204, n. 2, p. 443-455, 2015.

STOLF, R.; TOKESHI, H. A ratoon transplanting technique for renewing sugarcane fields. **Sugar Cane**, v. 2, n. 2, p. 6-9, 1990.

SURENDRAN, U.; RAMESH, V.; JAYAKUMAR, M.; MARIMUTHU, S.; SRIDEVI, G. Improved sugarcane productivity with tillage and trash management practices in semi arid tropical agro ecosystem in India. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 10-21, 2016.

TAVARES, O. C. H. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 32, n. 1, 2010.

ZHAO, D.; IREY, M.; LABORDE, C.; HU, C. J. Identifying Physiological and Yield-Related Traits in Sugarcane and Energy Cane. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 927-937, 2017.

CAPÍTULO 3 – BIOMASSA DE RAÍZES E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DA CANA DE AÇÚCAR E CANA ENERGIA EM MANEJO CONSERVACIONISTA DO SOLO

Resumo

O setor sucroenergético possui uma meta de produtividade acima de 100 toneladas por hectare estipulada pelas usinas e fornecedores de cana-de-açúcar. Compreender o sistema radicular da cana-de-açúcar é fundamental para tomadas de decisões estratégicas. O manejo conservacionista pode reduzir os efeitos de compactação na cultura de cana de açúcar, objetivou-se estudar distribuição da biomassa radicular em relação aos atributos físicos do solo em profundidade, utilizando parcelas subdivididas em blocos casualizados, com quatro repetições, composto de parcelas com três manejos do solo: preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), e subparcelas com a variedade IACSP955000 de cana-de-açúcar (CA) e o clone de *Saccharum spontaneum* de cana de energia (CE), no município de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. Foram avaliados especificamente a teor de água do solo, resistência mecânica do solo a penetração, densidade, macroporosidade, microporosidade, na linha e entrelinha de transplântio. O cultivo mínimo com *Rip Strip*® proporcionou uma redução na resistência à penetração, com valores médios na linha e entrelinha na ordem de 1,7 e 2,5 MPa, enquanto no convencional apresentaram 4,37 (linha) e 6,87 MPa (entrelinha), com diferenças verificadas mesmo nos meses com maior pluviosidade, beneficiando os atributos físicos de solo, como microporosidade, macroporidade, porosidade total, e densidade do solo são verificadas somente nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm). O plantio direto e o cultivo mínimo possibilitaram o maior acúmulo de biomassa do sistema radicular, além de apresentar um comportamento temporal das massas de raízes em cana planta foi caracterizado pela distribuição ao longo do perfil do solo com 80% das raízes concentradas nas camadas superficiais do solo.

Palavras-chave: sistema radicular, RMSP, porosidade do solo, *ripstrip*, plantio direto.

CHAPTER 3: ROOT BIOMASS AND SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES OF ENERGY CANE IN CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEM

Abstract

The energy sector has a productivity goal of more than 100 tons per hectare stipulated by sugarcane mills and suppliers. Understanding that root system of sugarcane is fundamental for making strategic decisions, due to the difficulty of access, collection and visualization of roots distribution in the soil. Conservation management can reduce compaction effects on sugarcane cultivation. The objective of this study was to study the distribution of root biomass in relation to soil physical attributes in depth, using a randomized complete block design in a split-plot (CM) and no-tillage (PD), and subplots with the variety IACSP955000 of sugarcane (CA) and the clone of *Saccharum spontaneum* of sugar cane (CE), in the city of Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. The soil water content, soil mechanical strength, penetration, density, macroporosity, microporosity, in the line and transplanting line were evaluated specifically. The minimum Rip Strip® cultivation provided a significant reduction in penetration resistance, with average values in the rows and between rows 1.7 and 2.5 MPa, while in the conventional range, it was 4.37 (rows) and 6.87 MPa (between rows), microporosity, macroporosity and soil density are verified only in the superficial layers (0-5 and 5-10 cm), with differences observed even in the months with higher rainfall, benefiting soil physical attributes. No-tillage and minimum cultivation allowed for the greater accumulation of biomass of the root system, besides showing a temporal behavior of the root masses in cane. The plant was characterized by the distribution along the soil profile with 80% of the roots concentrated in the superficial layers of the ground.

Keywords: rootining system, RMSPP, soil porosity, rip-strip, no-tillage

1. Introdução

A dinâmica de enraizamento pode ser favorecida pela adoção do manejo conservacionista e influenciar na produtividade final, devido aos atributos físicos do solo, a resistência da planta à seca e a tolerância ao ataque de pragas e doenças do solo (AQUINO et al., 2014). O preparo convencional proporciona inicialmente uma melhoria superficial nas propriedades físicas do solo, mas pode prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular na cultura da cana de açúcar até o momento da colheita (LANA et al., 2017).

Os resultados de pesquisas sobre plantio direto em reforma de cana crua, estão mais concentrados nas culturas de sucessão/rotação e adubos verdes (BOLONHEZI et al., 2011). Os poucos resultados de pesquisa sobre plantio direto de cana-de-açúcar foram realizados sem uso de culturas de sucessão ou somente com adubos verdes.

Camilotti et al. (2005), estudando o efeito de diferentes sistemas de manejo, incluindo um preparo convencional e um sistema de cultivo mínimo apenas com destruição de soqueira, em Latossolo Vermelho, não observaram diferenças significativas entre tratamentos em atributos do solo como densidade do solo e porosidade total. Em estudo sobre a compactação do solo e a brotação das soqueiras de cana-de-açúcar, Fernandes et al. (1983) observaram que, em densidades superiores a $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$, as raízes não encontram condições de suprir a parte aérea das plantas com nutrientes em níveis satisfatórios.

Com o revolvimento do solo no preparo convencional, há redução da densidade do solo e aumento da porosidade, com redução da microporosidade (TORRES et al., 2015). Os implementos de preparo, entretanto, podem criar camadas mais adensadas em subsuperfície (camada de 0,10-0,20 m) com aumento da densidade do solo, redução da porosidade total, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade. Na superfície, o plantio direto, além de reduzir a porosidade total, altera a distribuição do tamanho dos poros, com redução dos poros de maior tamanho (OUWERKERK; BOONE, 1970; TORMENA et al., 2002).

Cherubin et al. (2016a) analisando a qualidade física do solo no Centro-Sul do Brasil comparando uma área com desejada estabilidade dos atributos físicos e químicos e biológicos do solo no plantio direto (mata nativa) em relação a uma área de implantação da pastagem e cana-de-açúcar observaram a

capacidade do solo na manutenção das propriedades físicas em são respectivamente 90%, 73% e 56%, atribuindo um efeito temporário no preparo do solo, devido ao processo de degradação física em função da atividade.

A proteção física do solo pela palhada da cultura anterior pode contribuir para o aumento de produtividade. Prova disso, Aquino e Medina (2015) encontraram que na retirada total ou a manutenção de 25% da palhada na superfície do solo resultam em menor produtividade da cana-planta e a manutenção de 50, 75, 100% da palhada em superfície não reduz a produtividade na cana planta, resultados semelhantes encontrados Campos et al. (2013).

O sistema radicular da cana é muito afetado pela compactação do solo devido a maior presença (85%) dos rizomas e raízes fasciculadas na camada de 0,50 m de profundidade, na qual especificamente 60% são distribuídas na camada de 20 a 30 cm (LIMA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013).

A resistência à penetração foi significativamente maior no tratamento plantio direto, na posição entrelinha, e na época 4 (início do déficit hídrico), entre 0,10 e 0,40 m (CURY et al., 2014). A maior resistência mecânica do solo à penetração deve-se ao não revolvimento do solo e acúmulo de pressões pelo tráfego de máquinas e, ainda, pela acomodação natural das partículas (CARVALHO JÚNIOR et al., 1998).

Segundo a escala adotada baseada nas indicações de Roque et al. (2003) e Ribeiro (2010), os valores de RMSP são classificados como: baixo (0 a 2 MPa), médio (> 2 a 4 MPa), alto (>4 a 6 MPa) e muito alto (acima de 6 MPa), definida diante dos danos causados as raízes.

Para Roque et al. (2003), valores de RMSP até 4 MPa são toleráveis em solos não revolvidos anualmente, devido à permanência e continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados. Desta forma, os autores indicam que valores de RMSP abaixo de 4 MPa não podem provocar prejuízos acentuados ao crescimento das plantas de cana-de-açúcar.

Há uma necessidade crescente das pesquisas principalmente, da resposta aos preparos de solo em relação ao crescimento das raízes e sua plasticidade na forma, no tamanho e na distribuição do sistema radicular devido a dificuldade de acesso e de visualização do sistema radicular das culturas em campo.

Partindo da hipótese que o manejo conservacionista possa reduzir os efeitos de compactação na cultura de cana de açúcar, objetivou-se especificamente estudar o comportamento da biomassa radicular em relação aos atributos físicos do solo em profundidade para três sistemas de preparo de solo, e avaliar especificamente a teor de água do solo, resistência mecânica do solo a penetração, densidade, macroporosidade, microporosidade, na linha e entrelinha de transplante, assim como a interferência da cana energia em relação a variedade tradicional.

