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

**Efeito do manejo de palha de cana-de-açúcar nas relações solo - planta em
Igarapu do Tietê - SP**

Gustavo Vicentini Popin

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2017**

Gustavo Vicentini Popin
Engenheiro Agrônomo

**Efeito do manejo de palha de cana-de-açúcar nas relações solo - planta em Igarapu
do Tietê - SP**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO PELLEGRINO CERRI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2017

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

Popin, Gustavo Vicentini

Efeito do manejo de palha de cana-de-açúcar nas relações solo – planta em Igarapu do Tietê - SP / Gustavo Vicentini Popin. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

90 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Bioenergia 2. Qualidade do solo 3. Crescimento de planta 4. Produtividade de colmo I. Título

A meus pais Aurélio e Roseli e meu irmão Rafael dedico

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor, atenção e suporte durante todos os momentos da vida.

A USP e ESALQ pela possibilidade de estudar e me tornar um cidadão e profissional.

Ao professor do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, por todos esses anos de amizade e incentivo.

Ao Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP pela possibilidade da pós-graduação.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Aos pesquisadores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP, Dr. Carlos Clemente Cerri (*in memoriam*) e Dra. Brigitte Josefine Feigl pela amizade, atenção e orientação.

Aos meus amigos de laboratório; Arthur Belarmino, Marcos Siqueira Neto, Paul Lineker Amaral, Maria Regina Gmach, Lucas Satiro, Izaias Lisboa, Maurício Cherubin, Laísa Pimentel, Henrique Pose Guerra, Dener Oliveira, Ana Luisa Vasconcelos, Naissa Maria Silvestre Dias, Silvia Paiva e Maristela Calvente Moraes pelo ótimo convívio, auxílio no campo e discussões científicas.

Ao pessoal da empresa Delta CO₂; Vinicius, Hendril, Gabriel, Priscila e Nicole por todo o suporte nas atividades de campo.

Ao pessoal do laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP: Admilson, Ralf, Lilian, Sandra, José e Dagmar pelo ambiente descontraído e auxílio nas realizações de atividades no campo e laboratórias.

Aos estagiários do laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP; Paulo, Guilherme, Gean, Mayara e Lays por toda a amizade e auxílio nas atividades.

A todos aqueles que, de uma maneira, ou outra, prestaram seu apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

“Ever tried.

Ever failed.

No matter.

Try again.

Fail again.

Fail better. ”

Samuel Beckett

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	13
2.2 Deposição e decomposição da palha	15
2.3 Efeitos da deposição da palha nos atributos do solo	17
2.4 Deposição da palha e efeitos nos componentes de produção	22
3 HIPÓTESE	27
4 OBJETIVO GERAL	29
4.1 Objetivos específicos	29
5 MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1. Caracterização do meio físico	31
5.1.1 Clima	32
5.1.2 Solo	33
5.1.3 Cana-de-açúcar	33
5.2 Instalação e condução do experimento	34
5.2.1 Determinação da massa seca de palha depositada sobre o solo.....	34
5.2.2 Delineamento experimental	37
5.3. Coleta e análise de amostras de solo	40
5.4 Avaliações nas plantas	44
5.4.1 Contagem e medida de perfilhos	44
5.4.2 Índice de área foliar	45
5.4.3 Biometria e produção de biomassa da cana-de-açúcar	45
5.4.4 Taxa de extração de nutrientes pela planta	46
5.5 Análises estatísticas	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1 Alterações nos atributos do solo	47
6.1.1 Atributos químicos do solo.....	47
6.1.2 Atributos físicos do solo.....	50
6.1.3 Atributos biológicos do solo.....	54
6.2 Alterações nos atributos da planta.....	59
6.2.1 Brotação e crescimento da planta	59
6.2.2 Produtividade de biomassa (palha e colmo)	64
6.2.3 Acúmulo de nutrientes	65
6.2.4 Relação solo e planta.....	68
7 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	72

RESUMO

Efeito do manejo de palha de cana-de-açúcar nas relações solo - planta em Igarau do Tietê-SP

Globalmente, o crescimento populacional gera uma maior demanda por energia, atualmente suprida por fontes fósseis. Nesse sentido, políticas públicas têm estimulado as fontes de energias renováveis, como por exemplo a produção de etanol de segunda geração (2G), a partir de materiais celulósicos, como a palha da cana-de-açúcar. Contudo, a remoção dessa palha pode alterar atributos químicos, físicos e biológicos do solo e, por fim, a produtividade da cultura. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar as mudanças ocasionadas pela remoção de quantidades de palha em atributos do solo e os impactos nos componentes de produção da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido próximo a cidade de Igarau do Tietê-SP. O solo do local foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico Típico. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos avaliados foram as seguintes quantidades de palha depositadas uniformemente na superfície do solo: 0; 2; 3,2 e 7,5 Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca; Adicionalmente, testou-se um tratamento com 7,5 Mg ha⁻¹ de palha aleirada na entrelinha. Foram avaliados atributos químicos, físicos e biológicos do solo tais como, pH, macronutrientes, densidade e resistência à penetração, teor e estoques de carbono e nitrogênio e biomassa microbiana. Para a maioria dos atributos do solo, as camadas avaliadas foram: 0-10; 10-20; 20-30 cm, contudo, as camadas avaliadas para os atributos químicos, ao fim do ciclo, foram: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 cm. Em relação a planta, foram avaliados o número e altura de plantas, aos 7, 15, 30, 45, 60, 90, 180 e 390 dias após o corte (DAC). O índice de área foliar foi determinado aos 120, 150 e 180 DAC. A determinação da produtividade da cultura foi feita por biometria aos 390 DAC. Foi calculado o acúmulo de nutrientes na cultura para os tratamentos 0; 3,2; 7,5 Mg ha⁻¹ ao fim do ciclo. Após um ano de implantação do experimento, as diferentes quantidades de palha não alteraram os atributos químicos, densidade do solo e o teor de estoques de C e N. Por outro lado, a deposição de 7,5 Mg ha⁻¹ de palha reduziu a compactação do solo na entre linha de 150 cm. A deposição de maiores quantidades de palha interferiu na rebrota e perfilhamento inicial da cana-de-açúcar, contudo, com o decorrer do ciclo, as plantas se recuperaram, havendo uma estabilização similar no número e altura de planta entre os tratamentos, acarretando valores de IAF e produtividade similares. Dessa forma, conclui-se que para as condições encontradas neste estudo, a remoção da palha no curto prazo não provocou impactos negativos dos atributos químicos, físico e biológicos e, conseqüentemente redução na produtividade da cana-de-açúcar. Contudo, destaca-se a necessidade de monitorar os efeitos da remoção de palha de cana-de-açúcar nos atributos do solo e planta por médio e longo prazo, permitindo assim, um melhor entendimento acerca da sustentabilidade desta prática de manejo emergente no Brasil.

Palavras-chave: Bioenergia; Qualidade do solo; Crescimento de planta; Produtividade de colmo

ABSTRACT

Effect of sugarcane straw management on soil-plant relations in Igarapu do Tietê-SP

Globally, the population growth generates an increasing demand for energy, currently supplied by fossil sources. In this sense, public policies have stimulated the renewable energies sources, such as the production of second-generation ethanol (2G), from cellulosic materials, such as sugarcane straw. However, the straw removal can alter chemical, physical and biological soil properties and, finally, the crop yield. Therefore, the objective of this study was to evaluate the straw removal management effects on soil attributes and its impacts on the sugarcane growth and yield. The experiment was conducted near to Igarapu do Tietê-SP. The soil was classified as an Oxisol "Nitossolo Vermelho eutrófico típico". The experimental design used was a randomized blocks with five treatments and three replications. The evaluated treatments were the following amounts of straw deposited uniformly on the soil surface: 0; 2; 3.2 and 7.5 Mg ha⁻¹ of dry matter mass. In addition, a treatment with 7.5 Mg ha⁻¹ of straw piled within inter-row was tested. Soil chemical, physical and biological attributes such as pH, macronutrients, bulk density, soil resistance to penetration, carbon and nitrogen contents and stocks and microbial biomass were evaluated. For the majority of soil attributes, the evaluated soil layers were: 0-10; 10-20; 20-30 cm, however, the evaluated layers for the chemical attributes, at the end of the cycle, were: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 cm. In terms of plants, the number and height of plants were evaluated at 7, 15, 30, 45, 60, 90, 180 and 390 days after cutting (DAC). The leaf area index (LAI) was determined at 120, 150 and 180 DAC. The determination of the yield of the culture was performed by biometric analysis at 390 DAC. The plant-accumulation of nutrients was calculated for the treatments 0; 3.2; 7.5 Mg ha⁻¹ at the end of the cycle. After one year of implementation of the experiment, the different amounts of straw did not change the chemical attributes, bulk density and soil C and N stocks. On the other hand, the maintenance of 7.5 Mg ha⁻¹ of straw on soil surface reduced the soil compaction, especially within 150-cm spaced crop rows. The maintenance of larger amounts of straw had negative impacts on regrowth and initial tillering of sugarcane; however, with the course of the cycle, the plants recovered, with a similar stabilization in the number and height of the plant between the treatments, leading to similar values of LAI and stalk yield. In conclusion, for the conditions found in this study, short-term straw removal did not cause negative impacts on chemical, physical and biological attributes and, thus, a reduction in sugarcane yield. However, it is necessary to monitor the effects of the removal of sugarcane straw on soil and plant attributes over the medium and long term towards a better understanding of the sustainability of this emergent management practice in Brazilian sugarcane production.

Keywords: Bioenergy; Soil quality; Plant growth; Stalk yield

1 INTRODUÇÃO

Globalmente, o crescimento populacional gera uma maior pressão ambiental no sentido de suprir suas necessidades por meio da utilização de recursos naturais. A demanda por energia, atualmente suprida majoritariamente por fontes fósseis tem exercido uma sobrepressão em todos os ecossistemas colocando em risco a capacidade de suporte vital da Terra (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2017). Associado a isso, políticas públicas têm estimulado a produção de energias renováveis, promovendo uma aceleração da pesquisa e utilização da biomassa, dentre elas, culturas para biocombustíveis e energia elétrica (SPIERTZ; EWERT, 2009).

Neste cenário, o Brasil ocupa papel de destaque devido ao domínio da tecnologia de produção de etanol a partir da fermentação alcoólica da sacarose (etanol de primeira geração) da cana-de-açúcar. O etanol de primeira geração obtida a partir da cana-de-açúcar apresenta vantagens em relações a etanol derivado de outras matérias-primas como: o menor custo de produção em relação ao etanol dos Estados Unidos feito de milho; um melhor balanço energético (6,5 a 9,5 contra 1,1 a 2,3 da beterraba e 1-2 do milho), ou seja, o etanol da cana-de-açúcar demanda uma menor quantidade de energia fóssil durante todo processo de produção do combustível em relação ao total de energia contida no biocombustível que as demais matérias primas; diminuições em até 90% nas emissões de gases do efeito estufa contra somente 30% do etanol obtido do milho em relação aos combustíveis fósseis (WALTER et al., 2008; WALKER, 2010).

No âmbito nacional, a utilização do etanol como combustível teve início na década de 1970 com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o qual almejava a mistura do etanol à gasolina em veículos que utilizam motores do ciclo Otto. A razão principal para a criação do programa foi reduzir a dependência brasileira da importação de petróleo, assim, reduzindo os efeitos da instabilidade de preços na economia e proporcionar alternativas aos agricultores em relação ao açúcar, o qual passava por um período de forte queda nos preços (MILANEZ; FAVERET FILHO; ROSA, 2008).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, assim como, maior produtor de açúcar e segundo maior produtor de etanol, atrás dos Estados Unidos que produz etanol também a partir do milho. Para a safra de 2017/2018, espera-se uma produção 647,5 milhões de toneladas de colmo, 38,7 milhões de toneladas de açúcar e 26,4 bilhões de litros de álcool. Desse total, o estado de São Paulo apresenta-se como maior produtor brasileiro, concentrando

aproximadamente 50% da produção da cultura, assim como, 60% do açúcar e 48,5% do etanol (CONAB, 2017).

Contudo, mesmo com a produção atual de etanol oriundo da cana-de-açúcar pelo Brasil e o aumento de produção de etanol pretendida pelos Estados Unidos (aumentar para mais de 75,7 bilhões de litros até 2020), é necessário ainda um incremento próximo a 75 bilhões de litros até 2021 (GOLDEMBERG et al., 2014).

Dentre as opções para aumentar a produção, destaca-se o etanol de segunda geração (2G), no qual ocorre a produção de etanol a partir de materiais celulósicos, como resíduos agroindustriais e florestais (NUNES et al., 2013). A produção do etanol de 2G consiste na hidrólise dos materiais celulósicos dos resíduos em açúcares fermentáveis e sua posterior fermentação (SANTOS et al., 2012).

A introdução da colheita mecanizada da cana-de-açúcar resulta na deposita sobre o solo uma camada de resíduos vegetais que varia entre 7 e 24 Mg ha⁻¹ sobre a superfícies do solo (LEAL et al., 2013), o qual, devido à sua elevada relação C/N, reduz sua velocidade de decomposição e leva a um maior tempo de permanência desse material no campo (SANGER et al., 1996). Dessa forma, o excedente desse material pode ser levado para a indústria para ser utilizado na cogeração de bioeletricidade e/ou como matéria-prima para a produção de etanol de 2G.

No entanto, a deposição de material vegetal na forma de palha, promove o incremento na matéria orgânica do solo (CHERUBIN et al., 2017), levando a melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas (SIX et al., 2004). A decomposição desse material resulta na ciclagem dos nutrientes (FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012), no maior tamanho de agregados (ROSSETTI et al., 2014), porosidade total e redução da densidade (DANTAS et al., 2010), maior umidade do solo e menor resistência à penetração (ROSIM et al., 2012). A presença da palha também está associada a redução na infestação de plantas daninhas (MARTINS et al., 1999), menor perda de água por evaporação (PERES; SOUZA; LAVORENTI, 2010) e dissipação de radiação solar excedente (SANDHU et al., 2013).

A palha também prejudica práticas de manejo na cultura, como operação de cultivo e adubação da cana-soca (AIDE et al., 1993), baixa taxa líquida de mineralização de N no período de um ano (TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995) e aumento de incidência de pragas e doenças, como por exemplo, a cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*) (GUIMARÃES et al., 2008) e dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas (MACEDO; BRANDÃO; LARA, 2003).

Diversos estudos sobre os impactos da deposição da palha da cana de açúcar foram desenvolvidos na região sudeste do Brasil, principalmente nos anos 2000, devido a lei federal (Decreto 2661/1998) e, posteriormente pela lei do estado de São Paulo (Lei da Queima da Cana nº 11.241/2002) (CANELLAS et al., 2003, SOUZA et al., 2005; GALDOS; CERRI; CERRI, 2009; TAVARES; LIMA; ZONTA, 2010; CORREIA; ALLEONI, 2011). Contudo, o novo desafio científico é determinar a quantidade de palha que pode ser removida buscando manter os benefícios ao solo, facilidades fitotécnicas e incremento na produção de etanol (CARVALHO et al., 2016; CHERUBIN et al., 2017).

Portanto, dada a importância do setor sucroenergético na econômica brasileira, aliado ao crescimento pela demanda energética com utilização da biomassa vegetal como matéria prima, determinando a mudança no manejo dos resíduos culturais da cana-de-açúcar na superfície do solo e, conseqüentemente, nos atributos do solo, este estudo foi desenvolvido em situação de campo com o objetivo de avaliar as mudanças ocasionadas pela remoção de quantidades de palha em atributos do solo e os impactos nos componentes de produção da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

As espécies de cana-de-açúcar (*Saccharum officinalis* L.) são provenientes do sudeste asiático e pertencem ao grupo de plantas denominadas Angiospermae ou Divisão Magnoliophyta. Atualmente, dentro do sistema de classificação APG IV (BYNG et al., 2016) a cana pertence ao clado das monocotiledôneas (monocots) do grupo monofilético das comelinídeas (commelinids) da Ordem Poales e Família Poaceae.

As principais características dessa família são: i) a forma da inflorescência (espiga); ii) o caule em colmos e; iii) as folhas em lâminas com nervuras paralelêneas de bainha aberta. A cana-de-açúcar é uma gramínea perene que perfilha de maneira abundante na fase inicial do desenvolvimento (FERRI, 1983).

Como a maioria das gramíneas, a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, que se caracteriza por possuir uma alta taxa fotossintética, baixa perda de O₂ (fotorespiração) e baixo consumo de água por matéria seca produzida (FERRI, 1999).