2. Material e Métodos

2.1. Área experimental

O experimento de longa duração foi iniciado em 2003/04 na Agência Paulista de Tecnologia Agropecuária (APTA-Centro Leste) no município de Ribeirão Preto - SP, próximo às coordenadas geográficas 21°11' S e 47°52' O, com altitude e declividade média de 599 m e declividade de 5%, respectivamente, a área possui relevo suave a suave ondulado, de forma que os sulcos abertos sejam aproximadamente retilíneos, com clima Aw de acordo com a classificação de Köppen (ROLIM et al., 2007), sobre um Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013), com análise granulométrica de 682 e 687g kg⁻¹ de argila, 190 e 180g kg⁻¹ de silte e 128 e 133g kg⁻¹ de areia, conforme as profundidades de 0,00-0,20m e 0,20-0,4m.

As parcelas experimentais foram dimensionadas para favorecer a mecanização das operações e apresentam 30 x 10 m. Após 12 anos com esquema de rotação de culturas envolvendo amendoim, milho+gramíneas e um ano com soja, sempre foram instalados nas mesmas parcelas os três tratamentos de manejo de solo (PC -preparo convencional, CM – cultivo mínimo e PD - plantio direto) nas mesmas parcelas, com esquema de rotação de culturas em amendoim, milho+gramíneas e soja, perfazendo 38 anos de estabilização para a parcela de plantio direto.

A semeadura da mucuna verde com a finalidade de cobertura vegetal do solo (dezembro/2014), a qual se desenvolveu por 90 dias após a semeadura (Silva et al., 2011) afim de proporcionar a cobertura do solo. Para isso, a mucuna

verde foi dessecada (abril/2015) por meio de herbicida sistêmico não seletivo, e após 30 dias (maio/2015), a massa dessecada de mucuna foi triturada por uma roçadora, afim de evitar uma provável paralisação por acúmulo de palha nos órgãos ativos das máquinas durante as operações de preparo de solo e transplântio.

A pesquisa foi instalada em delineamento experimental blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em esquema de parcelas subdivididas com 4 repetições. Os tratamentos principais são os manejos de solo (convencional, cultivo mínimo com *Rip Strip*® e plantio direto) e os secundários os genótipos de cana-de-açúcar, IACSP95-5000 (*Saccharum officinarum*) um clone de cana energia (*Saccharum spontaneum hybrids*) foram produzidas na estrutura do Centro de Cana-de-Açúcar do IAC em Ribeirão Preto, através do sistema MPB (mudas pré-brotadas).

As operações de preparo de solo foram realizadas no mesmo dia que as operações de transplântio (maio/2015). O preparo de solo das parcelas do tratamento convencional consistiu de aração com aivecas, seguida de gradagem intermediária, arado de aivecas, incorporação de calcário e gradagem niveladora.

O tratamento denominado cultivo mínimo que durante 12 anos foi manejado somente com subsolador, foi utilizado equipamento conhecido como *Rip Strip*® da KMC (Kelley Manufacturing Co.), conforme Figura 1A. Este equipamento realiza preparo em faixas entre 0,20 e 0,46 m de largura através de quatro discos corrugados posicionados na vertical e entre 0,25 e 0,45 m de profundidade, através de uma haste subsoladora. O *Rip Strip*® foi desenvolvido para viabilizar a cultura do amendoim em manejo conservacionista nos USA e nunca tinha sido utilizado na cultura da cana-de-açúcar, fato que caracteriza uma inovação na cultura da cana de açúcar.

Para o PD não houve preparo do solo, apenas foi utilizada uma roçadora após 30 dias de dessecação da mucuna verde pelo herbicida para evitar a paralisação por acúmulo da cobertura vegetal nos órgãos ativos da operação de transplântio e o mecanismo de abertura e fechamento do sulco da transplantadora.

Utilizou-se transplantadora fabricada pela STA Máquinas Agrícolas, que utiliza tecnologia italiana da marca Pivot® no sistema de transplântio do tipo

“caneca”. O transplântio foi realizado no dia 07/05/2015 para todos os tratamentos (Figura 1B), por meio do mecanismo de abertura do sulco por meio do disco corta palha, seguido por uma haste escarificadora que trabalhou a 0,20 m de profundidade, com a deposição de fertilizante no fundo do sulco, por meio da análise química de solo, na adubação foram fornecidos 40, 140 e 80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O somente por ocasião do transplântio, para atender a recomendação nutricional da cultura da cana de açúcar do boletim técnico 100.

A transplântadora foi regulada para uma deposição de mudas de 0,50 m na linha de transplântio e com espaçamento entrelinha de 1,50 m. Houve uma reposição das mudas nos primeiros 15 dias após o transplântio para a garantia de uniformidade das plantas.



(A)



(B)

Figura 1. Equipamento Rip strip® (A) e Transplântadora Pivot® (B).

Após a operação de transplântio foi realizado uma irrigação de salvamento com lâmina de 40 mm mensais devido a deficiência hídrica entre junho/2015 a agosto/2015, onde choveu apenas 42,5 mm. Especificamente, o período de avaliação da RMSP e teor de água foi dividido nos meses de agosto/2015, novembro/2015, fevereiro/2016 e maio/2016, com as lâminas de água respectivamente nos valores de 136,9, 356,5, 731,5 e 246,2 mm, totalizando uma lâmina acumulado de 1591,1mm.

2.2. Análise Física do Solo

2.3. Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP)

As avaliações da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foram realizadas por meio de um quadriciclo equipado com um penetrômetro

eletrônico digital com força constante (marca DLG PNT 2000), em conformidade com a norma ASAE S313.3 (ASAE, 2004). A coleta de dados foi realizada com o auxílio da célula de carga com capacidade de 1500 N através do acionamento da haste na velocidade de 3 cm s⁻¹ e frequência de aquisição de 3 Hz e um sensor indutivo-capacitivo para medição da força exigida até os 0,55 m de profundidade.

Foram realizadas 5 leituras na entrelinha e 5 na linha de transplântio das mudas, em três preparos e duas variedades de cana-de-açúcar perfazendo um total de 240 pontos no inverno (agosto/2015), na primavera (novembro/2015), no verão (fevereiro/2016) e outono (maio/2016).

2.4. Teor de Água do Solo (%)

No mesmo dia das avaliações foram retiradas amostras de solo para determinação do teor de água nas profundidades de 0 a 0,05, 0,05 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40, 0,40 a 0,50 pelo método gravimétrico (secagem em estufa de circulação forçada de ar quente), descrito em Embrapa (2013).

2.5. Análise de Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total

Para fins de determinação das características físicas do solo pelos anéis indeformados, referentes a cinco profundidades 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m, antes do transplântio e após a colheita da cana-de-açúcar, utilizando-se anéis volumétricos de 100 cm³. As amostras indeformadas foram analisadas foram encaminhadas para o Laboratório de Física de Solo no Departamento de Solos da UNESP-Jaboticabal, para análise de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo por meio da mesa de tensão à 33 e 100 kPa (RICHARDS, 1949). Após a pesagem das amostras na tensão 100 kPa, estas foram saturadas para determinar a condutividade hidráulica saturada com um permeâmetro de carga variável. Após, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar à 105 °C, para determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 2013).

2.6. Avaliações do Sistema Radicular

Foram feitas três avaliações (setembro/2015, fevereiro/2016 e maio/2016) do sistema radicular por meio da sonda em seis pontos transversalmente (distanciados a 0,75; 0,45; 0,15 m de ambos os lados da linha de transplântio) e nas profundidades 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m, em todas as sub-subparcelas (Figura 2).