As plantas do tipo C4 possuem uma diferenciação nas células do mesófilo foliar, de forma que apresentam uma razão superfície-volume mais elevada em relação às dicotiledôneas, isto permite maior troca gasosa com um número normal de cloroplastos com grana. Além disso, estas plantas possuem células específicas ao redor dos feixes condutores, denominada bainha vascular, cujo arranjo é semelhante a uma coroa – denominado de anatomia de Kranz. As células da bainha vascular possuem paredes mais espessas, sem espaços intercelulares e são pouco permeáveis as trocas gasosas. Em compensação os plasmodesmos entre as células do mesófilo são bastante numerosos, com elevada capacidade de transporte citoplasmático (RAVEN; EVERT; EICHHORN 2001).

O funcionamento do sistema fotossintético faz com que o primeiro produto detectável na via C4 seja o oxaloacetato que foi fixado ao fosfoenolpiruvato (PEP) realizada nas células do mesófilo foliar. O oxaloacetato é então reduzido a malato ou convertido a aspartato (dependendo do metabolismo da planta). Estes produtos são transferidos para as células da bainha, onde são descarboxilados para produzir CO₂ e piruvato. O CO₂ então entra no ciclo de Calvin reage com a ribulose 1,5, bifosfato (RuBP) para produzir gliceraldeído 3-fosfato (PGAL). O piruvato retorna as células do mesófilo para regeneração do PEP (LEHNINGER; NELSON; COX, 2007).

Desta forma, as plantas C4 são mais eficientes na captação e aproveitamento do CO₂ e da energia luminosa em relação às dicotiledôneas, uma vez que se são melhores adaptadas a elevada intensidade luminosa, elevada temperatura e a seca. Diferentemente da rubisco (ribulose-bisfosfato carboxilase oxigenase) a PEP-carboxilase usa a forma hidratada do dióxido de carbono (HCO₃⁻) e, não possui afinidade pelo O₂. Além disso, nas células da bainha vascular a concentração de CO₂ é mais elevada, evitando-se a ocorrência da fotorrespiração (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O caule da cana-de-açúcar, também chamado de tolete, é do tipo colmo, possui segmentos ou juntas, sendo que cada uma será composta de um nó e um entrenó. Esta é a parte de interesse para a indústria – de onde é extraída a sacarose (Tabela 1). O crescimento em espessura é limitado (ausência de desenvolvimento secundário por atividade de câmbio vascular) e não há formação de novos tecidos, a planta se desenvolve com os tecidos que nasceu aumentando o tamanho das suas células individuais por hipertrofia dos tecidos ou apenas com a formação de parênquima (OLIVEIRA; SAITO, 2006).

O desenvolvimento da cultura possui quatro fases de crescimento: brotação, perfilhamento (formação), crescimento dos colmos e maturação. Segundo Machado (1987) a cana-de-açúcar é formada por internódios em diferentes estados fisiológicos, sendo maturados, em maturação e imaturos.

A taxa de crescimento diminui conforme o colmo se desenvolve e quando maduro esta taxa passa a ser nula. Conforme a maturação avança, açúcares simples (monossacarídeo, frutose e glicose) são convertidos em sacarose (dissacarídeo). A maturação da cana inicia-se na parte inferior para a parte superior da planta e, assim a parte de baixo contém mais açúcar que a porção de cima.

Tabela 1. Principais constituintes do colmo a cana-de-açúcar

Constituintes	Teor médio (%)
Água	65 – 75
Açúcares totais	11 – 18
Sólidos solúveis	12 – 23
Fibras	8 – 14
Açúcares totais	
Sacarose	70 – 91
Glicose	2 – 4
Frutose	2 – 4
Sólidos solúveis	
Ácidos inorgânicos	1,5 - 4,5
Ácidos orgânicos	1,0 - 3,0
Proteínas	0,5 - 0,6
Amido	0,001 - 0,05
Gomas	0,3 - 0,6
Ceras e graxas	0,05 - 0,15
Corantes	3 – 5

Fonte: COPERSUCAR (1999).

A cana-de-açúcar poderá estar com alto teor de açúcar com apenas alguns meses de idade, bastando para isso ausência de água, nutrientes e outros fatores necessários ao seu desenvolvimento, não significando este fato que ela estará fisiologicamente madura, isto é, em ponto de colheita. Da mesma forma, apenas a idade adulta não significa maturação total (RODRIGUES, 1995).

Segundo Castro (1992), o florescimento da cana-de-açúcar é controlado por um complexo de fatores como o fotoperíodismo, a temperatura, a umidade e a radiação solar. Enquanto está em época de floração ela deixa de produzir folhas e colmos (perdendo rendimentos de açúcares). Desta forma, tanto pesquisadores quanto produtores tentam interferir o ciclo natural da cana-de-açúcar buscando mecanismos como o melhoramento genético e reguladores vegetais, tentando evitar o florescimento da planta (RODRIGUES, 1995).

2.2 Deposição e decomposição da palha

Nesta modalidade de colheita denominada cana crua, componentes da planta como folhas e bainhas verdes e secas, ponteiro e uma quantidade variável de pedaços de colmo são

cortados, triturados e lançados de maneira aleatório sobre o solo, formando uma camada de resíduos culturais também chamados de palha ou palhada (SOUZA et al., 2005). A massa seca de palha depositada sobre o solo pode variar bastante, sendo mais comum valores entre 7 e 24 Mg ha⁻¹ com média de 14 Mg ha⁻¹ (LEAL et al., 2013).

A velocidade de decomposição da palha é dependente, principalmente, de fatores ligados a composição do material e do clima (YAMAGUCHI et al., 2017). Em relação a palha, a decomposição varia em função da variedade da cana-de-açúcar sua composição bioquímica (celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis), além da relação entre o carbono e nitrogênio (relação C:N) (KEE KWONG; DEVILLE, 1987; SIQUEIRA; FRANCO, 1988, OLIVEIRA et al., 1999).

Durante a decomposição, os componentes mais lábeis do material vegetal (açúcares, proteínas, nutrientes não estruturais, etc.) são inicialmente utilizados pelos microrganismos como fonte de energia e carbono e, com o passar do tempo, com a redução desses componentes ocorre a redução na velocidade de decomposição e, conseqüente aumento da concentração de compostos mais recalcitrantes, como a lignina (SOUSA Jr et al., 2017).

Dentre os materiais celulósicos, a hemicelulose é a mais facilmente decomponível (OLIVEIRA et al., 1999) correspondendo cerca de 30% da composição da palha (NUNES et al., 2013), enquanto que a celulose ocupa uma posição intermediária entre a hemicelulose e lignina na questão de velocidade de decomposição (RAMOS et al., 2016) e corresponde cerca de 45% (FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012). Conforme o processo de decomposição avança, há uma redução nos teores de hemicelulose e celulose e aumento no teor de lignina (CAMPOS, 2003). Diante disso, em momentos iniciais da decomposição, o teor de hemicelulose é mais determinante para o processo decomposição, contudo, com o passar do tempo, a lignina se torna mais importante (FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012; RAMOS et al., 2016).

O conteúdo de nitrogênio no material vegetal também está ligado a dinâmica da decomposição (SANGER et al., 1996), sendo que, a relação C:N é o índice mais comumente utilizado para relacionar conteúdo do nutrientes e dinâmica da decomposição do material (YAMAGUCHI et al., 2017).

De acordo com Siqueira e Franco (1988) quando a relação C:N do material se encontra em torno de 25 (entre 20 a 30), o equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do N tende para um processo de decomposição mais acelerado, resultando em uma disponibilização líquida de nitrogênio no solo (VITTI et al., 2008). Contudo, quando a relação é superior a 30, o processo de imobilização do nitrogênio é favorecido podendo resultar em deficiência desse

nutriente para as plantas (BELO et al., 2012). Sendo assim, devido à alta relação C/N apresentada pela palha da cana-de-açúcar (80 e 100) ((FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012; ROSSETTO et al., 2013) espera-se uma menor velocidade de decomposição desse material (SANGER et al., 1996).

Entre os fatores climáticos, a pluviosidade e a temperatura são aqueles que mais influenciam na decomposição (CORREIA; ANDRADE, 1999). Uma maior umidade do solo, em decorrência de maiores pluviosidades, e maiores temperaturas do ar e solo favorecem a atividade microbiana e, dessa forma, a decomposição do material vegetal (OLIVEIRA et al., 1999; FREITAS; OLIVEIRA; FREITAS, 2004; KLIEMANN; BRAZ; SILVEIRA, 2006).

Na literatura, a influência da temperatura e umidade na decomposição foi avaliada remotamente por Waksman e Gerretsen (1931) que demonstraram uma maior taxa de decomposição da palha de aveia em resposta ao aumento da temperatura e umidade do solo, sendo que para uma mesma umidade de solo (66%) e diferentes temperaturas (27 e 37° C), após 273 dias, somente 35,3 e 30% da massa inicial do resíduo foram encontradas, respectivamente. No caso da umidade do solo, essa relação também foi observada, sendo que para uma mesma temperatura (27° C) e diferentes umidades do solo (66 e 80%) permaneceram 35,3 e 29,9% da massa inicial de resíduo; enquanto que, para a temperatura de 37° C e essas mesmas duas umidades, permaneceram 30% e 23,6 % da massa inicial, respectivamente.

2.3 Efeitos da deposição da palha nos atributos do solo

Efeito nas frações da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser definida como uma complexa mistura entre resíduos de plantas e animais em diferentes estágios de decomposição, substâncias produzidas por microrganismos e quimicamente pela quebra de outros compostos orgânicos, além da biomassa microbiana viva e morta (SCHNITZER; KAHN, 1978). A grande diversidade de compostos orgânicos podem ser divididos em dois principais grupos; o primeiro corresponde às substâncias nitrogenadas e não nitrogenadas pertencentes a química orgânica (proteínas e o produto de sua decomposição; carboidratos, ácidos orgânicos, gorduras, ceras e resinas) e que representa entre 10 e 15% do total da MOS e; o segundo grupo corresponde a fração mais estável da MOS, produtos da decomposição de compostos orgânicos e da atividade microbiana, os quais, devido as peculiaridades de sua natureza não podem ser associadas a

nenhum grupo da química orgânica, dessa forma, são mantidas em um grupo separado denominado substâncias húmicas, o qual corresponde entre 85 e 90% da MOS (KONONOVA, 1966).

Dessa forma, durante a deposição e, posteriormente, a decomposição do material orgânico, neste caso a palha da cana-de-açúcar, ocorre a incorporação de parte deste material no solo, fazendo com que o mesmo funcione como um dreno para o carbono assimilado pelas plantas, ao invés de voltar para a atmosfera (LUCA et al., 2008). O aumento do C no solo após a deposição de palha da cana-de-açúcar foi verificado em estudos em diversos locais, como Wood (1991), Vallis et al. (1996, Blair (2000) e Noble, Moody e Berthelsen (2003) na Austrália; Dominy, Haynes e van Antwerpen (2002) e Graham, Haynes e Meyer (2002) na África do Sul, Hartemink (1998) em Papua-Nova Guiné e Osher, Matson e Amundson (2003) nos Estados Unidos. No Brasil efeitos semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Orlando Filho et al., (1998), Souza et al. (2005), Razafimbielo et al. (2006), Canellas et al. (2003), Luca et al. (2008), Galdos, Cerri e Cerri (2009), Signor et al. (2014).

Canellas et al. (2007) avaliando o estoque de C em um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar colhida sem queima durante por 55 anos, observaram estoques médios de C até 20 cm de 59 Mg ha⁻¹ contra 36 Mg ha⁻¹ para situação de colheita com cana. Confirmando esses resultados, Luca et al. (2008) observaram aumento no estoque de C para um Latossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico após a mudança do sistema de colheita de cana queimada para cana crua. Similarmente, Signor et al. (2014) avaliando o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar (cana queimada e cana crua) após um, três e seis anos após a reforma do canavial sobre o estoque de C no solo, encontraram maiores teores de C-total e microbiano no tratamento cana crua, em especial entre as áreas três e seis anos após a reforma do canavial.

Além do estoque de C no solo, outros compartimentos do C podem ser usados como indicadores de mudança de manejo do solo, como a fração lábil e a biomassa microbiana do solo (BLAIR; LEFROY; LISE, 1995; HAYNES, 2005; MAZZETTO et al., 2016a). O primeiro compartimento corresponde ao material mais prontamente decomponível, recentemente adicionado ao solo em estágios iniciais de decomposição e que apresenta uma rápida taxa de transformação (CHEN et al., 2017). A biomassa microbiana do solo faz parte da fração lábil do solo, sendo composta pela fração ativa e viva da MOS que corresponde entre 1 e 5% do total e, apresenta uma elevada taxa de transformação (semanas a meses), dessa forma, desempenha uma função importante na disponibilização de nutrientes e atividade enzimática do solo (HUNGRIA et al., 2009; MAZZETTO et al., 2016b).

Efeito nos atributos físicos do solo

A deposição de palha sobre o solo também tem papel de destaque na agregação do solo. No modelo hierárquico de formação dos agregados proposto por Tisdall e Oades (1982) e, posteriormente alterado por Oades (1984), apresenta que a agregação do solo é resultado da interação entre minerais, cátions polivalentes, ação de microrganismos, raízes de plantas, fragmentos de plantas e de microrganismos e a MOS.

Neste modelo, as raízes de plantas e hifas de fungos mantêm a estabilidade dos macro-agregados ($>250\ \mu\text{m}$), contudo, esses dois materiais têm decomposição rápida, sendo agentes cimentantes temporários. Dessa forma, depois de decompostos acabam por serem quebrados em pequenos pedaços e revestidos com mucelagem (resultante do processo de decomposição). Em seguida, conectando-se às partículas de argila (principalmente caulinita e óxidos de Fe, nos solos oxídicos) e cátions polivalentes (i.e. Ca^{2+}), que participam da formação de micro-agregados no interior de macro-agregados ($20\text{--}250\ \mu\text{m}$).

Six et al. (1998) propuseram que o manejo inadequado do solo (por exemplo, revolvimento excessivo do solo) causa ruptura dos macro-agregados, prejudicando a formação de micro-agregados e, conseqüentemente, a estabilização do carbono no interior desses agregados. Portanto, além do manejo adequado, a adição de resíduos vegetais é importante para uma boa agregação do solo, uma vez que microrganismos do solo utilizam essas fontes prontamente disponíveis de C na MOS e produzem mucilagem, a qual vai servir de agente cimentante para a formação de macro agregados e, posteriormente, micro agregados (SIX et al., 2004)

O arranjo entre os espaços e as partículas do solo - partículas isoladas até agregados, é denominado de estrutura do solo (OADES, 1993). É importante que o solo apresente uma estrutura do solo bem desenvolvida e com forte agregação para que haja condições favoráveis para crescimento e distribuição radicular no perfil do solo, trocas gasosas entre o solo e o ambiente, infiltração e armazenamento de água, maior aproveitamento de nutrientes pelas plantas em decorrência da melhor distribuição do fertilizante na matriz do solo (FRANZLUEBBERS, 2002; BRONICK; LAL, 2005).

Por outro lado, o trânsito de maquinário agrícola está associado a um aumento da densidade do solo e ao aumento da resistência à penetração (LUCA et al., 2008; ROQUE et al., 2010; MACHADO et al., 2010; ROSIM et al., 2012), como observado na cultura da cana-de-açúcar, devido a introdução da colheita mecanizada (SOUZA et al., 2005).

Como Lima (2004) destaca, a compactação do solo é definida como a redução do volume do solo não saturado em função de uma pressão exercida, sendo esta causada por equipamentos de transporte, animais ou equipamentos agrícolas. Segundo Richart et al. (2005) os fatores envolvidos na compactação podem ser externos e internos. Os fatores externos consistem no tipo, intensidade e frequência da carga aplicada, enquanto que os fatores internos são o histórico da tensão, umidade, textura, estrutura e teor de carbono no solo.

Com a intensificação da compactação do solo há um aumento da resistência à penetração e redução da porosidade total (diminuição dos poros maiores), resultando em menor aeração, taxa de infiltração da água e condutividade hidráulica do solo saturado (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Por consequência, as plantas terão seu desenvolvimento prejudicado em razão do impedimento mecânico ao crescimento das raízes (GUIMARÃES; STONE; MOREIRA, 2002), bem como, pela diminuição da absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição da água, trocas gasosas e aumento da erosão (SOANE, 1990; RICHART et al., 2005).

No entanto, é bem documentado na literatura o efeito positivo da camada de resíduos vegetais na amenização do efeito compactante dos rodados no solo (SEIXAS; OLIVEIRA JUNIOR; LEITE, 1998; SILVA, DIAS JUNIOR, LEITE, 2007; ROSIM, 2007; SILVA, DIAS JUNIOR; LEITE, 2010; JESUS et al., 2015).