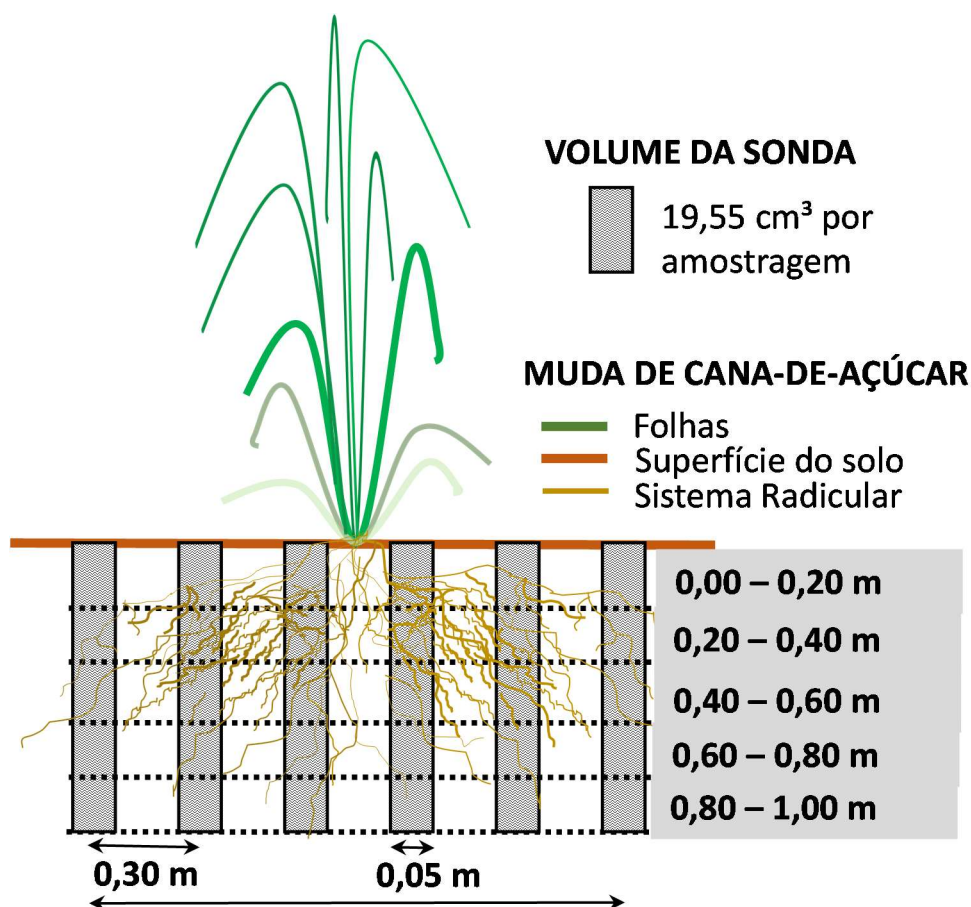


Figura 2. Distribuição dos pontos amostrais na superfície do solo (transversal a linha de transplântio - horizontal) de acordo com o perfil de solo (profundidade-vertical) para a coleta das amostras de solo/raízes por meio de uma sonda.

Para facilitar a dispersão da argila e a lavagem das amostras, em cada amostra foi acrescentado cerca de 20 mL de solução de água com álcool (20%). Depois da lavagem e separação em peneira de 0,5 mm (Figura 3) imagens das raízes foram obtidas em scanner de mesa. As imagens geradas foram

processadas no software Safira®, através do qual foram determinados; o comprimento médio, a área coberta por raízes, volume e o diâmetro médio.

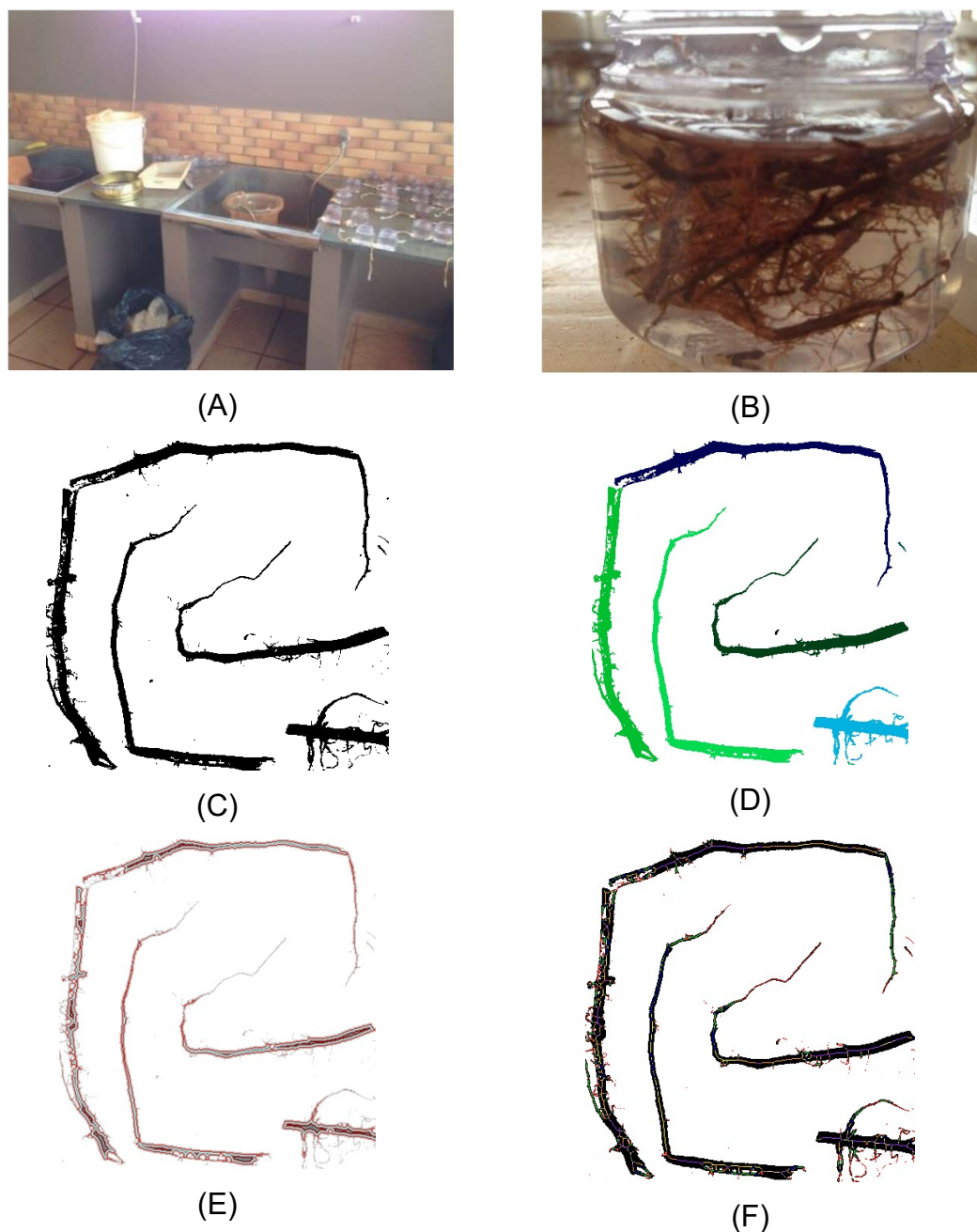


Figura 3. Procedimento para lavagem de amostras de raízes (A) e armazenagem (B) para posterior geração de imagens no scanner para processamento no software Safira®: Imagem binarizada pela segmentação (C); Rotulação da imagem binarizada (D); Transformação de distância (E); Esqueletonização e identificação das fibras (F).

Os dados referentes ao sistema radicular de área superficial, comprimento, volume e diâmetro ponderado das raízes, por apresentarem distribuição anormal, foram transformados pela função $y = \text{Log}(x + 11)$, antes da

análise de variância e da comparação de médias. Entretanto, os dados foram apresentados na forma original. Os dados obtidos após a transformação Box-Cox foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, por meio do software estatístico AGROESTAT®.

Os resultados médios para a visualização foram espacializados no transecto do solo, nas diferentes distâncias e profundidades para os gráficos de isolinhas, a partir do inverso do quadrado da distância, com o aplicativo GS+® versão 7.0 (Gamma Design Software, Plainwell, MI, EUA).

3. Resultados e Discussão

3.1. Amostragem Física do Solos

3.2. A Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP)

A área experimental foi preparada anualmente desde 2003, a partir de uma pastagem de 26 anos, enquanto que os sistemas conservacionistas nunca houve uso de arado e grades nestes 39 anos.

Na Figura 4 foram observados os maiores valores de RMSP no preparo convencional, ultrapassando expressivamente os níveis considerados aceitáveis para o pleno desenvolvimento do sistema radicular, que segundo Cherubin et al. (2016b) situam-se no limite máximo de 2,5 MPa. Segundo Arshad et al. (1996) citado por Roque et al. (2003) em solos não mobilizados anualmente, como é o caso da cana-de-açúcar, os valores médios entre 2 e 4 MPa não são impeditivos ao crescimento radicular, afirmando que são toleráveis valores até 4 MPa.

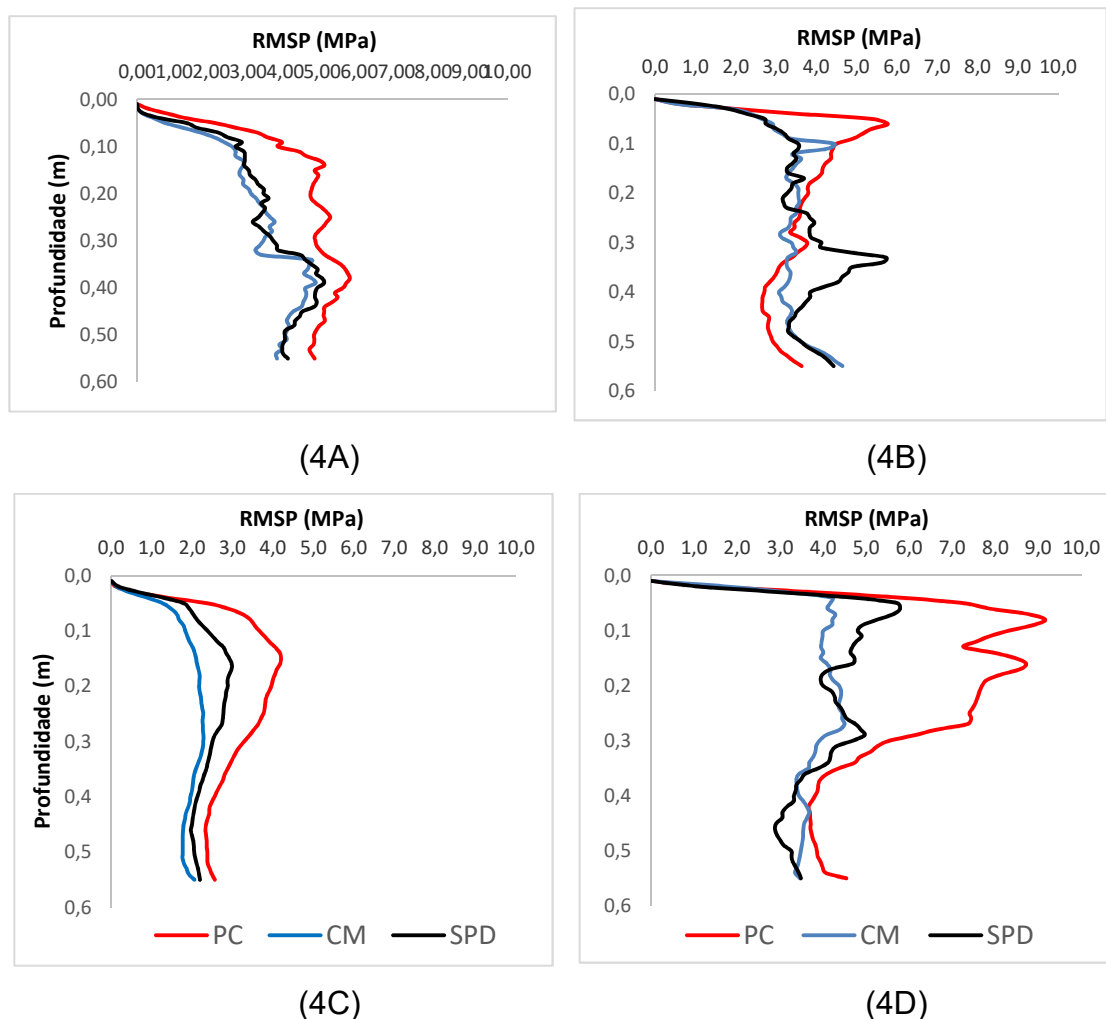


Figura 4. Resistência mecânica à penetração no solo em três preparos de solo de cana-de-açúcar no inverno (A-Agosto), primavera (B-Novembro), verão (C-Fevereiro) e outono (D-Maio). PC (preparo convencional), CM (Cultivo mínimo com *Rip Strip*[®]) e PD (Plantio direto).

Na Figura 5, nota-se o comportamento dos valores médios de RMSP na época de agosto/2015 (período seco), no sistema de preparo convencional, a média na linha e entrelinha foi 2,54 e 3,55 MPa, respectivamente. Neste sistema os valores máximos verificados foram 4,37 (linha) e 6,87 MPa (entrelinha), respectivamente nas camadas de 27,4 e 16,2 cm de profundidade.

Para o sistema plantio direto, os valores médios na linha e entrelinha foram respectivamente, 2,24 e 2,71 MPa. Os máximos valores de 3,96 (linha) e 4,09 (entrelinha) MPa foram quantificados nas camadas de 21,2 e 18,8 cm de profundidade no plantio direto. Por outro lado, o equipamento *Rip Strip*[®] proporcionou sensível redução na resistência à penetração, com valores médios

na linha e entrelinha na ordem de 1,7 e 2,5 MPa, respectivamente. Embora, os valores máximos tenham sido próximos do plantio direto, foram verificados em camadas mais profundas na entrelinha (0,22 m) e linha (0,33 m) no tratamento cultivo mínimo.

Pode-se observa na Figura 5, com relação às medidas efetuadas no mês de fevereiro/2016, que para a média dos dois genótipos de cana-de-açúcar e posições de leitura (sulco e entrelinha), os maiores valores da RMSP são verificados no sistema de preparo convencional (4,17 MPa na profundidade de 14 cm), seguido do plantio direto (2,92 MPa aos 0,15 m) e por último *Rip Strip*® (2,28 MPa na camada de 0,30 m). Vale salientar que essas leituras foram realizadas no verão, portanto a umidade do solo reduz a magnitude dos valores observados. Todavia, nota-se a mesma tendência verificada no período de inverno.

Os maiores valores são verificados na entrelinha, na qual o sistema convencional atingiu valores próximos a 6 MPa (Figura 3B e 3Cc) e 9 MPa de RMSP, respectivamente nos períodos úmidos e secos.

Porém, os maiores contrastes entre os sistemas de preparo são verificados nas avaliações realizadas no sulco de plantio (Figura 5A, 5B, 5C e 5D), onde verifica-se o efeito residual da subsolagem realizada em abril/2015 através do equipamento *Rip Strip*®, condição muito semelhante às avaliações realizadas no período seco de inverno. Esta comparação é mais fácil de ser visualizada através do gráfico apresentado nas Figuras 3, no qual pode-se observar que ao longo do perfil amostrado (0 até 50 cm de profundidade), o sistema de preparo convencional apresentou maiores valores de RMSP em comparação com os sistemas conservacionistas. A comparação dos sistemas, individualizando os genótipos, demonstra a mesma tendência de resposta (Figura 5).

Marasca et al. (2016) avaliando a RMSP em Latossolo Vermelho textura média, no sistema convencional, preparo localizado e profundo, com e sem controle de tráfego, concluíram que na camada de 0,15 a 0,30 m de profundidade, zona que concentra mais de 60% da biomassa radicular da cana-de-açúcar, a RMSP atingiu 7,3 e 7,1 MPa no preparo de solo profundo sem controle de tráfego e convencional, respectivamente, enquanto na área sem tráfego este valor foi de 3,2 MPa.

Na Figura 5 foram observadas maiores restrições quanto a compactação no preparo convencional nas quatro épocas, corroborando com Ahmad et al. (2015) que o manejo conservacionista pode melhorar o ambiente do solo em comparação com os sistemas convencionais de preparo do solo. Ainda, o preparo do solo pode deteriorar a estrutura do solo e, por meio da redução da capacidade de retenção de água no solo e afetam a biologia do solo, com impacto negativo no suprimento de nutrientes e na capacidade de armazenamento do solo (FAROOQ et al.,2011; DEVINE et al.2015).