Rosim et al. (2012) avaliando o efeito do manejo da palha de milho na redução da compactação do solo observaram uma redução da resistência à penetração em tratamentos com 10 e 15 Mg ha⁻¹ de palha para as camadas 0-10 e 10-20 cm. Confirmando esses resultados, Braida et al. (2006) demonstraram que a presença de palha de milho reduziu a densidade máxima e aumentou a umidade crítica para a compactação do solo, resultante da capacidade da palha de dissipar em até 30% da energia de compactação aplicada. Por outro lado, Souza et al. (2005) observaram aumento da densidade do solo até 20 cm para o tratamento de cana-crua em relação a cana queimada, indicando que o aumento foi decorrente de um maior tráfego de máquinas pesadas, em especial, durante o plantio e colheita.

Ademais, a presença da palha protege a superfície do solo do impacto direto das gotas de chuva, evitando assim a obstrução de poros e consequentemente, aumentando a rugosidade da superfície (BERTOL et al. 2008) e a taxa de infiltração (BEZZERA E CANTALICE, 2006), e por sua vez, reduzindo a velocidade de escoamento da enxurrada (CANTALICE et al., 2009) e as perdas de solo, água e nutrientes na enxurrada (MARTINS FILHO et al., 2009; SOUSA et al., 2012). A deposição da palha também altera a dinâmica da água e temperatura

do solo, diminuindo, dessa forma, as perdas de água por evaporação nas camadas mais superfícies e dissipando o excesso de energia térmica do solo (DOURADO-NETO et al.; 1999; SILVA; REICHERT; REINERT, 2006; XIUKANG; ZHANBINA; YINGYING, 2015).

Efeito nos atributos químicos do solo

A decomposição do material vegetal permite a disponibilização dos nutrientes, sendo que, esses dois processos ocorrem concomitantemente (KLIEMANN; BRAZ; SILVEIRA, 2006). Não somente para o processo de decomposição, o regime hídrico é igualmente importante para o processo de ciclagem de nutrientes, visto que as águas das chuvas carregam compostos solúveis (carboidratos, ácidos orgânicos, aminoácidos e potássio) da folha para o solo e, devido seu importante papel no fluxo de massa e difusão, no deslocamento dos nutrientes liberados em direção as raízes (CORREIA; ANDRADE, 1999).

Entre os nutrientes, o potássio é o mais facilmente liberado, uma vez que não é constituinte de nenhum componente estrutural da planta e é encontrado na forma iônica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). Oliveira et al. (1999) avaliando a ciclagem de nutrientes provenientes da palha de cana-de-açúcar, observaram uma redução de 20% da massa de matéria seca depositada e liberação de 85% do conteúdo inicial de K, 44% do Ca, 39% do Mg, 42% do C, somente 18% de N e não alteração para P e S, após um ano de deposição. Fortes, Trivelin e Vitti (2012) por outro lado, observaram a liberação de 92% de K, 70% de Mg, 65% de S, 54% de Ca, 31% de N e 23% de P, após 3 anos de deposição da palha. A variação nas taxas de mineralização dos nutrientes nos estudos é oriunda das diferentes variedades de cana-de-açúcar utilizadas e condições climáticas durante cada estudo (ROBERTSON; THORBURN, 2007; FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012).

Alguns dos componentes do solo têm sua superfície eletricamente carregada e podem adsorver, por diferença de carga, cátions e ânions. Essa adsorção é um processo reversível, em que um íon de carga contrária pode ser trocado por outro de mesma carga presente na solução do solo. No entanto, o número de cargas negativas no solo é, geralmente, superior ao número de cargas positivas (NOVAIS; MELLO, 2007). Dessa forma, o termo capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, corresponde à quantidade de cargas negativas por unidade de superfície do solo. Os cátions mais retidos pelas cargas negativas do solo são Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} ; H^+ , K^+ , Na^+ e NH_4^+ (NOVAIS; MELLO, 2007).

Um maior valor da CTC do solo é importante porque está associada a uma maior retenção e liberação de nutrientes, redução da perda de nutrientes por lixiviação e a

manutenção da fertilidade do solo por mais tempo (RONQUIM, 2010). Contudo, os solos tropicais geralmente apresentam um grau de mais avançado de intemperização, dessa forma, na fração argila há o predomínio de minerais como óxidos de ferro e alumínio e argilosilicatados como a caulinita (BAYER; MIELNICUK, 1999).

As cargas negativas geradas por esses minerais da argila estão associadas à quebra das bordas desses cristais e exposição dos OH^- na solução do solo, as quais, podem sofrer dissociação ou protonação, dependendo do pH e da força iônica da solução do solo. Entretanto, a quantidade de cargas gerada por esses minerais é baixa (caulinita: 3-5 cmolc kg^{-1} ; Ilita: 30-40 cmolc kg^{-1} ; montmorilonita: 80-150 cmolc kg^{-1}) (CANELLAS et al., 2008).

As substâncias húmicas também podem gerar cargas negativas, começando a partir do pH 3, com a dissociação de prótons dos grupos carboxílicos (COOH), até o limite máximo próximo ao pH 9, com a dissociação de grupamentos OH -fenólicos (CAREY; SOUNDBERG, 1990). Dessa forma, mesmo dependente do pH, as substâncias húmicas podem gerar de 400 a 1400 cmolc kg^{-1} , o que demonstra sua importância em solo intemperizados (CANELLAS et al., 2008).

2.4 Deposição da palha e efeitos nos componentes de produção

Após o corte dos colmos durante a colheita, a fase de brotação da cana-soca inicia-se, enquanto que, no caso da cana-planta tem início 7 a 10 dias após o plantio e pode durar de 30 a 50 dias. Trata-se de uma fase importante, uma vez que uma elevada brotação pode produzir plantas mais vigorosas e possibilitará uma maior produtividade ao final do ciclo (SILVA; JERÔNIMO; LÚCIO, 2008).

No entanto, o processo de brotação da cultura pode ser prejudicado pela presença de elevadas quantidades de palha, principalmente, em variedades desenvolvidas para o sistema de colheita com queima, o qual favoreceria uma maior emergência da cana soca (VASCONCELOS, 2002; TAVARES; LIMA; ZONTA, 2010).

Os principais fatores que podem influenciar na rebrota da cana são: ambientais (temperatura e umidade), genéticos e fisiológicos (variedade, idade, tamanho e sanidade das gemas), assim como fitotécnicos (práticas agrícolas) (SERAFIM et al., 2013). Contudo, no caso do corte da cana crua, ainda é importante destacar a altura do corte basal e possíveis danos causadas do corte mecanizado a soqueira e a formação de um microclima em decorrência da deposição de uma densa camada de resíduos vegetais, afetando, em especial, a temperatura e umidade do solo (MANHÃES et al., 2015).

A temperatura é dos principais fatores ambientais, sendo que, a brotação é estimulada até temperaturas em torno de 30°C, diminuindo em temperaturas abaixo de 20°C e, acima de 35°C (AIDE, 1993). A palha depositada pela colheita mecanizada da cana-de-açúcar pode atrapalhar essa dinâmica, visto sua eficácia na redução da temperatura do solo. Timm (2002) estudando o efeito da deposição da palha de cana-de-açúcar na temperatura do solo na região de Piracicaba-SP, observou que a presença da camada de resíduos vegetais reduziu a temperatura média do solo em até 7° C, durante os meses de novembro e dezembro de 1998.

A umidade do solo é outro fator ambiental importante para a brotação adequada da cultura e, a permanência da palha na superfície do solo é considerada uma prática importante para armazenamento de água nas camadas mais superficiais do solo (LI et al., 2012). Peres, Souza e Lavorenti, (2010) estudando o efeito da presença da palha nas perdas de água na camada 0-20 cm do solo observaram que a presença de 15 Mg ha⁻¹ reduziu aproximadamente 50% a perda de água em relação ao solo descoberto.

Após a fase de brotação, a fase de perfilhamento prossegue até 120 dias (DIOLA; SANTOS, 2010). Nesta fase, ocorre um intenso perfilhamento até que se alcance o valor máximo de perfilhos e, a partir desse ponto, devido a competição entre os perfilhos por água, luz e espaço, ocorre a morte de perfilhos mais novos ou menos sádios (SEGATO et al., 2006). Como apontando por Jadoski et al. (2010), dos 6 a 8 perfilhos formados por gema, somente 1,5 a 2 perfilhos permanecem até o final desta fase.

Além disso, é desejável que os perfilhos sejam formados mais precocemente, visto que tendem a formar talos mais grossos e pesados, enquanto que perfilhos formados tardiamente morrem, permanecem curtos ou imaturos (JADOSKI et al., 2010). Aquino e Medina (2014) estudando o efeito de diferentes quantidades de palha no perfilhamento e desenvolvimento de cana-planta observaram que os tratamentos 50% (10 Mg ha⁻¹), 75% (15 Mg ha⁻¹) e 100% (20 Mg ha⁻¹) apresentaram os maiores números de perfilhos durante as avaliações, o que levou a maiores produtividades em relação aos tratamentos sem palha e 25% (5 Mg ha⁻¹). Por outro lado, Oliveira et al. (2004) não observaram esse efeito para as variedades RB72454 e RB855536.

Ademais, a camada de resíduos vegetais atua como uma barreira física durante o perfilhamento da cana-de-açúcar, podendo prejudicar o desenvolvimento inicial da cultura e, por fim, a produtividade final (CARVALHO et al., 2016). Tentando evitar esses problemas, usinas tem feito o aleiramento da palha, ou seja, realocando a palha das linhas duplas de cultivo para as entre linhas (SILVA; JERÔNIMO; LÚCIO, 2008). Campos et al. (2010) estudando o efeito da deposição da palha sobre o perfilhamento e produtividade da cana-de-

açúcar observaram que a manutenção de 10 Mg ha⁻¹ de palha sobre o campo prejudicou a brotação da soqueira, reduzindo o perfilhamento e a produtividade da cultura, enquanto que o tratamento com palha aleirada apresentou a maior produtividade. Por outro lado, Tavares, Lima e Zonta (2010) constataram que manutenção da palha (cana crua) promoveu um maior número de plantas em relação ao tratamento cana queimada para as avaliações 163, 296 e 426 DAP, proporcionando um maior número de colmos ao final do ciclo e, dessa forma, um aumento na produtividade.

Por se tratar de uma planta C4, a cultura da cana-de-açúcar possui grande eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa (AIDE, 1993; RODRIGUES, 1995). Dessa forma, além de fatores como temperatura e umidade, a luz é considerada outro fator ambiental importante para o perfilhamento da cultura (JADOSKI et al., 2010).

Em presença de radiação solar, o fluxo de auxinas, hormônios que regulam o perfilhamento e que são produzidas no ápice da planta e translocado para as partes mais baixas da planta são reduzidos e, como consequência, há a redução na inibição das gemas laterais e aumento do perfilhamento. Por outro lado, o auto-sombramento induz redução no perfilhamento e indução do crescimento do colmo principal (MAGALHÃES, 1987; AIDE, 1993; JADOSKI et al., 2010; MANHÃES et al., 2015).

A variação na densidade de perfilhos está associada a quantidade de horas de luz e a intensidade luminosa, sendo que um maior perfilhamento, em geral, ocorre em condições de maior intensidade luminosa (CHAVES JÚNIOR, 2011). Contudo, a deposição da camada de resíduos vegetais reduz a luminosidade que chega até o solo, podendo prejudicar o processo de perfilhamento (FIGUEIREDO, 2008).

Posteriormente a fase de perfilhamento, as plantas de cana-de-açúcar entram na fase conhecida como “grande fase de crescimento”, caracterizada pela intensa divisão, diferenciação e alongamento celular, resultando em aumento considerável na matéria seca total e altura das plantas (AIDE, 1993). Essa fase dura entre 120 e 270 dias de ciclo em cultivos de cana de 12 meses (DIOLA; SANTOS, 2010).

Dentro do contexto de aumento de matéria seca, a folha desempenha um papel fundamental, visto que é a estrutura responsável pela produção da maioria dos açúcares essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (HERMANN; CÂMARA 1999). Segundo Benincasa (1988), em decorrência do processo de fotossíntese, as folhas são responsáveis por mais de 90% da massa seca acumulada das plantas. Dessa forma, a determinação do índice de área foliar (IAF) é uma importante ferramenta para avaliar a produtividade da cultura, uma vez que maiores valores durante o período de desenvolvimento

estão relacionados com maiores rendimentos de colmos ao fim do ciclo (LEME; MANIERO; GUIDOLIN, 1984). Oliveira et al. (2007), avaliando a relação entre o IAF e a produção de biomassa para três cultivares, obtiveram correlação positiva entre estes componentes para as três cultivares. Aquino e Medina (2014) não observaram tal relação, uma vez que, o maior IAF encontrado no estudo foi na avaliação de 180 dias de ciclo, para o tratamento com 100% de palha (20 Mg ha^{-1}), contudo, tal valor não proporcionou maior produtividade.

Segundo Inman-Bamber (1994) quando o IAF se aproxima de 4,0 há um fechamento da cultura e sombreamento da entre linha, com consequente amarelecimento e morte das folhas da parte inferior da cultura, estabilizando a assimilação (MEDINA; SAN JOSÉ; SEQUEIRA, 1970; BEZUIDENHOUT, 2000). Além disso, valores de IAF próximos a 4 seriam suficientes para captar até 95% da radiação solar (MACHADO et al., 1982). No entanto, devido à grande produção foliar nesta etapa, IAF pode alcançar valores superiores, como 6 e 7 (JADOSKI et al., 2010).

Não somente uma luminosidade adequada para a realização da fotossíntese, outros fatores são importantes para a planta, como a temperatura e a umidade do solo. Assim como para a brotação, temperaturas em torno de 30°C são as mais favoráveis para a fotossíntese (ALEXANDER, 1973). No caso da umidade do solo, apenas 1% da toda água retirada do solo pela planta é utilizada efetivamente durante a fotossíntese (MEYER; ANDERSON, 1952) e, apenas 5% é utilizada para funções essenciais na planta (KRAMER, 1949), sendo o resto perdida por transpiração, contudo, na falta da água, os tecidos perdem a turgidez, o crescimento é interrompido e, por fim, a morte da planta (HUMBERT, 1968).

Na fase final do desenvolvimento da planta há uma redução na assimilação de açúcares (glicose e frutose) e senescência das folhas, paralisação do crescimento e concentração dos açúcares nos colmos (AIDE, 1993). Para a colheita, os principais indicadores e suas faixas de valores para avaliação da qualidade da cana-de-açúcar, são: POL (sacarose aparente) superior a 14, pureza mínima de 85%; ATR (sacarose, glicose, frutose) superior a 15%, açúcares redutores menores que 0,8% e teor de fibra entre 11 e 13% (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Entre os fatores agronômicos que determinam à produtividade a cana-de-açúcar, é importante destacar a disponibilização de nutrientes na quantidade e época de necessidade das plantas. Para isso, é importante a determinação da exigência nutricional da cultura, visando a disponibilização ideal de nutrientes (COLETI et al., 2006), considerando como indicado por Ceotto e Castelli (2002) que a quantidade total de nutrientes retirados pela planta varia conforme a variedade, ciclo da cultura, manejo do solo e disponibilidade de nutrientes. Coleti et al. (2006) estudando a extração de nutrientes das variedades RB835486 e SP81-3250

observaram a seguinte ordem de extração para a cana-soca: $K > N > P > Mg > S > Ca$. Já Orlando Filho, Haag e Zambello Junior (1980), utilizando-se da variedade CB41-76 obtiveram a seguinte ordem de extração: $K > N > Ca > Mg > S > P$.

A permanência da palha está associada à ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2016). Contudo, como apontado acima, a disponibilização dos nutrientes da palha está intimamente associada aos fatores intrínsecos do material vegetal, assim como, aos fatores ambientais que irão determinar a velocidade de decomposição desta palha. Desta forma, estudos como este que pretende avaliar o efeito da decomposição de diferentes quantidades de palha nos atributos do solo e nos componentes de produção da cana-de-açúcar podem fornecer indicadores para tomadas de decisões na gestão do solo e cultura, buscando elevar e prolongar a produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

3 HIPÓTESE

A remoção da palha para a produção de bioenergia afeta negativamente os atributos químicos e físicos e biológicos do solo e, como consequência, diminui a produtividade da cana-de-açúcar.

4 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações na produtividade da cana-de-açúcar e as mudanças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo devido à manutenção de diferentes quantidades de palha na superfície deste solo.

4.1 Objetivos específicos

- Determinar as alterações nos atributos físicos (densidade do solo, resistência a penetração), químicos (pH e macronutrientes) e biológico (C orgânico e biomassa microbiana) do solo.
- Avaliar o crescimento das plantas (brotamento, área foliar, altura de colmos) e produtividade de palha e colmos.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização do meio físico

O experimento foi instalado em uma área de produção comercial de cana-de-açúcar de 29,5 ha na Fazenda Monte Belo Francheschi, pertencente ao grupo Raízen, localizado no município de Igarapu do Tietê – SP (Lat.: 22°37'94" S; Long.: 48°33'62" O; altitude de 593 m), pertencente a macrorregião de Bauru (Figura 1).

Figura 1. Representação da localização do município de Igarapu do Tietê.

O local foi escolhido por se encontrar em uma importante região produtora de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, além de sua proximidade a Usina da Barra (17,5 km). Durante a seleção da área, foi priorizada a topografia plana, assim como, a presença da variedade mais representativa na região a SP80-3280.

O talhão selecionado é utilizado para produção de cana-de-açúcar há mais de 40 anos, sendo que, no manejo de colheita da cultura sempre foi realizada com queima para desfolha e, somente nos últimos cinco anos, o corte passou a ser mecanizado, sem a queima prévia do canavial.

5.1.1 Clima

O clima foi classificado como Cfa (Köppen-Geiger) caracterizado como subtropical quente e úmido, sem estação seca definida. Os dados de temperatura e pluviosidade do período avaliado (Figura 2) foram cedidos pelo Instituto nacional de meteorologia – INMET; sendo esses dados de uma estação meteorológica de superfície automática localizada no município de Barra Bonita – SP, vizinha ao município de Igarapu do Tietê.

Figura 2. Condições climáticas e ambientais durante a condução do experimento, correspondendo ao período de 1 de setembro de 2015 a 30 de novembro de 2016, no local do experimento, município de Igarapu do Tietê – SP, sendo: (A) a temperatura média e precipitação; (B) o balanço hídrico.

5.1.2 Solo

O solo do presente estudo foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico Típico, de acordo com critérios definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (SANTOS et al., 2013) (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição do solo no local de estudo

Horizonte	Prof. (cm)	Cor (Molhada)	MO (g kg ⁻¹)	Atributos químicos			Índices		V (%)
				pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	Ki	Kr	
A	0-28	2,5YR 3/2	29	5,9	5,2	-0,7	1,82	1,1	66
BA	29-58	2,5YR 3/1	12	5,5	4,6	-0,9	1,75	1,2	49
Bt1	59-165	2,5YR 2,5/3	<0,2	5,8	5,2	-0,6	1,76	1,15	55
Bt2	166 +	2,5YR 3/3	<0,2	5,8	5,4	-0,4	1,66	1,09	58

5.1.3 Cana-de-açúcar

A variedade cultivada no local escolhido para o estudo foi a SP80-3280, caracterizada por ser exigente em solos férteis, bom fechamento de entrelinhas, possibilidade de florescimento moderado ao final do ciclo e boa para colheita mecanizada (MARIN, 2009). O espaçamento de plantio foi de linhas de cultivo duplo, com direcionamento de tráfego de 90 por 150 cm.

Após a implantação do experimento foi observado uma baixa quantidade de palha sobre o solo, sendo isto talvez das características do cultivar, uma vez que, durante o ciclo avaliado, foi possível verificar uma contínua redução da folhagem e, ao fim do ciclo, somente a presença da ponteira e poucas folhas secas.

No preparo do solo anterior ao plantio da cana-de-açúcar foram utilizadas grade pesada, subsolagem e, em seguida aplicados 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80%) que foi incorporado com grande niveladora. No sulco de plantio foram aplicados 30 Mg ha⁻¹ de torta de filtro (~30% matéria seca; 1,5% de N; 0,3% de P; 0,4% de K) e ainda 120 kg ha⁻¹ de ureia.

Após o preparo do solo e abertura dos sulcos no final de agosto, foi realizado o plantio da cana-de-açúcar no início de setembro de 2014. A cultura apresentou desenvolvimento normal, sendo o corte realizado entre os dias 21 de setembro e 09 de outubro de 2015.

5.2 Instalação e condução do experimento

5.2.1 Determinação da massa seca de palha depositada sobre o solo

A instalação do experimento teve início com a colheita da cana entre os dias 21 e 25 de setembro, com uma pausa após esta última data devido a chuvas excessivas, com retorno em 05 de outubro e encerramento em 09 de outubro de 2015.

Antes da implantação do experimento utilizou-se um anemômetro portátil (Instrutherm TAD-500, SP, Brasil) para determinar as velocidades dos fluxos de ar na saída do extrator primário da colhedora em função da alteração da velocidade angular (rotações por minuto - RPM) do mesmo (Figura 3A). A colhedora utilizada foi uma John Deere modelo 3522. Essa avaliação teve por objetivo definir a velocidade angular a serem utilizadas para se obter as quantidades de palha designadas em cada tratamento.

Para facilitar a determinação de valores de velocidade angular para cada tratamento, optou-se por desligar o extrator secundário, testando somente o extrator primário. Além disso, o cortador de pontas estava sempre desligado, uma vez que o objetivo era quantificar a massa total de resíduos e a ponteira inteira poderia atrapalhar tal quantificação.

Em seguida ao teste com o anemômetro e a identificação de opções de rotações para cada tratamento foi iniciado o teste com as caixas plásticas com o objetivo de recolher a quantidade de palha que a colhedora devolve ao campo em função da alteração na rotação do extrator primário. Neste teste foram colocados três conjuntos de quatro caixas plásticas de 61 litros na linha de cultivo, entre a colhedora e o transbordo, sendo que, cada conjunto de caixas permaneceu distante cerca de 10 metros um do outro (Figura 3B). Para uma determinação adequada da massa de palha depositada, buscou-se homogeneidade do maquinário (a mesma colhedora do teste do anemômetro), da topografia (terreno plano) e das condições meteorológicas (sem vento).

Após a passagem da colhedora (Figura 3C), o conteúdo de cada caixa plástica foi verificado, tomando-se o cuidado de retiradas pedaços de colmos caso estivessem presentes e, em seguida, as caixas foram pesadas individualmente com o auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01g (Figura 3D). Dessa forma, descontando o peso das caixas, obteve-se a massa total de palha depositada por cada rotação do extrator primário.

Figura 3. Medição da velocidade do vento em função de diferentes regulagens da velocidade angular do extrator primário utilizando o anemômetro (A); posicionamento das caixas plásticas entre o transbordo e a colhedora (B); quantidade de fitomassa fresca depositada nas caixas após a passagem da colhedora (C); pesagem das caixas (D).

Para a deposição de 100% da palha e palha aleirada foi escolhido o valor de 1000 RPM, uma vez que, esta rotação é a mais comumente utilizada durante a colheita e se aproxima ao valor máximo de rotação alcançada por este modelo de colhedora. Após o corte da cana-de-açúcar utilizando-se das rotações designadas, foram quantificadas as massas frescas de palha depositadas sobre o solo em cada tratamento. Essa quantificação foi feita utilizando-se um quadro de 1 m², distribuído aleatoriamente três vezes em cada parcela, no qual toda palha encontrada no interior foi coletada e pesada (Figura 4). Maiores detalhes destes procedimentos podem ser obtidos em Lisboa et al. (2017).

Figura 4. Determinação da quantidade real de palha depositada nos tratamentos do experimento (A) e após a coleta da palha (B).

Para determinação da quantidade de massa seca em cada parcela e a composição da palha depositada, foram retiradas subamostras de palha em cada um dos três pontos de avaliação formando uma amostra composta. Para evitar alterações na umidade, cada amostra foi fechada hermeticamente e conduzida para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – CENA/USP para pesagem e em seguida colocadas para secagem em estufa a 45° C. Após secagem, as amostras foram pesadas e determinou-se a composição elementar da palha depositada (Tabela 3).

Tabela 3. Composição da palha de cana-de-açúcar depositada na instalação do experimento.

Cultivar	C	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	C:N
	----- g kg ⁻¹ -----							
SP 80-3280	404,2	3,3	0,8	0,7	3,5	0,5	1,7	121

No caso dos tratamentos palha aleirada e 100% de palha, o teste do quadrado ocorreu de forma intercalada, visto que, o corte de ambos os tratamentos ocorreu com a mesma velocidade angular (rpm) do extrator primário. Além disso, nas parcelas com os tratamentos palha aleirada e 0% de palha foi utilizado um aleirador de palha acoplado a um trator para que todo o material vegetal depositado sobre o solo fosse retirado das linhas de cultivo e transferido para as entre linhas de 150 cm e, no caso do tratamento 0%, enfardado, com posterior remoção desse material da área. A regulação da colhedora, a quantidade de massa seca depositada por hectare e as proporções de palha em cada tratamento são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Valores de RPM utilizados, quantidades de massa seca depositada por tratamento, proporções de palha desejadas e obtidas.

Velocidade angular (rpm)	Proporção desejada	Proporção obtida	Fitomassa seca
	----- % -----	-----	Mg.ha ⁻¹
0	0	12	0,9
500	25	28	2,0
700	50	43	3,2
1000	100	100	7,5
1000	-	-	7,5

5.2.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi de blocos inteiramente casualizados com cinco tratamentos e três repetições, totalizando 15 parcelas. Cada parcela possuía 36 metros de largura por 450 metros de comprimento, compreendendo 15 linhas duplas de cana-de-açúcar, sendo que, cinco dessas linhas foram utilizadas como bordadura e as demais foram efetivamente utilizadas. Em cada uma das parcelas, nas dez linhas centrais, foram demarcados intervalos de dois metros de comprimento, os quais distavam 40 metros uns dos outros (Figura 5). Esses pontos foram demarcados inicialmente com estacas e, posteriormente, georefenciadas com GPS (Trimble Pro XT, Sunnyvale, EUA), com o intuito de serem os pontos de avaliação do efeito dos tratamentos nas variáveis solo e planta.

Figura 5. Croqui de uma parcela do experimento. Linhas pontilhadas correspondem as linhas duplas de cultivo mantidas como bordadura, Linhas contínuas correspondem as linhas onde foram realizadas as avaliações. Retângulos vermelhos correspondem aos pontos avaliados e retiradas as amostras de solo e planta.

Adubação

Foi realizada uma adubação de cobertura no dia 17 de novembro de 2015, com 600 kg do fertilizante mineral formulado NPK, fórmula 25-00-25 (cada 100 kg de adubo possuem 25 kg de nitrogênio, 00 kg de fósforo e 25 kg de potássio). A aplicação foi realizada em superfície, porém utilizando o implemento disponibilizado pela usina, um cultivador escarificador. Por se tratar de um experimento que envolve a palha da cana, não foi utilizado o método de escarificação, para que a palha não fosse incorporada ou danificada (Figura 6).

Figura 6. Adubação de cobertura sem escarificação do solo

Defensivos

A aplicação de herbicida para controle das plantas daninhas foi realizada no dia 23 de novembro de 2015, sendo aplicado Diuron um herbicida seletivo, de ação sistêmica de pré e pós-emergência na dosagem de quatro litros por hectare juntamente com o 2-4D, um herbicida também seletivo, sistêmico de pós-emergência na dosagem um litro por hectare, em um volume de calda de 250 litros por hectare.

Devido à grande quantidade de plantas daninhas nas parcelas três, quatro e cinco do experimento, foi realizada uma segunda aplicação no dia 22 de dezembro de 2015, sendo utilizados os mesmos herbicidas e volumes já descritos.

Colheita

A colheita da cana-de-açúcar na área do experimento teve início no dia 31 de outubro de 2016, sendo finalizada no dia 5 de novembro de 2016. A colheita foi realizada com duas colhedoras da John Deere modelo CH670 ao invés de somente uma, como ocorreu na implantação. Isso foi necessário devido ao tamanho da área experimental e à proximidade ao fim da safra 2015/2016.

5.3. Coleta e análise de amostras de solo

As coletas de amostras de solo ocorreram em setembro de 2015 para caracterização do solo (Tabela 5) e, em novembro de 2016 ao final do ano de condução do experimento e colheita.

Tabela 5. Caracterização física e química do solo da área experimental.

Atributo	Unidade	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
Argila+silte	g kg ⁻¹	844	849	867
Areia	g kg ⁻¹	156	151	133
d _s	g cm ⁻³	1,2	1,2	1,3
C-total	g kg ⁻¹	19,5	19,3	18,0
N-total	g kg ⁻¹	1,5	1,5	1,5
P	mg kg ⁻¹	23,1	21,5	22,0
S	mg kg ⁻¹	2,9	4,9	10,3
K ⁺	mmol _c kg ⁻¹	4,7	4,3	3,7
pH	CaCl ₂	5,4	5,2	5,1
Ca ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	37,4	34,7	30,7
Mg ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	16,4	14,9	13,4
Al ³⁺	mmol _c kg ⁻¹	0,3	0,4	0,4
H ⁺ +Al ³⁺	mmol _c kg ⁻¹	34,6	40,6	40,0
SB	mmol _c kg ⁻¹	58,8	53,1	47,9
T	mmol _c kg ⁻¹	95,6	91,2	88,8
V	%	62,4	57,4	54,6
m	%	0,5	0,8	0,9

⁽¹⁾ d_s: densidade do solo; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

As amostras de solo (deformadas e indeformadas) foram coletadas na entre linha de cultivo espaçada a 90 cm (Figura 7), nos pontos de avaliação três, seis e nove de cada parcela (Figura 3), nas camadas 0–10; 10–20 e 20–30 cm. Ao final do experimento, as amostras de solo foram coletadas próximas aos pontos da caracterização inicial, contudo, optou-se por avaliar as camadas 0-5 e 5-10 cm, sem alteração nas demais. Com essa alteração, objetivou-se um estudo mais detalhado, possibilitando uma melhor visualização dos possíveis efeitos dos

tratamentos no solo. Dessa forma, foram coletadas 330 amostras no total, 135 para caracterização e 195 amostras após um ano de condução do experimento.

Figura 7. Esquema dos pontos de coleta das amostras de solo e planta. Retângulo representa a minitrincheira para coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo. Os três pontos representam a quantificação da resistência à penetração. A seta representa o ponto de avaliação das plantas.

É importante destacar que as coletas de amostras deformadas e indeformadas de solo não ocorreram dentro dos pontos de avaliação, mas próximas aos mesmos, uma vez que, a perturbação e a remoção de solo e o grande trânsito de pessoas poderiam prejudicar o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

As amostras deformadas de solo para as análises físicas e químicas (textura, pH, macronutrientes, acidez potencial, saturação por alumínio, teores totais de carbono e nitrogênio) foram coletadas com auxílio de uma espátula. As amostras indeformadas para determinação da densidade do solo (d_s) foram coletadas utilizando cilindros de aço inox, com

5 cm de diâmetro e comprimento (98.125 cm^3), conforme a metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Após as coletas, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/CENA, onde foram secas ao ar, homogeneizadas, passadas em peneira de 2 mm (TFSA) e, quando necessário, moídas a 100 mesh. No caso das amostras indeformadas, a massa total de cada uma foi determinada e uma alíquota de 5 g foi pesada com o objetivo de determinar a umidade gravimétrica.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta como descrito pela Embrapa (1997).

Avaliação dos atributos químicos do solo

As determinações foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do solo – Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP).

O pH em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ foi determinado em um potenciômetro na proporção solo-solução de 1:2,5. O fósforo, cálcio, magnésio e potássio foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ; QUAGGIO, 1983). Após a obtenção do extrato, o fósforo foi determinado por colorimetria, o cálcio e o magnésio por espectrometria de absorção atômica e potássio por fotometria de emissão de chama. O enxofre foi extrato em fosfato monocálcio ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e quantificado por colorimetria.

O alumínio trocável foi extraído por solução de cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e determinado por titulação com solução de hidróxido de sódio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi estimada pelo método do pH SMP (RAIJ et al., 2001).

Com a determinação do complexo sortivo (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e acidez potencial) foram calculados os seguintes atributos: soma de bases ($\text{SB} = \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$), capacidade de troca de cátions potencial a pH 7,0 ($\text{T} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$); saturação por bases ($\text{V}\% = (\text{SB} \times 100) / \text{T}$); saturação por alumínio ($\text{m}\% = (\text{Al} \times 100) / \text{CTCe}$).

Determinação dos teores e estoques de C e N do solo

Os teores de carbono e nitrogênio do solo foram determinados por combustão a seco (NELSON; SOMMERS, 1982) no analisador elementar LECO® TruSpec® CN, (Michigan,

EUA) no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP). Os estoques de C e N do solo foram calculados com os teores de C e N, a densidade do solo e a espessura da camada amostrada (BERNOUX et al., 1998), conforme apresentado na eq (1).

$$E = T \times d_s \times h \quad (1)$$

Em que: E = estoque de carbono ou nitrogênio total no solo (Mg ha^{-1}); T = teor de carbono ou nitrogênio (%); d_s = densidade do solo (g cm^{-3}); h = espessura da camada amostrada (cm);

Quantificação da resistência à penetração

A resistência à penetração (RP) foi realizada na entre linha de cultivo da cana-de-açúcar, em três pontos aleatório em torno ao terceiro, sexto e nono ponto de avaliação de cada parcela (Figura 7).