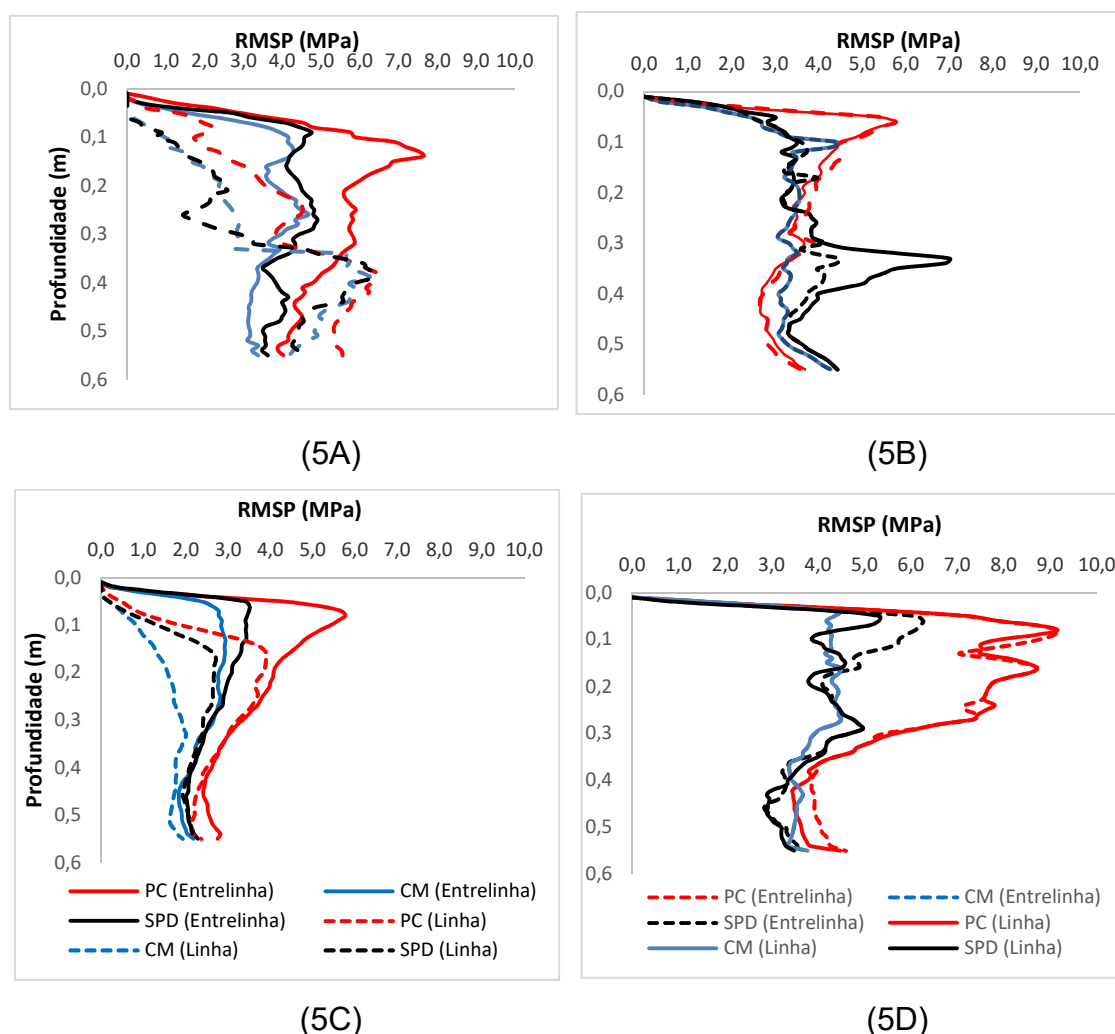


Figura 5. Resistência mecânica à penetração no solo em três preparos de solo na entrelinha e linha de cana-de-açúcar no inverno (A-Agosto), primavera (B-Novembro), verão (C-Fevereiro) e outono (D-Maio). PC (preparo convencional), CM (Cultivo mínimo com *Rip Strip*®) e SPD (Plantio direto).

Na Figura 6D foi observado maior intensidade de resistência do solo a penetração (9 MPa) para o preparo convencional para as duas variedades de

cana, fato que pode ser atribuído ao período de estresse hídrico, exemplificados na figura 3B e 3C caracterizado pelo período chuvoso.

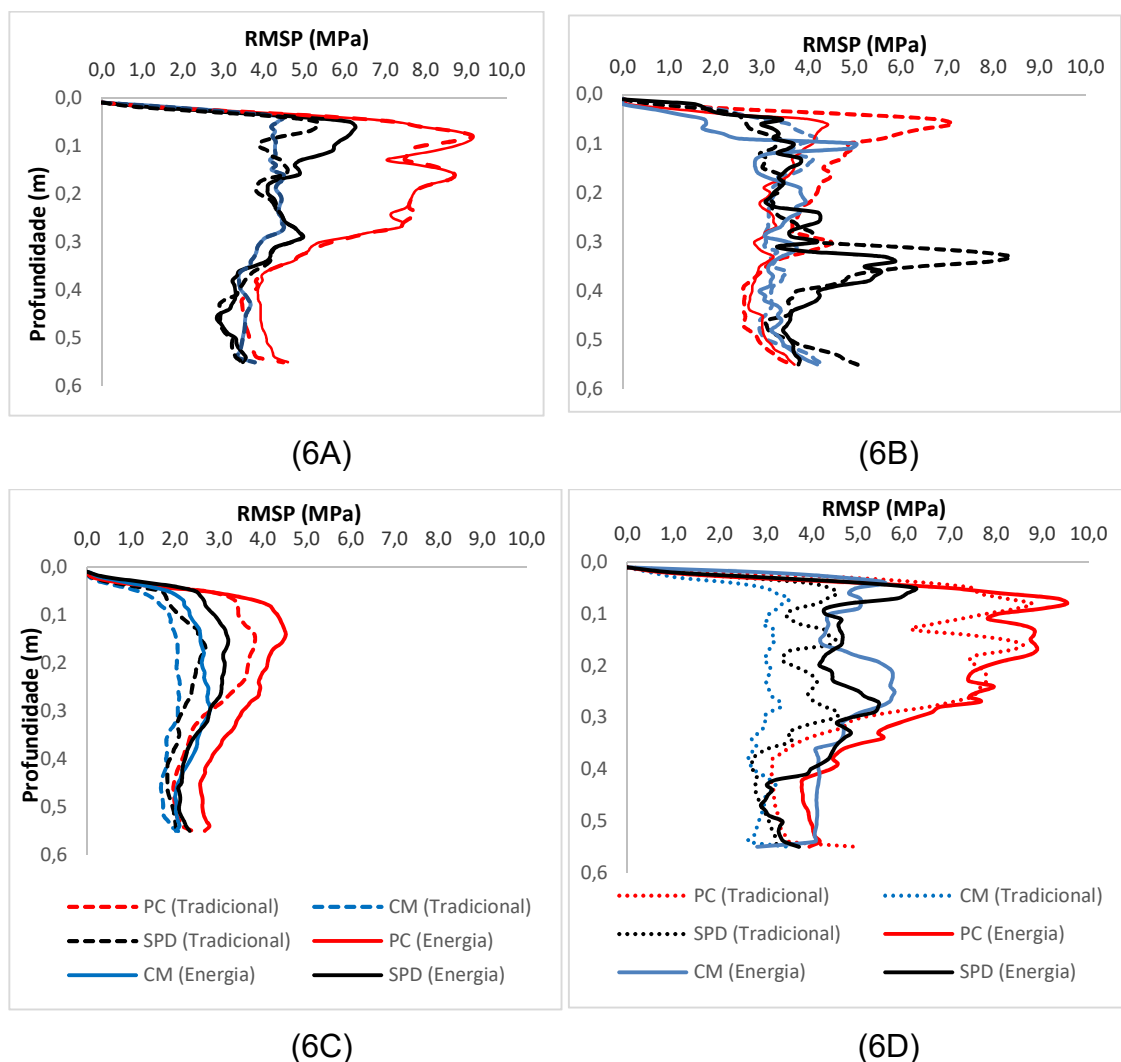


Figura 6. Resistência mecânica à penetração no solo em três preparos de solo na variedade tradicional e energia de cana-de-açúcar no inverno (A-Agosto), primavera (B-Novembro), verão (C-Fevereiro) e outono (D-Maio). PC (preparo convencional), CM (Cultivo mínimo com *Rip Strip*®) e SPD (Plantio direto).

Em geral, a compactação concentrou-se na camada superficial de 0,05m a 0,30m com os menos valores de intensidade de resistência mecânica nos manejos conservacionistas, sendo uma alternativa para a redução da degradação do solo (RALISCH et al., 2008; ROQUE et al., 2010), reduzindo a restrição ao desenvolvimento das plantas e é devida sobretudo ao uso intenso

de máquinas e implementos agrícolas (LIMA et al., 2013) cada vez maiores e mais pesados nas lavouras (REICHERT et al., 2009).

3.3. Teor de Água no Solo (%)

A Tabela 1 apresenta os valores médias de teor de água no solo a cada 0,10m, limitando-se a 0,50m de profundidade, para confrontar os resultados obtidos nas Figuras 1, 2 e 3 de resistência mecânica do solo à penetração.

Tabela 1. Teor de água no solo em três preparos de solo de cana-de-açúcar no inverno (A-Agosto), primavera (B-Novembro), verão (C-Fevereiro) e outono (D-Maio). PC (preparo convencional), CM (Cultivo mínimo com *Rip Strip*®) e PD (Plantio direto).

Sistema de Manejo	AGOSTO	NOVEMBRO	FEVEREIRO	MAIO
PC	18,40 b	17,75 b	30,19 b	21,19 b
CM	21,27 ab	20,58 a	31,39 ab	22,03 ab
PD	21,80 a	20,60 a	32,09 a	22,51 a
Teste F	5,94*	10,37*	2,34*	5,49*
dms (5%)	3,26	2,21	1,8	1,24
VARIEDADES				
TRADICIONAL	20,41 a	19,64 a	31,18 a	21,88 a
ENERGIA	20,57 a	19,65 a	31,27 a	21,94 a
Teste F	0,80 ns	0,00 ns	0,53 ns	0,52 ns
dms (5%)	0,39	0,23	0,28	0,19
PROFUNDIDADE				
0,00-0,10	22,25 a	20,17 a	29,43 c	20,65 c
0,10-0,20	19,67 b	19,09 b	29,54 c	22,73 c
0,20-0,30	19,76 b	19,41 ab	31,64 b	22,20 b
0,30-0,40	20,38 b	19,66 ab	32,94 a	23,11 a
0,40-0,50	20,38 b	19,09 b	32,55 ab	22,85 ab
Teste F	9,03**	4,23**	34,84**	34,53**
dms (5%)	1,37	0,8	1,11	0,78
Interação (PxS)	1,07 ns	1,37 ns	0,08 ns	0,08 ns
Interação (PxT)	1,79 ns	2,78**	0,42 ns	0,42 ns
Interação (SxT)	0,30 ns	0,17 ns	0,17 ns	0,18 ns
Interação (PxSxT)	0,39 ns	0,14 ns	0,24 ns	0,24 ns
CV_{par} (%)	23,18	16,39	8,41	8,25
CV_{sub} (%)	4,66	2,78	2,19	2,24
CV_{subsub} (%)	8,26	5,06	4,39	4,42

Letra minúscula comparam as médias na vertical. ns: não significativo, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao teste Tukey a 1% de probabilidade.