Para que a resistência à penetração pudesse ser correlacionada com a densidade do solo, a quantificação também ocorreu na linha de 90 cm, mantendo-se inalterada a determinação na entre linha de 150 cm. Durante a determinação, tomou-se o cuidado de evitar avaliações próximas aos pontos de avaliação das plantas, uma vez que, a movimentação de pessoas, em decorrência das várias determinações nos pontos de avaliação, poderia superestimar os valores da resistência à penetração.

Para essa quantificação, utilizou-se um penetrômetro de impacto manual (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1983) da marca KAMAQ (SP, Brasil). As determinações foram feitas até 60 cm (a cada 10 cm). Além disso, próximo ao local avaliado, foram retiradas amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica, uma vez que um maior teor de água do solo no momento da análise pode diminuir a resistência à penetração e alterar o resultado da mensuração.

Após as determinações em campo, os dados foram inseridos em uma planilha Microsoft® Office™ Excel - VBA (Virtual Basic for Application) (STOLF et al., 2014), onde os números de impactos foram convertidos em unidade de pressão (MPa - Megapascal).

Determinação do C e N-microbiano do solo

As determinações da fração lábil e do C e N microbiano do solo ocorreram no fim do experimento, nos mesmos três pontos de avaliação mencionados, contudo, somente nas

camadas 0-5 e 5-10 cm e nos tratamentos 7,5; 3,2 e 2 Mg ha⁻¹. O solo coletado foi homogeneizado ainda no campo e respiros de papel foram colocados para permitir trocas gasosas e, em seguida, conduzidos ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – CENA/USP.

As estimativas de C e N microbiano (MBC) foram efetuadas pelo método de extração-fumigação descrito por Vance, Brookes e Jenkinson (1987), que consiste em comparar amostras fumigadas com clorofórmio e amostras controle (não fumigadas). Para as amostras fumigadas, amostras de solo foram colocadas em frascos de vidro. Em seguida, uma bomba de vácuo foi ligada ao dissecador por 30 minutos. Após esse período, o dissecador foi mantido fechado e as amostras foram mantidas em presença de clorofórmio por 40 horas.

Para o procedimento de extração, amostras fumigadas e não fumigadas foram transferidas para erlenmeyers de 250 mL, aos quais se adicionaram 100 mL de solução de sulfato de potássio 0,5 M. Em seguida, essas amostras foram agitadas por 30 minutos em mesa agitadora horizontal a 142 RPM. O extrato obtido foi centrifugado a 5000 RPM por 10 minutos e filtrado. Os extratos foram analisados quanto ao teor de C pelo método de combustão catalítica a 720° C, no equipamento Shimadzu® TOC-V_{CPN}® (Tóquio, Japão). O teor de N foi obtido em um analisador de N por quimiluminescência Shimadzu® TNM-1® (Tóquio Japão) acoplado ao TOC-V_{CPN}.

A partir da diferença entre os teores de C e N orgânico das amostras fumigadas e não fumigadas e utilizando-se dos fatores de correção 0,38 (Vance; Brookes; Jenkinson, 1987) e 0,54 (JOERGENSEN; MUELLER, 1996) foram estimadas as quantidades de C e N microbiano do solo, respectivamente. A fração lábil do solo correspondeu a todo o C obtido nas amostras fumigadas, sendo dessa forma ao C presente na biomassa e os demais componentes dessa fração.

5.4 Avaliações nas plantas

5.4.1 Contagem e medida de perfilhos

Para avaliar o efeito da palha sobre o perfilhamento e crescimento da cana foram realizadas contagens e medições da altura de perfilhos. Estas avaliações foram feitas nas linhas três, cinco, seis, sete e nove de cada parcela (Figura 7), nas seguintes datas: 7, 15, 30, 45, 60, 90, 180 e 390 dias após o corte (DAC).

5.4.2 Índice de área foliar

A determinação do índice de área foliar (IAF) ocorreu mensalmente entre os 120 e 180 DAC, nos pontos de avaliação quatro, cinco e seis de cada parcela. As avaliações ocorreram sempre na seguinte ordem: meio da entre linha da cultura (150 cm), sob a copa da planta (embaixo da planta) e no meio da linha da cultura (90 cm); sempre mantendo o sensor óptico a uma altura de 0.6 metros do solo; totalizando nove determinações por parcela.

Para essa mensuração foi utilizado o equipamento LAI 2200 (Li-Cor Biosciences; Lincoln, EUA), o qual possuiu um sensor óptico. O grau de abertura do *view cap* sobre o sensor durante as avaliações variou em função da altura da cultura e ausência ou não de nebulosidade.

5.4.3 Biometria e produção de biomassa da cana-de-açúcar

Além das avaliações já descritas, aos 390 DAC foi realizada a avaliação biométrica com o objetivo de determinar as massas de folhas verdes e ponteiros (F_v), folhas mortas (F_s) e colmo (C) em cada parcela. A avaliação ocorreu nos pontos de avaliação um e oito.

Após o corte das plantas (contagem e medição de colmos), o material foi separado em componentes (F_v , C e F_s) e pesado separadamente de modo a se obter a massa fresca de cada um. Em seguida, amostras compostas de cada componente foram conduzidas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP), onde foram trituradas em um picador de forragens, pesadas com uma balança analítica (precisão de 0,01g) e colocadas para secar em estufas a 40 °C até obtenção de massa constante. Dessa forma, foi determinado o teor de umidade e a massa de matéria seca de cada componente.

A partir daí foi possível extrapolar a massa média seca de cada um dos componentes de quatro metros (tamanho do ponto de avaliação) para um hectare (eq. 2):

$$TCe = \frac{Mc \times 8333,33 \text{ m ha}^{-1}}{4 \text{ m}} \quad (2)$$

Em que: TCe = biomassa seca do componente (Mg ha^{-1}); Mc = biomassa seca do componente em quatro metros (Mg); $8333.33 \text{ m ha}^{-1}$ = quantidade de metros em um hectare; 4 m = comprimento de cada ponto de avaliação.

Ademais, somando a produção de biomassa seca de cada componente, é possível determinar a produção de biomassa aérea seca total (eq.3):

$$MS_T = MS_{FV} + MS_{FS} + MS_C \quad (3)$$

Em que: MS_T = biomassa seca total ($Mg\ ha^{-1}$); MS_{FV} = biomassa seca das folhas verdes e ponteiros ($Mg\ ha^{-1}$); MS_{FS} = biomassa seca das folhas ($Mg\ ha^{-1}$) e MS_C = biomassa seca dos colmos ($Mg\ ha^{-1}$).

5.4.4 Taxa de extração de nutrientes pela planta

Depois da determinação da umidade dos três componentes, todas as amostras foram moídas em um moinho de facas da marca Marconi modelo MA 680. Em seguida, foram pesadas amostras de 0.1 g para determinação dos teores de carbono e nitrogênio por combustão a seco no analisador elementar LECO® TruSpec® CN (Michigan, EUA) no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP). Além disso, foram determinados os teores dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) no Laboratório de Tecidos Vegetais (ESALQ – USP), segundo a metodologia proposta por Malavolta et al., (1997). Ao fim, calculou-se o conteúdo dos elementos citados anteriormente em cada compartimento da parte aérea da planta.

5.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos, tanto referente aos atributos do solo (químicos, físicos e biológicos) quanto aos atributos da planta (perfilhamento e altura, IAF, produtividade de folhas secas, verdes mais ponteiros e colmos e taxa de extração de nutrientes) foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As variáveis que apresentaram significância pelo teste F ($p < 0,05$) foram analisadas através de comparação múltiplas de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Alterações nos atributos do solo

6.1.1 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo avaliados após um ano de condução do experimento, de maneira geral, não apresentaram diferenças em função das quantidades de palha depositadas sobre o solo ($p > 0,05$; Tabela 6). Contudo, em relação à amostragem realizada no início do experimento para fins de caracterização do solo (item Material e métodos, tabela 5) pode-se verificar uma pequena acidificação do solo, com redução nos valores dos atributos como pH, cátions trocáveis e V%, e sutil aumento na acidez potencial (H+Al).

O $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ apresentou valores próximos a 4,8 para todos tratamentos e camadas de solo. Na camada superficial (0-5 cm), o $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos sem palha (0 Mg ha⁻¹) e palha aleirada apresentando o menor e maior valor, respectivamente. Nas demais quantidades de palha e camadas não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$).

Segundo recomendação de Raij et al. (1997), para as camadas 0-5 e 5-10 cm, as quantidades de P e K estão entre médio e alto respectivamente, variando entre 19,3 a 37,8 mg kg⁻¹ para o primeiro elemento e entre 4,4 a 7,8 mmolc kg⁻¹ para o segundo. Nas demais camadas o P variou entre teores médios e baixos (13,5 a 20,4 mg kg⁻¹) e, altos e médios para o potássio (2,4 a 4,6 mmolc kg⁻¹).

Os valores de cálcio variam entre 19 e 37 mmolc kg⁻¹, enquanto o magnésio variou de 9 a 16 mmolc kg⁻¹. Com maiores valores nas camadas mais superficiais decrescendo com o aumento da profundidade. Os valores de H+Al também não variaram em função dos tratamentos ou mesmo entre as camadas do solo e apresentaram valores entre 35 e 57,7 mmolc kg⁻¹.

Os valores SB e T diminuíram com a profundidade, variando respectivamente, entre 40 a 57 mmolc kg⁻¹ e 95 a 105 mmolc kg⁻¹ na camada 0-5 cm para 31,6 a 40,1 mmolc kg⁻¹ e 78 a 88 mmolc kg⁻¹ na camada 20-30 cm. Os valores de V seguiram tendência ao pH e H+Al, estando maiores na camada 0-5 e 20-30 e menor, nas camadas 5-10 e 10-20 cm, sendo que os valores ficaram entre 39 a 57%.

Tabela 6. Atributos químicos do solo um ano após a deposição de diferentes quantidades de palha na cultura da cana-de-açúcar.

Atributo	Unidade	Quantidades de palha (Mg ha ⁻¹)					C.V%
		0	2	3,2	7,5	7,5 - Ale	
0 - 5 cm							
pH	CaCl ₂	4,8 b	4,9 ab	4,9 ab	4,9 ab	5,2 a	4,5
P	mg kg ⁻¹	36,8 ^{ns}	24,2	29,3	37,8	31,1	32,2
K ⁺	mmolc kg ⁻¹	6,7 ^{ns}	7,2	5,8	6,7	7,8	23,5
Ca ²⁺	mmolc kg ⁻¹	30,7 ^{ns}	29,0	24,6	30,7	37,4	31,1
Mg ²⁺	mmolc kg ⁻¹	14,5 ^{ns}	13,8	11,1	14,7	15,8	29,2
H ⁺ +Al ³⁺	mmolc kg ⁻¹	49,3 ^{ns}	51,8	50,6	50,2	44,6	22,1
SB	mmolc kg ⁻¹	51,1 ^{ns}	45,7	40,5	48,4	57,3	25,8
T	mmolc kg ⁻¹	104,1 ^{ns}	97,7	95,5	105,1	100,3	8,3
V%	%	47,0 ^{ns}	50,4	45,4	51,8	57,6	17,7
5 - 10 cm							
pH	CaCl ₂	4,8 ^{ns}	4,8	4,8	4,7	5,0	4,8
P	mg kg ⁻¹	24,4 ^{ns}	19,3	20,4	20,6	20,9	42,1
K ⁺	mmolc kg ⁻¹	4,8 ^{ns}	4,7	4,4	5,3	6,0	25,9
Ca ²⁺	mmolc kg ⁻¹	24,2 a	25,4 a	22,3 a	23,3 a	28,7 a	27,7
Mg ²⁺	mmolc kg ⁻¹	9,8 a	11,5 a	10,2 a	9,7 a	12,5 a	27,4
H ⁺ +Al ³⁺	mmolc kg ⁻¹	52,4 ^{ns}	49,9	51,8	57,7	45,9	21,2
SB	mmolc kg ⁻¹	39,5 ^{ns}	41,3	38,1	35,3	47,1	23,4
T	mmolc kg ⁻¹	95,3 ^{ns}	91,4	93,5	94,6	94,8	10,2
V%	%	41,6 a	43,2 a	42,5 a	39,2 a	52,7 a	19,7
10 - 20 cm							
pH	CaCl ₂	4,7 ^{ns}	4,7	4,8	4,7	5,0	5,4
P	mg kg ⁻¹	20,4 ^{ns}	16,3	17,5	16,6	14,0	34,5
K ⁺	mmolc kg ⁻¹	4,6 ^{ns}	3,6	2,4	3,5	2,7	43,3
Ca ²⁺	mmolc kg ⁻¹	21,9 ^{ns}	20,5	21,0	21,4	25,6	25,5
Mg ²⁺	mmolc kg ⁻¹	11,4 ^{ns}	10,4	11,0	10,3	11,9	24,3
H ⁺ +Al ³⁺	mmolc kg ⁻¹	42,0 ^{ns}	52,3	48,5	53,5	41,4	21,4
SB	mmolc kg ⁻¹	38,8 ^{ns}	31,9	36,8	36,5	43,2	24,6
T	mmolc kg ⁻¹	90,6 ^{ns}	90,7	89,2	89,2	87,7	8,9
V%	%	45,0 ^{ns}	41,6	44,0	39,6	45,8	23,1
20 - 30 cm							
pH	CaCl ₂	4,9 ^{ns}	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9
P	mg kg ⁻¹	17,8 ^{ns}	14,3	17,4	16,4	13,5	30,4
K ⁺	mmolc kg ⁻¹	3,4 ^{ns}	3,6	3,6	2,4	2,9	50,5
Ca ²⁺	mmolc kg ⁻¹	22,9 ^{ns}	24,7	19,4	21,6	24,5	26,0
Mg ²⁺	mmolc kg ⁻¹	12,1 ^{ns}	11,4	9,9	10,4	11,6	22,5
H ⁺ +Al ³⁺	mmolc kg ⁻¹	41,5 ^{ns}	46,2	43,6	42,7	35,6	19,5
SB	mmolc kg ⁻¹	40,1 ^{ns}	38,6	33,9	31,6	35,9	22,4
T	mmolc kg ⁻¹	86,0 ^{ns}	87,7	82,1	83,0	78,7	11,8
V%	%	48,3 ^{ns}	45,5	42,3	43,8	49,8	20,5

(¹)SB: soma de bases; (²)T: capacidade de troca de cátions potencial; (³)V: saturação por bases. Médias (n = 7) seguidas das mesmas letras, entre os tratamentos (linhas) não diferem no teste de Tukey (p>0,05), ns: não significativo.

Para a grande maioria dos atributos foram observados coeficientes de variação elevados, dificultando a detecção dos efeitos da palha sobre os atributos químicos do solo. Segundo Pimentel, Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV), dessa forma, as classes podem ser determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). Entretanto, vale a pena ressaltar que são comuns valores altos de CV para trabalhos de campo envolvendo atributos químicos do solo (MENDONZA et al., 2000; PRADO; PANCELLI, 2008).

As poucas alterações dos atributos químicos do solo podem ser decorrentes da baixa quantidade de palha depositada sobre o solo neste experimento, uma vez que, no tratamento com 100% da palha no campo, a média de massa seca vegetal depositado foi de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Como destacado por Leal et al. (2013) em revisão de literatura sobre palha de cana-de-açúcar, a quantidade de palha em matéria seca pode variar entre 7,4 e $24,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, com a média em torno de $14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Essa baixa quantidade de palha depositada sobre o solo, pode ser em razão de características da cultivar, uma vez que, durante o ciclo avaliado, foi possível verificar uma contínua redução da folhagem e, ao fim do ciclo, somente a presença da ponteira e pouquíssimas folhas secas

Associado a isso, o experimento contemplou apenas um ano do ciclo da cana-de-açúcar e pode ser um período de tempo insuficiente, uma vez que a taxa de liberação dos nutrientes da palha é um processo lento (FORTES; TRIVELIN; VITTI, 2012), a mineralização dos nutrientes depende da lavagem realizada pelas águas das chuvas (ROSOLEM et al., 2007) ou pela mineralização da palha (OLIVEIRA et al., 1999) e, quando liberados para o solo, os nutrientes estão sujeitos a uma série de reações que diminuem seus teores no solo (i.e. precipitação, lixiviação, absorção radicular e fixação).

Outro ponto importante é que as raízes da soqueira são mais superficiais que as da cana-planta em função dos perfilhos brotarem mais próximos a superfície (FARONI, 2006). Associado a isso, a manutenção da palha sobre o solo reduz a perda de água por evaporação e aumenta a umidade do solo, favorecendo um maior desenvolvimento do sistema radicular (AQUINO et al., 2015). Dessa forma, principalmente nos tratamentos $3,2$ e $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, os nutrientes liberados pela mineralização da palha podem ter sido rapidamente absorvidos pelas raízes, dificultando a observação de alterações dos seus teores no solo.

Ademais, a decomposição dos resíduos vegetais realizada pelos microrganismos do solo assim como, a lavagem da palha, correspondem a importantes fontes de ácido orgânico ao solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Dessa forma, em solos com deposição de material

vegetal, cátions como Ca^{2+} e Mg^{+2} podem formar complexos com esses ânions orgânicos (ácidos orgânicos), provocando sua lixiviação no perfil no solo, enquanto que o K^+ é menos lixiviado e permanece ligado aos sítios de troca do solo (FRANCHINI et al., 2003). Em relação ao P, a mineralização da palha pode ter resultado na liberação desse nutriente, contudo devido a presença de um alto teor de argila no solo, o processo de adsorção deve ter ocorrido, provocando sua indisponibilidade desse nutriente extra a planta (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Neste estudo foi possível notar uma diminuição do pH e aumento da quantidade de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, ao fim do experimento, para todas as camadas, em especial, a camada mais superficial do solo. Este efeito de acidificação do solo também foi observado por Caldeira (2002), ao estudar o efeito da deposição de palha de cana-de-açúcar e a aplicação de fertilizantes em um Nitossolo Vermelho durante três ciclos da cana-de-açúcar, também na cidade de Igarçu do Tietê – SP. A diminuição do pH pode estar ligada a não realização da calagem durante o ciclo, a adubação de cobertura com fonte nitrogenadas (COSTA et al., 2008) e a decomposição da matéria orgânica (SEEBER; SCHEU; MEYER, 2006).

6.1.2 Atributos físicos do solo

Densidade do solo

Os valores de densidade do solo avaliada na entrelinha de 90 cm para as diferentes quantidades de palha e camadas do solo estão apresentados na figura 8. Pode-se observar menores valores de densidade nas três profundidades para o tratamento com $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, contudo, estas diferentes não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

De maneira geral, para a área estudada, as médias de densidade do solo foram $1,32 \text{ g cm}^{-3}$, $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,44 \text{ g cm}^{-3}$ para as profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm, respectivamente.

Figura 8. Densidade do solo, em diferentes profundidades, na linha de 90 cm ao fim do ciclo e após a deposição de diferentes quantidades de palha.

Além disso, considerando os valores de densidade obtidos neste estudo, nota-se que estão no limite da faixa crítica estabelecida por Reichert, Reinert e Braida (2003), entre 1,3 e 1,4 g cm⁻³ para solos argilosos. Contudo, como essa avaliação foi realizada após a segunda colheita da cana-de-açúcar (primeira soca), espera-se que esses valores aumentem em consequência ao número de cortes, conforme demonstrado por Centurion et al. (2007) em dois solos com teores de argila acima de 35 e 50%, respectivamente. Este aumento da compactação do solo ao longo do ciclo induzido pelas práticas de manejo, degrada a qualidade estrutural do solo (CHERUBIN et al., 2017), reduzindo a capacidade deste solo desempenhar suas funções (físicas) com plenitude (CHERUBIN et al., 2016).

Resistência à penetração

A resistência à penetração na entre linha de 150 cm foi significativa ($p < 0,05$) para todas as profundidades avaliadas, com exceção da camada 0-10 cm (Figura 9).

Para as camadas 10-20 e 20-30 cm, os tratamentos sem palha (0 Mg ha⁻¹) e 7,5 Mg ha⁻¹ diferiram estaticamente ($p < 0,05$), sendo que o segundo tratamento apresentou uma RP 25% inferior ao primeiro nas duas camadas. Na profundidade 30-40 cm, o tratamento sem palha apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com palha aleirada, 3,2 Mg ha⁻¹ e 7,5 Mg ha⁻¹. Para as camadas subsequentes, o tratamento sem palha diferiu novamente dos tratamentos palha aleirada; 3,2 Mg ha⁻¹ e 7,5 Mg ha⁻¹, enquanto que o tratamento 7,5 Mg ha⁻¹ diferiu dos tratamentos sem palha e 2 Mg ha⁻¹.

Quantidade de palha	Profundidade (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Mg ha ⁻¹	%					
0	21,7 ^{ns}	21,6 ^{ns}	22,4 ^{ns}	23,4 ^{ns}	25,1 ^{ns}	26,2 ^{ns}
2	22,4	22,0	23,1	24,6	25,6	26,5
3,2	22,9	22,8	23,6	25,1	26,5	27,1
7,5	22,8	23,9	24,5	25,1	26,4	26,6
7,5 - Ale	22,3	22,8	24,7	26,2	27,9	28,3
CV %	5,7	7,3	3,9	4,2	3,7	2,7

Figura 9. Resistência do solo à penetração, durante caracterização da área (A) e no fim do ciclo da cana-de-açúcar (B), e umidade do solo nas diferentes profundidades avaliadas ao fim do ciclo (C).

A razão pela qual não houve diferença estatística entre os tratamentos na camada 0-10 cm pode estar relacionada ao fato de que em todos os tratamentos esta camada de solo esteja compactada, ou seja, mesmo com a deposição de palha houve compactação do solo na camada superficial decorrente da utilização do pesado maquinário agrícola. Outro detalhe importante é que o coeficiente de variação para essa camada foi superior ao das outras camadas (em torno de 25%), demonstrando a alta heterogeneidade da camada superficial do solo, a qual, sofre maior influência do manejo realizado durante o cultivo.

Souza et al. (2006), estudando a variação espacial da resistência à penetração do solo em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa, na região de Jaboticabal-SP e com condições similares ao presente estudo, encontrou um C.V de ~26% para a camada de solo 0-15 cm para uma umidade média do solo de 0,15 kg kg⁻¹ e ~38% para essa mesma profundidade quanto a umidade média subiu para 0,19 kg kg⁻¹; além disso, foi a camada avaliada que apresentou o maior C.V. para os dois valores de umidade do solo. Confirmando esses dados, Iafa, Maia e Kim (2006), obtiveram os maiores C.V (47 e 36%) para as profundidades 0-5 e 5-10 cm (umidade média do solo em 0,18 kg kg⁻¹) para um Latossolo Vermelho distrófico Típico de textura argilosa com cana-de-açúcar por 2 anos, na região de São José do Rio Claro, MT. Ademais, esses autores observaram aumento da resistência à penetração em profundidade (até os 50 cm) para o solo de textura argilosa e média com o aumento do número de cortes (2 para 4 cortes), reforçando a ideia de que um maior tráfego de maquinário resulta em efeito cumulativo da pressão vertical dos pneus (MANTOVANI, 1987).

O aumento da resistência à penetração na entre linha de 150 cm está associada ao tráfego de veículos pesadas, comuns no manejo da cana-de-açúcar, contudo dois fatores podem ter contribuído para os resultados encontrados, sendo eles: efeito da palha na atenuação da compactação do solo. Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos indicando o fator positivo da palha na redução da compactação do solo, por meio da atenuação da força compactante (SILVA; DIAS JUNIOR, LEITE, 2007; SILVA, DIAS JUNIOR; LEITE, 2010; ROSIM et al., 2012; TORMENA et al., 2017). Segundo Braida et al. (2010), a capacidade dos resíduos vegetais em reduzir a compactação reside na sua baixa densidade, associado a alta capacidade de deformação e elasticidade.

Por outro lado, alguns trabalhos justificam a menor compactação do solo em decorrência do aumento da matéria orgânica do solo (presença de palha), a qual auxilia na agregação e estabilização da agregação do solo (LUCA et al., 2008; BRAIDA et al., 2010, DALCHIAVON et al., 2014).

Neste estudo, o efeito positivo da palha também foi observado, uma vez que em todas as camadas avaliadas, os tratamentos 7,5 Mg ha⁻¹ (100% da palha) e sem palha (0 Mg ha⁻¹) diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), sendo sempre o primeiro tratamento aquele com uma menor resistência à penetração.

Corroborando com este efeito da palha, a umidade do solo não variou significativa para nenhum dos tratamentos e camadas avaliadas durante a avaliação (Figura 9). Essa informação é importante pois maiores umidades do solo resultam em menores resistência à penetração (SOUZA et al., 2006).

6.1.3 Atributos biológicos do solo

Carbono e nitrogênio do solo

Na figura 10 estão apresentados os teores e estoques de C e N e do solo. Como esperado, o teor destes elementos decresce com o aumento da profundidade do solo, uma vez que a palha, a principal entrada de C no solo, é adicionada na superfície desse solo. Para a camada superficial (0-5 cm), o teor médio de C foi de 20 g kg⁻¹, decaindo a um valor médio de 17 g kg⁻¹ para a camada 20-30 cm, enquanto que para o N o valor médio foi de 1,8 g kg⁻¹ na superfície para 1,5 g kg⁻¹ na camada 20-30 cm.

Na literatura, não foram observados trabalhos comparando os estoques de C e N em decorrência da remoção de diferentes quantidades de palha, no entanto, trabalhos com modelagem demonstram que a retirada total da palha de cana-de-açúcar impacta negativamente no estoque de C do solo (CARVALHO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

Por outro lado, podem ser encontrados trabalho que comparam o efeito do manejo da colheita manual com queima e colheita mecanizada, como o de Canellas et al. (2003), Luca et al. (2008), Galdos, Cerri e Cerri (2009) e Signor et al. (2014). No trabalho de Luca et al. (2008), em condições semelhantes aos encontrados neste estudo, o teor de C variou entre 18,1 e 22,7 g kg⁻¹, enquanto o teor de N variou entre 1,24 e 1,39 g kg⁻¹ para a profundidade 0-5 cm, entre os tratamentos cana-queimada e cana crua, respectivamente. No trabalho de Signor et al. (2014), trabalhando com Latossolos de diferentes classes texturais e anos após a reforma a reforma, encontrou teores de C variando entre 10,1 a 26,2 g.kg⁻¹ para a profundidade 0-10 cm, para os tratamentos cana-queimada e cana-crua, respectivamente.

Assim como nos teores de C e N não foram encontradas diferenças significativas nos estoques ($p > 0,05$). Esse resultado era esperado, visto que, para o cálculo dos estoques usa-se os teores dos elementos, densidade e a camada do solo avaliada, os quais não diferiram entre

os tratamentos. Neste estudo, os estoques médios de C e N para a camada 0-20 cm foram de 52,6 e 4,7 Mg ha⁻¹, respectivamente, similares aos encontrados por Luca et al. (2008), 54,2 e 3,74 Mg ha⁻¹, e, inferiores aos encontrados por Canellas et al. (2007), 59,4 e 6,25 Mg ha⁻¹.

O menor estoque de C e N no presente estudo em relação ao estudo de Canellas et al. (2007) pode residir no fato de que a colheita da cana-de-açúcar na área onde foi realizada o estudo é sem queima desde 1946, com os resíduos de colheita sendo movidos para as entrelinhas de cultivo, enquanto que na presente área, a colheita mecanizada somente foi introduzida a cinco anos atrás (informações da usina). Associado a isso, na outra área avaliada pelos autores, com queima desde 1966, o estoque médio de C e N foi quantificado em 36,1 e 4,14 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Por outro lado, na área de estudo de Canellas et al. (2003), as quantidades de areia, silte e argila para a profundidade 0-20 cm foram quantificadas em 350, 380 e 270 g kg⁻¹, respectivamente, enquanto que a área avaliada foi de (~)140; 260 e 600 g kg⁻¹ (tabela 5), ou seja, devido a presença de mais argila neste último solo, o acúmulo anual de C é superior a solos mais arenosos, contudo devido ao processo lento de estabilização da matéria orgânica, alterações no estoque são igualmente lentas. (CERRI et al., 2011)

Ademais, no presente estudo, a deposição ocorreu por somente um ano, associado a uma baixa quantidade de palha e com a última reforma do canavial ocorrendo em 2014. Conforme demonstrado por Silva-Olaya et al. (2013) em áreas com Latossolo Vermelho e cultivadas com cana-de-açúcar, durante as operações de preparo de solo referente a reforma do canavial, 88% do carbono acumulado durante um ano de deposição da palha foram perdidos na forma de CO₂ em apenas 44 dias.

Em concordância com essas informações, Galdos, Cerri e Cerri (2009), descrevem que o aumento da matéria orgânica do solo em decorrência da deposição da palha de cana-de-açúcar pode ser influenciado pelo tempo de adoção do corte mecanizado da cultura, textura do solo e perturbação do solo durante o replantio. Sendo assim, mais estudos devem ser conduzidos a médio e longo prazo para demonstrar os efeitos da deposição da palha nos estoques de C e N do local de estudo.

Figura 10. Avaliação da matéria orgânica do solo até os 30 cm, ao fim do ciclo, nas formas de teor de carbono (A); Teor de nitrogênio até (B); Estoque de carbono (C); Estoque de nitrogênio (D).

Na figura 11 são apresentados os estoques de C e N microbiano, o C-lábil e relação C:N do solo. O C-lábil para camada 0-5 cm apresentou diferença significativa entre os tratamentos sem palha (0 Mg ha^{-1}) e $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Contudo, não foram verificadas diferenças significativas para as demais variáveis, mas foi possível identificar uma tendência de aumento nos estoques de C e N microbiano na camada 0-5 cm conforme aumentou a quantidade de palha mantida sobre o solo.

Os estoques de C e N microbianos (0-5 cm) encontrados neste estudo variaram de 22 até $32,7 \text{ g m}^{-2}$ e 0,94 a $2,34 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente. Esses valores estão de acordo com outros estudos conduzidos em diferentes culturas e condições climáticas (ALVAREZ et al., 1995; BALOTA et al., 1998; 2004; HUNGRIA et al., 2009; BELO et al., 2012).

A fração lábil do C do solo é caracterizada pela rápida sua taxa de transformação e é considerado um indicador mais sensível para identificar modificações nas condições ambientais ou de manejo do que o estoque de C (CHEN et al., 2017). Uma das frações lábeis do C do solo é a biomassa microbiana, a qual consiste na fração ativa e viva do solo e desempenha função importante na disponibilização de nutrientes e atividade enzimática microbiana (HUNGRIA et al., 2009; MAZZETO et al., 2016b). Dessa forma, essas frações consistem em eficientes indicadores de mudanças na dinâmica da matéria orgânica e qualidade do solo (BLAIR; LEFROY; LISE, 1995; HAYNES, 2005; MAZZETO et al., 2016a).

Figura 11. Avaliação da matéria orgânica do solo até os 10 cm, ao fim do ciclo, nas formas de carbono lábil (A); Relação C/N (B); Carbono da biomassa microbiana (C); Nitrogênio da biomassa microbiana (D).

6.2 Alterações nos atributos da planta

6.2.1 Brotação e crescimento da planta

Na figura 12 está apresentado o número e altura média de plantas no decorrer do experimento. Durante a primeira avaliação, aos sete dias após o corte (DAC) não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros avaliados ($p > 0,05$). Aos 15 DAC, o tratamento $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ apresentou um número médio de oito planta por metro, diferindo estatisticamente das 15, 13 e 16 plantas dos tratamentos sem palha, 2 Mg ha^{-1} e palha aleirada, respectivamente ($p < 0,05$). Diferentemente do número de plantas, a altura média de plantas não deferiu para essa data ($p > 0,05$).

Na avaliação de 30 DAC, manteve-se o padrão da avaliação anterior, com o tratamento $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$). Nesta avaliação, a altura média de plantas diferiu estatisticamente entre os tratamentos 2 Mg ha^{-1} e palha aleirada ($p < 0,05$), sendo que, o primeiro apresentou uma altura de 13 cm e o segundo tratamento 11,7 cm. Na avaliação de 45 DAC somente a variável altura média de plantas deferiu estatisticamente, sendo que o tratamento $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ apresentou o menor valor, enquanto que os tratamentos palha aleirada, 2 Mg ha^{-1} e sem palha apresentaram os maiores valores ($p < 0,05$).

O número médio de plantas diferiu estatisticamente novamente aos 60 DAC quando os tratamentos palha aleirada e sem palha obtiveram uma média de 22 plantas em contrapartida as 16 plantas dos demais tratamentos ($p < 0,05$). Por outro lado, nesta mesma avaliação, os tratamentos 2 Mg ha^{-1} e $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ obtiveram alturas médias de 41,5 e 43 cm respectivamente, enquanto os tratamentos palha aleirada e sem palha obtiveram alturas médias de 37 e 36 cm, respectivamente. Nas demais avaliações, 90, 180 e 390 DAC não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhum destes dois parâmetros ($p > 0,05$).