3.4. Análise Inicial: Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total

Os resultados na Tabela 1 evidenciam a presença dos maiores teores de água do solo no manejo conservacionista contribuindo para os menos valores de intensidade de resistência mecânica do solo a penetração obtidos nas Figuras 1

Manejo	Macroporos (m³ m⁻³)	Microporos (m³ m⁻³)	Poros Totais (m³ m⁻³)	Densidade (Mg m⁻³)
PC	10,34 a	31,53 b	41,86 ab	1,24 a
CM	12,14 a	33,44 a	45,58 a	1,24 a
PD	12,20 a	31,81 ab	44,01 b	1,25 a
Teste F	2,11 ns	3,64 *	3,59*	0,37 ns
dms (5%)	2,32	1,55	1,15	0,06
Profundidade (P)				
00-05	10,60 a	31,70 a	42,30 a	1,15 c
05-10	9,18 a	31,70 ab	40,88 ab	1,19 bc
10-20	9,61 a	31,82 ab	41,43 ab	1,27 ab
20-30	9,60 a	29,40 b	39,00 b	1,35 a
30-40	9,68 a	30,97 ab	40,65 ab	1,31 ab
40-50	9,95 a	30,78 ab	40,73 ab	1,22 bc
50-60	9,97 a	31,97 b	41,94 ab	1,21 bc
Teste F	1,71 ns	4,03**	3,06*	6,18**
dms (5%)	2,14	6,88	2,41	0,12
Interação (SxP)	0,63 ns	1,96 ns	0,96 ns	1,54 ns
CV (%)	28,65	4,75	9,16	7,84

Letra minúscula comparam as médias na vertical. ns: não significativo a 5% de probabilidade, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao teste Tukey a 1% de probabilidade.

A Tabela 1 auxilia a compreensão da utilização do índice do cone ou RMSP (Figuras 3, 4 e 5) na utilização do índice do cone ou RMSP como um indicador da qualidade física do solo, à despeito da dependência da umidade e textura, permite compreender e ratificar quão importante é a manutenção de resíduos e conseqüente melhoria nos teores de matéria orgânica no solo proporcionados pela adoção e manutenção de sistemas conservacionistas de manejo (CHERUBIN et al., 2016a).

3.5. Análise Final: Densidade, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total

Os resultados das análises físicas das amostras indeformadas coletadas antes do plantio e após a colheita da cana-de-açúcar encontram-se nas Tabelas 2 e 3. Verifica-se na Tabela 2, que após a dessecação da mucuna verde (cobertura do solo) e antes da instalação dos tratamentos de manejo para cana-de-açúcar em março de 2015, o tratamento preparo reduzido (*Rip Strip*®) apresentou maior microporosidade que o preparo convencional e maior porosidade total que o plantio direto, considerando a média das profundidades de amostragem. Diferenças estatísticas foram constatadas entre as profundidades para a característica microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Nota-se que a camada de 20-30 cm apresentava os maiores valores de densidade do solo ($1,35 \text{ g cm}^{-3}$) devido à redução da porosidade total.

Tabela 2. Valores médios de macroporosidade (m^3m^{-3}), microporosidade (m^3m^{-3}), porosidade total (m^3m^{-3}), densidade (Mg m^{-3}), em três sistemas de manejo dos solo e profundidades de amostragem. Amostragem em março de 2015.

Portanto, a conversão de pastagem (26 anos) em sistema de produção de grãos por 12 anos, não apresentou alterações drásticas nas características físicas do solo, comparado com a adoção do preparo convencional. Ao contrário deste resultado, Tormena et al. (2002) em pesquisa conduzida sobre Latossolo com textura média no Paraná, verificaram que após dois anos de instalação dos manejos para a cultura da mandioca, houve aumentos na macroporosidade e porosidade total, através da adoção de arado de aiveca e escarificação, em relação ao plantio direto. Informam que o plantio direto aumentou a densidade do solo em 24% e reduziu drasticamente a macroporosidade.

Após a colheita manual da cana-de-açúcar, diferenças estatísticas foram observadas somente nas camadas superficiais, para todas as características avaliadas, sempre favorável para amostragens efetuadas na linha de plantio. Esse direcionamento em duas posições de amostragem foi feito com o objetivo de identificar contrastes entre o tratamento com escarificação profunda na linha (*Rip Strip*®) e com os tratamentos já estabilizados com e sem preparo

convencional. Somente foi constatada diferença estatística entre os manejos de solo para os valores de densidade na camada superficial (0-0,05 m), com redução significativa no tratamento *Rip Strip*® em relação ao preparo convencional.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises estatísticas, incluindo a profundidade e a posição de amostragem como fatores. Observa-se que a despeito de algumas interações significativas, para todas as características físicas avaliadas, as diferenças estatísticas são verificadas somente entre profundidades e as posições de amostragem. Estes resultados são úteis para explicar a diferença da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) entre as duas posições (linha e entrelinha), mas não correspondem aos contrastes observados entre os sistemas de manejo para RMSP avaliada em diferentes períodos. Deve-se considerar que as medidas de RMSP são realizadas em 20 pontos nas parcelas, permitindo identificar com maior acurácia as diferenças entre os tratamentos de manejo, enquanto que as amostras indeformadas são coletadas em dois pontos somente em cada parcela, diminuindo as chances de identificar as diferenças. O fato de não terem ocorrido alterações expressivas nas características físicas do solo, ajuda a explicar os ganhos em produtividade nos manejos conservacionistas. Silva Junior et al. (2013), em pesquisa comparando sistemas de manejo do solo para cana-de-açúcar para as condições do Mato Grosso do Sul, concluíram em duas safras que o plantio direto aumentou a densidade do solo e a RMSP, com consequente redução de 20 Mg ha⁻¹ na produtividade de colmos, em comparação com os preparos convencionais. Resta saber se o uso da colheita mecanizada esta realidade será alterada ao longo dos cortes, considerando que 80% da compactação é decorrente da primeira colheita.

Tabela 3. Valores médios de macroporosidade (m^3m^{-3}), microporosidade (m^3m^{-3}), porosidade total (m^3m^{-3}), densidade (g cm^{-3}), em três sistemas de manejo dos solo, posição e profundidades de amostragem. Amostragem em março de 2016.

Manejo Solo	de Macroporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Microporos ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Poros Totais ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Densidade (g m^{-3})
PC	10,10 a	28,43 a	38,53 a	1,26 a
CM	11,84 a	32,22 a	34,06 a	1,21 a
PD	11,16 a	32,02 a	33,18 a	1,22 a
Teste F	0,12 ns	0,48 ns	0,24 ns	0,73 ns
dms (5%)	1,82	8,27	9,41	0,11
Local (L)				
Linha	12,42 a	33,98 a	46,40 a	1,20 b
Entrelinha	9,66 b	30,33 b	39,99 b	1,26 a
Teste F	12,04**	11,05**	12,74**	8,52*
dms (5%)	2,36	2,21	5,98	0,05
Profundidade (P)				
00-05	11,63 a	34,98 a	46,61 a	1,19 a
05-10	11,80 a	30,70 ab	42,50 a	1,19 a
10-20	10,00 ab	33,05 a	43,05 ab	1,24 a
20-40	10,69 ab	33,76 ab	43,45 ab	1,27 a
40-60	9,67 b	29,29 b	38,96 b	1,27 a
Teste F	4,30**	4,99**	4,87**	3,50*
dms (5%)	0,85	3,51	4,74	0,08
Interação (SxL)	2,78 ns	2,02 ns	2,56 ns	3,89 ns
Interação (SxP)	0,28 ns	0,67 ns	0,41 ns	0,61 ns
Interação (LxP)	4,11**	5,70**	5,09**	1,53 ns
Interação (SxLxP)	1,27 ns	1,64ns	1,51 ns	0,44 ns
CV_{parc} (%)	23,75	13,67	24,26	13,45
CV_{sub} (%)	34,58	10,5	16,23	8,54
CV_{subsub}(%)	27,37	7,74	12,59	7,95

Letra minúscula comparam as médias na vertical. ns: não significativo a 5% de probabilidade, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao teste Tukey a 1% de probabilidade.

3.6. Análise do Sistema Radicular

Os resultados sobre o sistema radicular das duas variedades de cana-de-açúcar (Figura 6 e Tabela 4) efetuada no mês de fevereiro de 2016, verificando-

se em todas as características avaliadas houve diferença estatística entre os tratamentos de manejo de solo, independente da variedade de cana, atribuindo ao maior revolvimento menores valores de biomassa, volume, área, comprimento e o diâmetro médio das raízes. Enquanto o plantio direto e o *Rip Strip*® proporcionaram respectivamente aumentos significativos de 540 e 290 kg ha⁻¹ na biomassa seca de raízes, considerando a profundidade de 1,00 m. Para a média dos manejos de solo, não foram identificadas diferenças significativas entre as duas variedades estudadas, não confirmando uma das hipóteses da pesquisa que afirma; a cana energia tende a ter sistema radicular mais vigoroso, por apresentar na sua genética maior participação de Cana energia. Verifica-se na Figura 6 que a cana energia apresenta maior distribuição em profundidade das raízes, principalmente no plantio direto, resultado oposto ao encontrado para produtividade de colmos. Os valores de biomassa seca estão semelhantes aos encontrados em outras pesquisas (OTTO et al., 2009; AZEVEDO et al., 2011; BOLONHEZI et al., 2011 e 2014).

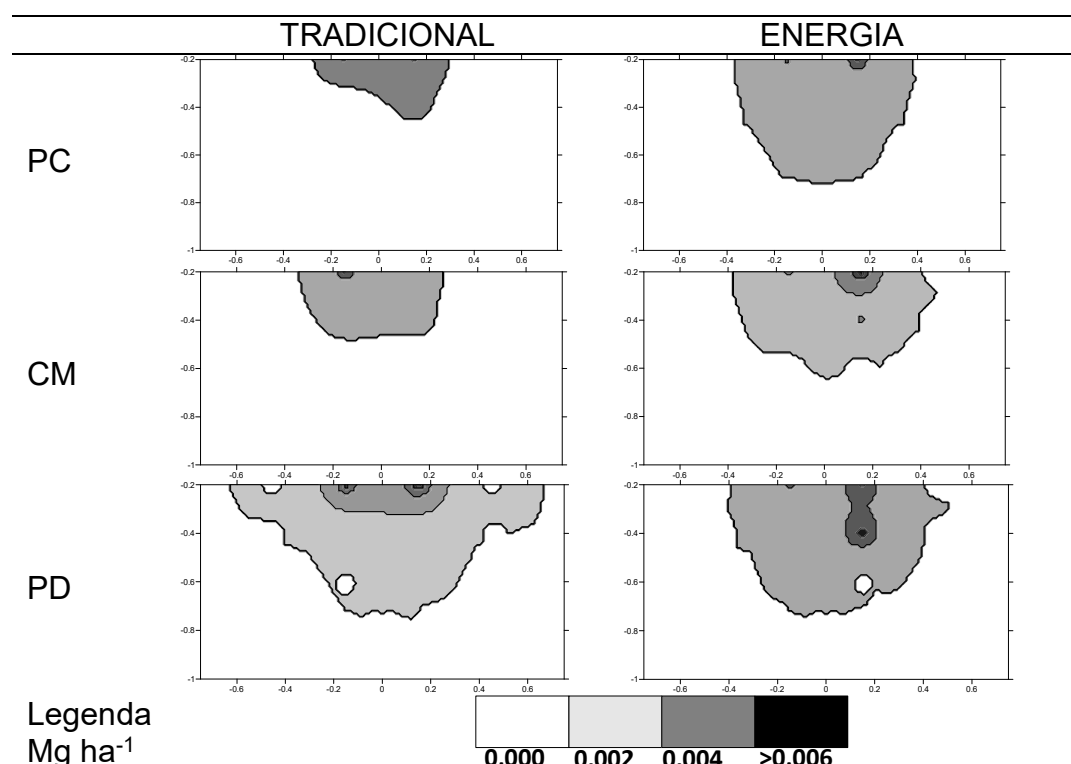


Figura 6. Distribuição espacial da biomassa seca de raiz de duas variedades de cana-de-açúcar, em três manejos de solo, perfil de 1,00 metro de profundidade 1,50 m de largura. Setembro/2016.

Tabela 4. Biomassa (Mg ha^{-1}), Volume (m^3), Área Superficial (m^2), Comprimento (m) e Diâmetro Ponderado (m) das raízes em duas variedades de cana-de-açúcar, em três manejos de solo em Setembro/2016.

Manejo de Solo (S)	Biomassa <i>Mg ha⁻¹</i>	Volume <i>mm³</i>	Área Superficial <i>mm²</i>	Comprimento <i>Mm</i>	Diâmetro ponderado <i>mm.</i>
PC	0,09 c	431,65 b	1586,47 b	1747,10 b	20,57 b
CM	0,14 b	789,57 ab	2668,76 a	3508,34 a	27,18 a
PD	0,23 a	904,85 a	2896,35 a	3744,29 a	29,55 a
Teste F	57,44**	17,62**	20,55**	16,14**	11,72**
dms (5%)	0,04	329,14	443,22	1827,88	6,41
Variedade (V)					
IAC955000	0,14 a	696,27 a	2296,48 a	2765,57 a	25,47 a
Energia	0,16 a	698,71 a	2271,06 a	2827,66 a	26,51 a
Teste F	0,53 ns	0,01 ns	0,38 ns	0,23 ns	0,64 ns
dms(5%)	0,07	105,43	230,48	1283,11	11,12
Interação SxV	0,09 ns	4,47 ns	4,01 ns	3,04	4,05 ns
CV(%)_{parc}	17,38	18,29	17,18	18,50	15,37
CV(%)_{sub}	47,39	52,79	49,46	38,17	39,41

Letra minúscula comparam as médias na vertical. ns: não significativo a 5% de probabilidade, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao teste Tukey a 1% de probabilidade.

Na Figura 7 e Tabela 5, encontram-se alguns dos resultados obtidos sobre o sistema radicular das duas variedades de cana-de-açúcar estudadas. Para amostragem efetuada no mês de fevereiro de 2016. Verifica-se que para todas as características avaliadas houve diferença estatística entre os tratamentos de manejo de solo, independente da variedade de cana, sendo que quanto maior o nível de revolvimento menor a biomassa, o volume, a área e o diâmetro médio das raízes.

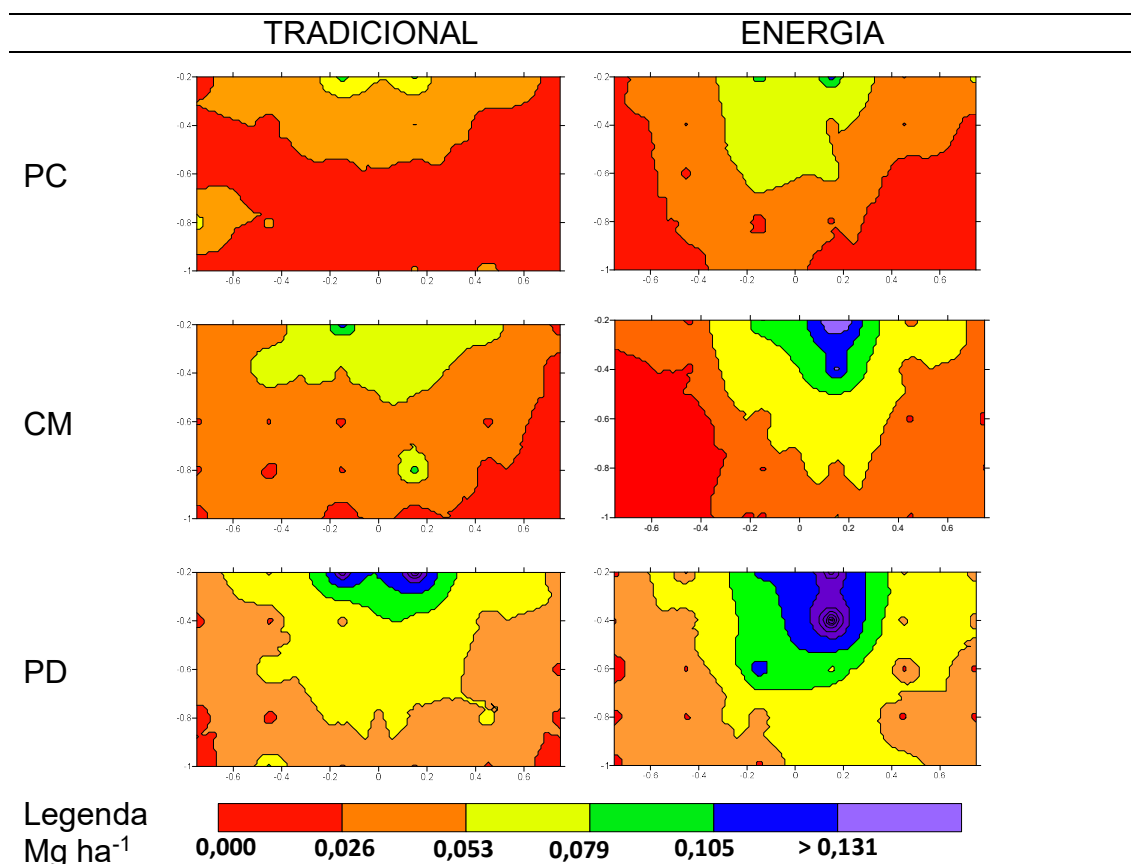


Figura 7. Distribuição espacial da biomassa seca de raiz de duas variedades de cana-de-açúcar, em três manejos de solo, perfil de 1,00 metro de profundidade 1,5 m de largura. Fevereiro/2016.