De maneira geral, no início do ciclo, os tratamentos 2 e $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha apresentaram um menor número médio de plantas que os tratamentos 0 e $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ - Ale, contudo, aquelas plantas possuíam uma maior altura média. Esse efeito pode estar associado a uma menor competição de plantas por nutrientes, espaço e luz, favorecendo um desenvolvimento mais acelerado das plantas.

Figura 12. (A) Número médio de plantas até os 90 dias; (B) número médio de plantas durante o ciclo; (C) altura média de plantas até os 90 dias; (D) altura média de plantas durante o ciclo.

Além disso, a deposição de palha também pode ter sido a responsável pela queda menos acentuada no número de plantas aos 60 DAC nos tratamentos 7.5, 3.2 e 2 Mg ha⁻¹ em relação aos tratamentos palha aleirada e remoção de 100% da palha, uma vez que, pode ter selecionado plantas mais sadias, diminuindo a competição. Conforme observado por Mahadevaswamy (2000), em um estudo sobre o efeito da deficiência hídrica nos estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, as variedades que apresentaram menor perfilhamento, foram também as variedades que apresentaram menores reduções nos números de perfilhos, assim como, os perfilhos com maior altura, diâmetro de colo e massa seca. Dessa forma, o elevado perfilhamento no início do ciclo pode não ser uma característica desejável, uma vez que representar um maior gasto energético para a planta e não representa necessariamente um aumento de produtividade (TERAUCHI; MATSUOKA, 2000; HANAUER, 2011)

De acordo com Serafim et al. (2013), muitos fatores podem influenciar na rebrota da cana, como: ambientais (temperatura e umidade), genéticos e fisiológicos (variedade, idade, tamanho e sanidade das gemas), assim como fitotécnicos (práticas agrícolas). Neste trabalho, assim como em outros na literatura (OLIVIER E SINGELS, 2006; CAMPOS et al., 2010, MUNDIM; PELISSARI; PEREIRA, 2009, RAMOS et al., 2012; OLIVIER E SINGELS, 2012) pode-se observar o efeito negativo da deposição de palha sobre brotamento durante o início do ciclo. Uma das razões para essa redução seria que algumas variedades foram desenvolvidas para o sistema de colheita com queima, o qual favoreceria uma maior emergência da cana soca (VASCONCELOS, 2002; TAVARES; LIMA; ZONTA, 2010).

Com relação a variedade utilizada neste estudo, pouco material na literatura pode ser encontrada, contudo, em um boletim técnico sobre o desempenho agrônomo da variedade, reporta que a SP80-3280 foi obtida a partir do cruzamento das variedades SP71-1088 e H57-5028, possui perfilhamento intermediário e bom fechamento das entrelinhas, devido ao seu crescimento inicial vigoroso (SOCICANA, 2006). Além disso, apresenta colmos eretos, ótimo nível de resposta às condições ambientais e alta linearidade da produção em resposta à melhoria no ambiente de produção (ROJAS, 2012).

Adicionalmente, a deposição da palha sobre o solo pode proporcionar a formação de um microclima, favorecendo uma maior umidade e menor temperatura do solo. Como identificado por outros autores (JADOSKI et al., 2010; SERAFIM et al., 2013; MANHÃES et al., 2015), a temperatura é dos principais fatores para a brotação da planta, sendo essa estimulada até temperaturas em torno de 30°C, com diminuição da brotação em temperaturas abaixo de 20°C (AIDE, 1993). Associado a isso, a redução da luminosidade sob a camada de

material vegetal também pode ser prejudicial o processo de brotamento e perfilhamento, uma vez que, altera o processo fotossintético inicial das plantas emergentes (FIGUEIREDO, 2008).

O número máximo de perfilhos em torno de 20 por metro está de acordo com outros trabalhos (CALDEIRA, 2002; SILVA, JERONIMO; LÚCIO, 2008; SILVA; CATO; COSTA, 2010; HANAUER, 2011), assim como, as 6 plantas por metro ao fim do ciclo (OLIVEIRA et al., 2004; SILVA, JERONIMO; LÚCIO, 2008; HANAUER, 2011). Já a altura média das plantas, ao fim do ciclo foi de superior a 270 cm, similar ao encontrado por Souza et al. (2008) para a mesma variedade.

Após os primeiros 90 dias de ciclo, iniciou-se a determinação da área foliar da cultura em três datas, conforme mostrado na figura 13. Aos 120 DAC, o IAF estava em torno de 2,25, subindo para mais de 3,5 aos 150 DAC e para quase 4,0 aos 180 DAC. Como esperado, as diferenças de valores de IAF para a avaliação de 150 e 180 DAC foram pequenas, indicando que, nessas datas, a entre linha da cultura já estava fechada e próxima a uma estabilização. O maior valor de IAF encontrado aos 180 DAC neste estudo está de acordo com o encontrado por Teruel et al. (1997), que identifica o intervalo do 5° ao 8° mês como o de maior índice de área foliar para a cultura.

Figura 13. Índice de área foliar da cana-de-açúcar nas datas 120, 150 e 180 dias após o corte.

No entanto, é possível observar um déficit hídrico entre meses de março (150 DAC), abril (180 DAC), maio e começo de junho (Figura 2), o qual possivelmente afetou a cultura no sentido de estabilização da área foliar. Esse comportamento também foi observado por Almeida et al. (2008), que encontraram um menor crescimento da área foliar para a cana-planta em relação a cana-soca, após um período de déficit hídrico.

Concordando com os dados aqui apresentados, Inman-Bamber (1994) estudando o efeito de temperatura e outras condições ambientais para o desenvolvimento da folhagem e interceptação da luz solar na cultura do cana-de-açúcar, indicou que quando o IAF se aproxima de 4,0, há um fechamento da cultura e sombreamento da entre linha, com consequente amarelecimento e morte das folhas da parte inferior da cultura, estabilizando a assimilação (BEZUIDENHOUT, 2000).

As datas em que foram realizadas as avaliações do IAF (120, 150 e 180 DAC) neste estudo, foram selecionadas objetivando a determinação do índice ao fim da fase de perfilhamento (120 DAC) e o começo da fase de crescimento (150 e 180 DAC), visto que essa fase pode durar de 120 DAC até 270 DAC (DIOLA; SANTOS, 2010). Esse período de desenvolvimento da planta é muito importante, uma vez que representa a fase de estabilização no número de plantas, assim como, representa a fase de maior acúmulo de matéria seca total e aumento na altura das plantas (AIDE, 1993).

Dessa forma, considerando que as folhas são responsáveis pelo acúmulo de mais de 90% da massa seca das plantas (BENINCASA, 1988) pelo processo de fotossíntese, a determinação do IAF é muito importante. Essa importância foi demonstrada por alguns trabalhos na literatura, os quais demonstraram relação positiva entre maiores IAF e maiores produtividades da cultura. (MACHADO et al., 1982; LEME; MANIERO; GUIDOLIN, 1984; OLIVEIRA et al, 2007; ALMEIDA et al., 2008).

Nesse sentido, não foi possível verificar que o IAF não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e data de avaliação ($p > 0,05$). Esses resultados corroboram com o número e tamanho de perfilhos (Figura 12), uma vez que, nem o número de perfilhos, nem a altura de plantas diferenciaram estatisticamente na avaliação aos 90 DAC e os resultados apresentados no item 5.2.2-Produtividade de biomassa (palha e colmo) -, os quais demonstram produtividade iguais entre os tratamentos aos 390 DAC ($p > 0,05$).

Estes valores de IAF estão de acordo com os encontrados por Hanauer (2011) e Oliveira et al. (2004), que avaliaram o IAF em campo e estimado para esta mesma variedade durante o primeiro ano da cana soca. Scarpari e Beauclair (2008) encontraram valores próximos de 4,0 aos 120 DAC com um valor máximo de 6,4 aos 180 DAC, ou seja, em torno de 55% maior.

6.2.2 Produtividade de biomassa (palha e colmo)

Na figura 14 estão apresentadas as massas secas dos componentes de produção da cana-de-açúcar aos 390 DAC. Na figura pode-se verificar que a produtividade final não diferiu em relação às diferentes quantidades de palha ($p > 0,05$). A massa média de matéria seca entre os tratamentos para os componentes de produção folhas (secas e verdes), colmos e total foi de ($\sim$) 5,5; 19,8 e 25,2 Mg ha^{-1} , respectivamente. Essa produtividade foi similar ao encontrado por Leite (2011) em um Latossolo Vermelho distrófico, durante o primeiro ano da cana-soca, utilizando a variedade SP89-1115, na região de Piracicaba-SP. Essa produtividade também foi similar aos $\sim 20 \text{ Mg ha}^{-1}$ de massa seca de colmos para a SP80-3280 observada por Gomes (2003) em um Nitossolo Vermelho eutrófico, no primeiro ano da cana-soca, na cidade de Porto Feliz – SP.

Figura 14. Massa de matéria seca dos componentes de produção da cana-de-açúcar aos 390 dias após a implantação. Folha s. = folhas secas; Folha v. = folhas verdes.

Conforme demonstrado anteriormente, as maiores quantidades de palha (menores níveis de remoção) sobre o solo prejudicaram a brotação da cultura e altura das plantas, contudo, esse efeito foi perceptível apenas no começo do ciclo, com posterior recuperação das plantas, tanto em altura como de número de plantas. Além disso, o IAF foi determinando com intuito de relacionar o número de plantas e o desenvolvimento da cultura (acúmulo de fitomassa, área foliar e número de plantas). Porém, este também não apresentou diferença significativa entre as diferentes quantidades de palha e as datas de avaliação, ou seja, até os 180 dias não houve indícios de que os tratamentos afetariam a produtividade.

Um cenário oposto foi encontrado por Aquino e Medina (2014), no qual em todas as datas e avaliações (IAF, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo da cultura, número de perfilhos por hectare) indicavam o efeito positivo da presença de 50%, 75% e 100% e efeito negativo de 0% e 25% na produtividade da cultura, o que, ao fim do ciclo, se confirmou.

A remoção de diferentes quantidades de palha talvez não afetou a produtividade da cultura por se tratar da primeira soca - considerando que a cana-de-açúcar é propagada vegetativamente e assim, possui elevado vigor comparado com cortes subsequentes. Além disso, como já apresentado, a quantidade de palha depositada sobre o solo foi baixa, a condição climática durante do ciclo da cultura foi favorável, com altas temperaturas e disponibilidade de água (Figura 2) e trata-se de uma variedade com alta produtividade (GOMES, 2003).

Nesse sentido, considerando somente o fator produtividade e condições climáticas e ambientais do período avaliado, os resultados indicam que a remoção da palha para a produção de etanol poderia ser realizada sem prejuízo à produção do ciclo subsequente. Contudo, em decorrência da presença de outros fatores, muitos deles apresentados neste estudo, isso não é recomendável.

6.2.3 Acúmulo de nutrientes

As quantidades de nutrientes acumulados por componente de produção aos 390 DAC não variaram significativamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos estudados (Tabela 7). Os valores apresentados estão de acordo com os encontrados por Leite (2011) e Trivelin et al.

(2013) com dois experimentos de campo na região de Jaboticabal- SP, com a variedade SP81-3250.

Tabela 7. Extração de nutrientes pelos componentes de produção da cana-de-açúcar ao fim do ciclo.

Quantidade de palha	N	P	K	Ca	Mg	S
Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ em FS					
0	4,88 ^{ns}	1,31 ^{ns}	5,29 ^{ns}	9,30 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,93 ^{ns}
3,2	6,21	1,35	5,08	10,1	1,28	1,07
7,5	5,53	1,33	6,43	9,88	1,19	1,33
	kg ha ⁻¹ em FV					
0	19,39 ^{ns}	3,66 ^{ns}	40,25 ^{ns}	12,71 ^{ns}	2,93 ^{ns}	4,02 ^{ns}
3,2	19,71	3,44	39,61	11,55	2,13	3,59
7,5	24,14	4,18	44,55	12,08	2,54	3,74
	kg ha ⁻¹ em CL					
0	44,72 ^{ns}	13,11 ^{ns}	97,94 ^{ns}	24,32 ^{ns}	14,30 ^{ns}	10,16 ^{ns}
3,2	44,2	12,6	81,2	25,5	15,1	10,5
7,5	39,1	12,8	79,2	23,5	14,2	9,7
	kg ha ⁻¹ total					
0	68,99 ^{ns}	18,08 ^{ns}	143,48 ^{ns}	46,33 ^{ns}	18,56 ^{ns}	15,11 ^{ns}
3,2	70,12	17,39	125,89	47,15	18,51	15,16
7,5	68,77	18,31	130,18	45,46	17,93	14,77

FS = Folhas secas; FV = Folhas verdes, CL = colmos; total = Massa total de nutrientes

Nestes trabalhos assim como em outros na literatura, o potássio é o nutriente mais acumulado pelas plantas (ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980; COLETI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010), e em razão da sua fácil liberação dos resíduos vegetais (MALAVOLTA et al., 1989), permite uma grande ciclagem e melhoria na nutrição das plantas (TRIVELIN et al., 2013). O valor de acúmulo foi de ~135 kg ha⁻¹, principalmente nas folhas mais novas e colmo, sendo esse valor baixo em relação ao encontrado Trivelin et al (2013), que encontrou um valor de ~ 134 kg ha⁻¹ somente para as folhas secas e verdes.

Em relação ao nitrogênio, observa-se que foi o segundo nutriente mais extraído pela planta, variando (~) 69 kg ha⁻¹, quantidade essa baixa em relação a outros estudos como Leite (2011) que encontrou um valor (~)124,3 kg ha⁻¹. A alta extração de nitrogênio também foi observada por outros autores (COLETI et al., 2006; FRANCO et al., 2007). Contudo,

diferindo do potássio, apenas 5 a 12% do N da palha é disponibilizada, em parte devido ao alto valor da relação C/N do material (TRIVELIN et al., 2013).

O cálcio e magnésio foram extraídos nas seguintes quantidades, respectivamente: 46,3 e 18,3 kg ha⁻¹, valores superiores aos encontrados por Leite (2011), contudo inferiores aos encontrados por Trivelin et al. (2013) e Oliveira et al. (2010). Isso se deve ao fato que a produtividade dos componentes de produção (folhas secas, folhas verdes e colmos) nesses estudos foram superiores aos encontrados aqui.

A função do cálcio é a de integridade estrutural das membranas e parede celular, dessa forma, desempenha papel estrutural na célula vegetal, apresentando assim baixa mobilidade dentro da planta (EPSTEIN; BLOOM, 1996). O magnésio apresenta papel importante na molécula de clorofila e de ativador de enzimas, estando mais presente, portanto em pontos de crescimento e em folhas verdes (EPSTEIN; BLOOM, 1996).

Por sua vez, o fósforo apresentou um acúmulo de ~18 kg ha⁻¹, sendo esse valor similar ao encontrado por outros autores como Silva et al. (2007); Oliveira et al. (2010); Leite (2011). Além disso, ao lado do nitrogênio, é o elemento mais móvel dentro da planta, sendo facilmente transportado de folhas velhas para folhas novas e frutos em desenvolvimento (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), o que justifica também sua maior concentração nas folhas verdes e colmos. Conforme descrito por Epstein e Bloom (1996), o fósforo é importante nas atividades de armazenamento e fornecedor de energia (ADP e ATP), desdobramento de açúcares na respiração e formação da sacarose (ORLANDO FILHO, 1983).

O enxofre obteve uma quantidade média de (~) 15 kg ha⁻¹ entre os tratamentos, quantidade inferior ao encontrado por Leite (2011) e Trivelin et al. (2013). No estudo de Leite (2011), o alto valor de acúmulo de S (~26,7 kg ha⁻¹) pode ter resultado da elevada quantidade de S no solo, (~) 33 mg dm⁻³, enquanto que o solo do presente estudo apresentou (~) 4 mg kg⁻¹ durante a caracterização. Em relação ao estudo de Trivelin et al. (2013), a massa de matéria seca de folhas secas e folhas verdes corresponderam a basicamente 50% (12,8 Mg ha⁻¹) da massa seca total obtida no presente trabalho, justificando assim o acúmulo de (~)10,3 kg ha⁻¹ somente nesses dois compartimentos.

Esse nutriente é importante para a síntese de proteínas como metionina (21% S) e cistina (27% S) e reguladores de crescimento como: tiamina, biotina e glutamina (EPSTEIN; BLOOM, 1996). Ademais, participa da fixação do carbono na fotossíntese e metabolismo de carboidratos e lipídeos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997)

Portanto, aos 390 DAC, a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes foi: K>N>Ca>Mg>P>S. Essa sequência foi similar a encontrada por Trivelin et al. (2013) e a de Orlando Filho (1983) trabalhando com a variedade CB41-76. Contudo, é importante destacar que a quantidade total de nutrientes extraído pela planta muda conforme a produtividade, isso acontece em razão do uso de diferentes variedades, ciclo da cultura, manejo do solo e disponibilidade de nutrientes (CEOTTO; CASTELLI, 2002).