As Figuras 6 e 7 apresentaram valores médios superiores com maior distribuição da massa de raízes ao longo do perfil do solo que Aquino et al. (2015) onde 80% da massa de raízes restringiram-se a camada superficial de 0,40 m de profundidade com a manutenção da palhada em 75%.

Em geral, nas Figuras 6, 7 e nas Tabelas 4 e 5, observa-se uma distribuição percentual (maior que 80%) ao longo do período de desenvolvimento da massa de raízes no perfil do solo, onde apresentou maior concentração na camada de superficial (até 0,40m) durante o período seco (setembro/2015), melhorando sua distribuição a 0,60m durante o período chuvoso (dezembro/2015), alcançando os 0,80 m na época de colheita (maio/2016).

Tabela 5. Biomassa (Mg ha^{-1}), Volume (m^3), Área Superficial (m^2), Comprimento (m) e Diâmetro Ponderado (m) das raízes em duas variedades de cana-de-açúcar, em três manejos de solo em Fevereiro/2016.

Sistema de Manejo (S)	Biomassa Mg ha^{-1}	Volume mm^3	Área Superficial mm^2	Comprimento mm	Diâmetro ponderado mm
PC	0,86 c	4431,65 b	15176,86 b	18212,23 b	205,60 b
CM	1,15 b	6789,57 ab	22168,11 a	33252,17 a	270,32 a
PD	1,49 a	9704,85 a	26896,35 a	34956,44 a	299,60 a
Teste F	36,67**	14,31**	20,55**	32,11**	11,72**
dms (5%)	0,23	3030,44	5643,29	8217,37	60,96
Variedade (V)					
IAC 955000	2,07 a	6960,91 a	22096,48 a	26719,00 a	249,47 a
Energia	2,56 a	6989,79 a	20731,06 a	27818,29 a	267,54 a
Teste F	1,56 ns	0,00 ns	0,38 ns	0,27	0,64 ns
dms(5%)	0,34	2054,43	5030,79	6712,33	51,12
Interação SxV	0,04 ns	3,01 ns	4,01 ns	2,31 ns	4,05 ns
CV(%)_{parc}	12,56	28,32	17,18	15,22	15,37
CV(%)_{Sub}	31,29	31,89	25,44	34,47	21,41

4. Conclusões

Resistência Mecânica à Penetração e Atributos Físicos

O cultivo mínimo com *Rip Strip*® proporcionou sensível redução na resistência à penetração, com valores médios na linha e entrelinha na ordem de 1,7 e 2,5 MPa, enquanto no convencional atingiu foram 4,37 (linha) e 6,87 MPa (entrelinha), com diferenças verificadas mesmo nos meses com maior pluviosidade;

Os manejos conservacionistas aumentam o teor de água no solo contribuindo para maior resistência contra ao estresse hídrico no período seco, principalmente nas camadas subsuperficiais.

Alterações na porosidade total, microporosidade, macroporidade e densidade do solo são verificadas somente nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), sem diferenças estatísticas expressivas entre os tratamentos de manejo;

Biomassa de Raízes e distribuição no perfil do solo

O plantio direto e o cultivo mínimo possibilitaram o maior acúmulo de biomassa do sistema radicular.

O comportamento temporal das massas de raízes em cana planta foi caracterizado pela distribuição ao longo do perfil do solo com 80% das raízes concentradas ao longo nos 0,80m de profundidade.

5. Referências

AHMAD, F.; WEIMIN, D.; QISHUO, D; HUSSAIN, M; JABRAN, K. Forces and Straw Cutting Performance of Double Disc Furrow Opener in No-Till Paddy Soil. **PLoS ONE**, v. 10, n.3, 2015. DOI:10.1371/journal.pone.0119648

AQUINO, G. S.; CONTI MEDINA, C.; JUNIOR, A. L. P.; SANTOS, L. O.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; ALMEIDA, L. F.; SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.12, p. 1150-1159, 2015.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 173-180, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000300003.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. ASAE S313.3. Soil Cone Penetrometer. St. Joseph: **ASAE Standards**. p.858-860, 2004.

AZEVEDO, M.C.B.; CHOPART, J.L.; MEDINA, C. C. Sugarcane, root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agricola**, v. 68, n.1, p. 94-101, 2011

BOLONHEZI, D.; CURY, T.; DE MARIA, I.C.; ROSSINI, D.B.; MARCONATO, M.B.; CAMILO, E.H. Dry root biomass of sugarcane grown under different lime rates in conventional and no-tillage system. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF ROOT RESEARCH, VIII, Dundee, Scotland, 2012, **Abstracts...**University of Dundee, 2011. (CD-rom)

BOLONHEZI, D.; GENTILIN Jr., O.; SCARPELLINI, J.R.; BOLONHEZ, D.; SILVA, T.L. Sugarcane in No-tillage and Liming Long-term Experiment: Fifteen Years fo Results. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, VI, Winnipeg, Canada, 2014. **Proceedings...**Winnipeg, 2014, p. 4-5.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A.R.; MUTTON, M.A. & 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**, v. 25, p. 189-198, 2005.

CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A.; BERGAMIM, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.305-310, 2013. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2091>

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 22, p. 505-514, 1998.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. E.; FRANCO, A. L.; TORMENA, C. A.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil quality indexing strategies for evaluating sugarcane expansion in Brazil. **PloS one**, v. 11, n. 3, 2016a.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, v. 267, p. 156-168, 2016b.

CURY, T. N.; DE MARIA, I. C.; BOLONHEZI, D. Sugarcane root biomass in no-tillage and conventional systems with and without liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1929-1938, 2014.

DEVINE, S.; MARKEWITZ, D.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. **PLoS ONE** v. 9, n. 1, 2014. doi:10.1371/journal.pone.0084988 PMID: 24465460

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: SNLCS, 225p. 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: SNLCS, 353p. 2013.

FERNANDES, J.; RIPOLI, T.C.; MILLAN, M.A. A compactação do solo e a brotação das soqueiras. **Álcool Açúcar**, v. 3, p. 12-17, 1983.

FAROOQ, M.; FLOWER, K. C.; JABRAN, K.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 172-183, 2011.

FIGUEIREDO, P. G.; MORAES-DALLAQUA, M. A. D.; BICUDO, S. J.; TANAMATI, F. Y.; AGUIAR, E. B. Development of tuberous cassava roots under different tillage systems: descriptive anatomy. **Plant Production Science**, v.18, n.3, p. 241-245, 2015.

LANA, R. M. Q.; DA SILVA DOMINGUES, L. A.; TORRES, J. L. R.; MAGESTE, J. G.; DE MORAES, E. R. Soil physical attributes and productivity of sugarcane under different cropping systems in the savannah goiano. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 2, p. 149, 2017.

LIANG, X.; ERICKSON, J. E.; VERMERRIS, W.; ROWLAND, D. L.; SOLLENBERGER, L. E. SILVEIRA, M. L. Root architecture of sorghum genotypes differing in root angles under different water regimes. **Journal of Crop Improvement**, v. 31, n. 1, p. 39-55, 2017.

LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. C.; CERRI, D. G.; CERRI, C. E. Guidelines for the recovery of sugarcane straw from the field during harvesting. **Biomass and Bioenergy**, v. 96, p. 69-74, 2017.

LIMA, R. P.; LEON, M. J.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, v. 60, p. 577-581, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000400018>

MARASCA, I., GLADENUCCI, J., SPADIM, E. R., BARBOSA, R. D., & LANÇAS, K. P. Geoestatística aplicada na determinação da compactação do solo no cultivo da cana-de-açúcar. **Revista De Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 49-55, 2017.

MORAES, E. R.; DOMINGUES, L. A. S.; MEDEIROS, M. H.; PEIXOTO, J. V. M.; LANA, R. M. Q. Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, n. 1, p. 27–32, 2016.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1103-1112, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400027>

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 398-405, 2009.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, 381–384. 2008.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.310-319, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>

RIBEIRO, C. A. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)**. 2010. 85f. Dissertação Mestrado Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 95, 1949.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; ALENCAR, G. V.; BEUTLER, A. N.; PEREIRA, G. T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, p. 53-57, 2003.

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**, v. 45, p. 744-750, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000700016>

SÁ, M. A. C. D.; JUNIOR, S.; FRANZ, C. A. B.; REIN, T. A. Soil physical quality and sugarcane yield with the use of inter-row chiseling. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p. 1610-1622, 2016.

SILVA JR.; C.A.; CARVALHO, L.A.; CENTURION, J.F.; OLIVEIRA, E.C.A. de. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1489-1500, 2013.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. D.; SOUZA, Z. M. D. Physical Properties Of An Oxisol With Cover Crops In No-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015.

van OUWERKERK, C.; BOONE, F.R. Soil physical aspects of zero-tillage experiments. **Netherland Journal Agriculture Science**, v.18, p. 247-261, 1970.