6.2.4 Relação solo e planta

Considerando o curto prazo do manejo de remoção de palha adotado na área de estudo, e conseqüentemente a ausência de respostas significativas para a maioria dos atributos do solo e especialmente da planta, é difícil estabelecer relações de causa-efeito, entre o solo e planta. Entretanto, verificou-se uma correlação negativa entre massa seca de colmos e da planta toda e a RP do solo (Figura 15).

Esses resultados sugerem que o aumento da RP em decorrência do manejo da cultura pode representar um aumento na densidade do solo (compactação) e uma redução da qualidade das condições físicas do solo, com significativa alteração no tamanho e arquitetura dos poros e, conseqüentemente, redução na infiltração da água, difusão de gases e volume de solo explorado pelas raízes (CAMARGO; ALLEONI, 1997; SILVA, REINERT; REICHERT, 2002; BRONICK; LAL, 2005).

Dalchiavon et al. (2014), estudando a relação entre produtividade de cana soca com a RP, umidade e matéria orgânica do solo em um Argissolo Vermelho eutrófico típico de textura média, observaram que a resistência a penetração apresentou correlação linear negativa com a matéria orgânica do solo, ou seja, a deposição de material vegetal (palha) tende a melhorar as condições físicas do solo e, conseqüentemente, induz a maiores produtividades para a cultura

Figura 15. Relação entre a resistência a penetração e a (A) Massa de matéria seca de folhas secas; (B) Massa de matéria seca de folhas verdes; (C) Massa de matéria seca de colmos e (D) Massa de matéria seca total

Em relação ao aumento da RP e impedimento físico ao crescimento das raízes, Otto et al., (2011), demonstraram que a RP está relacionada a densidade do solo, ou seja, o aumento da densidade leva a um aumento de RP. Além disso, observaram que valores abaixo de 0.75 MPa não afetaram o crescimento da raiz da cultura, mas que valores acima 2.0 Mpa provocaram restrições ao crescimento. Tavares filho et al. (2010) observaram que RP na ordem de 1 a 3,5 Mpa não restringiram o desenvolvimento do sistema radicular no milho no sistema convencional e plantio direto, contudo provocou alterações morfológicas como: deformações morfológicas pelo aumento do diâmetro, tortuosidade e poucos pelos radiculares próximos às extremidades; sendo que as modificações radiculares encontradas no sistema convencional foram mais restritivas que no do plantio direto.

Lima et al. (2010), estudando a relação da resistência à penetração e a produtividade do soja e feijão em um Argissolo Vermelho distrófico de textura franco-arenosa, observaram que a RP estava correlacionada em 41 e 46% ao IAF, 55 e 51% a altura das plantas e 34 e 51% a produtividade da soja e feijão, respectivamente.

Considerando essas informações, e tendo em mente que os maiores valores de RP na entre linha de 150 cm foram observados nos tratamentos com menores quantidades de palha (maiores remoções), 0 e 2 Mg ha⁻¹, acredita-se que com os sucessivos cortes da cana-de-açúcar e com a remoção de grande quantidade da palha, o sistema radicular seja prejudicado, levando a redução da produtividade da cultura.

Sabe-se ainda que uma menor resistência a penetração está diretamente ligada a uma maior umidade do solo (ORLANDO; VIEIRA; MARCIANO, 2000; SOUZA, MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, 2004; SOUZA et al., 2006). Peres et al. (2010) estudando o efeito da presença da palha nas perdas de água de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico de textura argilosa na região de Araras-SP, observaram redução de ~ 50% nas perdas de água na camada 0-20 cm do solo devido a presença de 15 Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar em comparação com o tratamento solo descoberto. Confirmando esses resultados, Stone e Moreira (2000), estudando a presença da palha na eficiência de irrigação de duas variedades de feijão, em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura Argilosa na região de Santo Antônio de Goiás-GO, observaram que a presença da ~ 5,6 Mg ha⁻¹ palha de arroz e milho proporcionou economia média de 16% na quantidade de água necessária para obtenção da mesma produtividade (solo com palha e sem palha).

Neste contexto, a deposição de material vegetal também pode ser benéfica, uma vez que, a palha tende a diminuir a perda de água por evaporação, garantindo um ambiente mais favorável a absorção de água e nutrientes pelas plantas

7 CONCLUSÃO

A remoção de menores quantidades da palha reduziu a compactação do solo na entre linha de 150 cm da cana-de-açúcar, no entanto, para a linha de 90 cm, a remoção total da palha não provocou alterações nos atributos químicos, densidade e o teor de estoques de C e N do solo.

Houve redução na rebrota e perfilhamento inicial da cana-de-açúcar devido a remoção de menores quantidades de palha, contudo, as plantas se recuperaram com o decorrer do ciclo, resultando em valores similares de IAF e produtividade entre os tratamentos.

Contudo, destaca-se a necessidade de monitorar os efeitos da remoção de palha de cana-de-açúcar nos atributos do solo e planta por médio e longo prazo, permitindo assim, um melhor entendimento acerca da sustentabilidade desta prática de manejo emergente no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AIDE, M.I. da S. Estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.2, p241-248, 1993.
- AIDE, M.I da S.; MARCHEZAN, P.L.; DARIVA, T.; PIGNATARO, L.H.B. Manejo do palhço da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, p.281-286, 1993.
- ALEXANDER, A.G. **Sugarcane Physiology: A Comprehensive Study of the *Saccharum* Source-to-Sink System**. Amsterdã: Elsevier Scientific Publishing Company, 1973. 752p.
- ALMEIDA, A. C. DOS S., SOUZA, J. L., TEODORO, I., BARBOSA, G. V. S., FILHO, G. M., JÚNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 33, n. 1, p. 17-28, 1995.
- 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**, Brasília, v. 49, n.3, p. 173-180, 2014.
- AQUINO, G.S.; MEDINA, C.de C.; PORTEIRA JUNIOR, A.L.; SANTOS, L.O.; CUNHA, A.C.B.; KUSSABA, D.A.O.; SANTOS JÚNIOR, J.H.; ALMEIRA, L.F.; SANTIAGO, A.D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.12, p.1150-1159, 2015.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M.; Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n. 4, p. 641 – 649, 1998.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, p.331-339, 1999.
- BELO, E. S.; TERRA, F. D.; ROTTA, L. R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H. B.; SOUSA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global science and technology**, Rio Verde, v. 5, n. 3, p. 107–116, 2012.
- BENINCASA, M.M.P. 1988. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 1988. 42 p.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, New Brunswick, v. 163, n. 12, p. 941- 951, 1998.

BERTOL, I.; JUNIOR, Z.; ANTONIO, W.; FABIAN, E. L.; ZAVASCHI, E.; PEGORARO, R.; GONZÁLEZ, A. P. Effect of chiseling and rainfall erosivity on some characteristics of water erosion in a Nitisol under distinct management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 747-757, 2008.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. B. R. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.

BEZUIDENHOUT, C.N. A **model review and proposed mechanistic tiller model for the CANEGRO sugarcane crop model**. 2000. 78p. M.Tech. thesis - Technikon Natal, Durban, África do Sul.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

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

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. D. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 131-139, 2010.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. D.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdã, v. 124, n. 1, p. 3-22, 2005.

BYNG, J.W.; CHASE, M.W.; BRIGGS, B.; BROCKINGTON, S.; CHAUTEMS, A.; CLARK, J.C.; CONRAN, J.; HASTON, E.; MÖLLER, M.; MOORE, M.; OLMSTEAD, R.; PERRET, M.; CHRISTENHUSZ, M.J.M.; SKOG, L.; SMITH, J.; TANK, D.; VORONTSOVA, M.; WEBER, A.; FAY, M.F.; JUDD, W.S.; MABBERLEY, D.J.; SENNIKOV, A.N.; SOLTIS, D.E.; SOLTIS, P.S.; STEVENS, P.F. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical journal of the Linnean Society**, Oxford, v. 181, n.1, p.1-20, 2016.

CALDEIRA, D. S. A. **Palhada residual de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida mecanicamente (sem queima prévia): manejo, fertilização, influência no perfilhamento e produtividade da cultura**. 2002. 94p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 345-350, 2010.

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L. & MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, 2007.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L.P.; ZANDONADI, D.B.; BUSATO, J.G.; BALDOTTO, M.A.; SIMOES, M.L.; MARTIN-NETO, L.; FAÇANHA, A.R.; SPACCINI, R. & PICCOLO, A. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence technical articles. **Soil science**, Melbourne, v. 173, n. 9, p. 624-637, 2008.

CANTALICE, J.R.B.; BEZZERA, S.A.; OLIVEIRA, O.F.L.; MELO, R.O. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.68-74, 2009.

CAREY, F. A.; SUNDBERG, R. J. **Advanced Organic Chemistry–Parte B: Reactions and Synthesis**, Nova Iorque: Plenum Press, 3ª edição, 1990. 799p.

CARVALHO, J.L.N.; NOGUEIROL, R.C.; MENANDRO, L.M.S.; BORDONAL, R.de O.; BORGES, D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J. Agronomic and environmental implications of sugarcane removal: a major review. **Global Change Biology Bioenergy**, Melbourne, v.9, p-1181-1195, 2016.

CARVALHO, J.L.N.; HUDIBURG, T.W.; FRANCO, H.C.J.; LUCIA, E.H. Contribution of above and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. **Global Change Biology Bioenergy**, Melbourne, in press, 2017.

CASTRO, P.R.C. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1992. p. 5-8.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. D. S.; ARATANI, R. G., METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 02, p. 199-209, 2007.

CEOTTO, E.; CASTELLI, F. Radiation-use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitations. **Field Crops Research**, Amsterdã, v. 74, n. 2, p. 117-130, 2002.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 62, n.1, p.23-28, 2011.

CHAVES JUNIOR, G. T. **Influência do clima na produtividade da cana-de-açúcar**. 2011. 55f. Dissertação (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis), Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Araçatuba, 2011.

CHEN, Z.; WANG, H.; LIU, X.; ZHAO, X.; LU, D.; ZHOU, J.; LI, C. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice–wheat cropping system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 165, p. 121-127, 2017.

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

CHERUBIN, M.R.; FRANCO, A.L.C.; GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA, C.A.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 173, p.64-74, 2017.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. & OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **STAB**, Piracicaba, v. 24, p. 32-36, 2006.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-açúcar. 2017. Brasília: Conab, v.1, Disponível em <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_20_14_04_31_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_17-18.pdf>. Acesso: 30/05/2017.

COPERSUCAR. **Fundamentos dos processos de fabricação de açúcar e álcool**. Caderno Copersucar-Série Industrial, n.20, p.1-12, 1999.

CORREIA, B. L.; ALLEONI, L. R. F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 46, n. 8, p. 944-952, 2011.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. c.5, p. 197-225.

COSTA, K. A. D. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. D., RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I-alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1591-1599, 2008.

DALCHIAVON, F. C.; PASSOS E CARVALHO, M.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; DAL BEM, E. A. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 255-264, 2014.

DANTAS, V.B.; MORAIS, F.A.; PEREIRA, J.O.; CALLEGARI, R.A.; GÓES, G.B. Comportamento físico de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes doses de palha de aveia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 5, n. 5, p. 06-11, 2010.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 577 p.

DOMINY, C.S.; HAYNES, R.J.; VAN ANTWERPEN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 36, n.5 p. 350–356. 2002.

DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M. Statespace approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, p.1215-1221, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.212p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2.ed. Londrina: Ed. Planta. 2006. 403 p.

FARONI, C.E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2004.

FERRI, M.G. **Botânica: Morfologia externa das plantas (Ornanografia)**. 15. ed. São Paulo: Nobel, 1983, 115 p.

FERRI, M.G. **Botânica: Morfologia interna das plantas (Anatomia)**. 9.ed. São Paulo: Nobel, 1999. 115 p.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.31-44.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã v. 42, p. 189-198, 2012.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 13-14, p. 2045-2058, 2003.

FRANCO, H.C.J.; BOLONGA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. & TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.669-674, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 66, n. 2, p. 197-205, 2002.

FREITAS, S. P.; OLIVEIRA, A.R.; FREITAS, S.J.; SOARES, L.M.S. Controle químico de *Rottboelia exaltata* em cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.3, p.461-466, 2004.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdã, v. 153, n. 3, p. 347-352, 2009.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Disponível em: <<http://www.footprintnetwork.org>>. Acesso em: 15/05/2017.

GOLDEMBERG, J.; MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIES, C. A; CERRI, C.C. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, Amsterdã, vol. 69. pp. 14-18, 2014.

GOMES, J.F.F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2003.65p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 53, n. 4, p. 589-598, 2002.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, A.A.J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.213-218, 2002.

GUIMARÃES, E.R.; MUTTON, M.A.; FERRO, M.I.T.; SILVA, J.A.; MUTTON, M.J.R. Níveis constitutivos de compostos fenólicos podem estar relacionados à resistência da cana-de-açúcar à cigarrinha-das-raízes. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.1, n.3, p. 357-365, 2008.

HANAUER, J. G. Crescimento, **Desenvolvimento e Produtividade de Cana-de-Açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS**. 2011. 81 p. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, Amsterdã, v. 85, p.283–306, 1998.

HAYNES, R. J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in agronomy**, Amsterdã, v. 85, p. 221-268, 2005.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 17, n. 1, p. 32-34, 1999.

HUMBERT, R.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdã: Elsevier Scientific Publishing Company, 1968. 779p.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

IAIA, A.M.; MAIA, J.C.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.523-530, 2006.

INMAN-BAMBER, N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.36, n.1, p.41-51, 1994.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v. 3, n. 2, p. 169-186, 2010.

JESUS, G.L.; SILVA, I.R.; ALMEIDA, L.F.J.; LEITE, F.P.; NEVES, J.C.L. Eucalyptus productivity, soil physical properties and organic matter fractions influenced by traffic intensity and harvest residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1190-1203, 2015.

JOERGENSEN, R. G.; MUELLER, T. The fumigation – extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the k_{EN} value. **Soil Biology & Biochemistry**. Amesterdã, v. 28, p. 33-37, 1996.

KEE KWONG, K.F.N.; DEVILLE, J. Residual fertilizer nitrogen as influenced by timing and nitrogen forms in a silty clay soil under sugarcane in Mauritius. **Fertilizer Research**, McClellan, v.14, p. 219-226, 1987.

KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B.; SILVEIRA, P.M. Taxa de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, p.21-28, 2006.

KONONOVA, M. M. **Soil organic matter**. Oxford: Pergamon Press, 1966. 544 p.hater

KRAMER, P.J. **Plant and Soil Water Relationships**. New Iorque: McGraw-Hill, 1949. 779 p.

LEAL, M.R.L.V.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã, v. 53, p. 11-19, 2013.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**, 4.ed. São Paulo: Sarvier, 2007. 1202 p.

LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 90 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LEME, E.J.A.; MANIERO, M.A.; GUIDOLIN, J.C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v.2, p.3-9, 1984.

LI, R.; HOU, X.Q.; JIA, Z.K.; HAN, Q.F.; YANG, B.P. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on soil water, temperature, and maize yield in Loess Plateau region of China. **Soil Research**, Melbourne, v. 50, p.105-113, 2012.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M., SUZUKI, L.E.A.S. Produtividade de culturasProdutividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.

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

LUCA, E. F. D.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MACEDO, J. F.; BRANDÃO, M.; LARA, J. F. R. Plantas daninhas na pós-colheita de milho nas várzeas do rio São Francisco, em Minas Gerais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 239-248, 2003.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 432 p.

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**, Brasília, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.

MACHADO, W.; TELLES, T. S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. D. F.; ALVES, G. B., BORGES, J. L. B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugarcane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1803-1809, 2010.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafós. 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MANHÃES, C.M.C.; GARCIA, R.F.; FRANCELINO, F.M.A.; FRANCELINO, H.O., COELHO, F.C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.52-55, 1987.

MARIN F. R. **Variedades**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) – EMBRAPA, 2009. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html>. Acessado em 10/06/2016.

MARTINS FILHO, M.F.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MARTINS, D.; VELINI, E.D.; MARTINS, C.C.; SOUZA, L.S.D. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.17, n.1, p. 151-161, 1999.

MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.

MAZZETTO, A. M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Comparing how land use change impacts soil microbial catabolic respiration in Southwestern Amazon. **Brazilian journal of microbiology**, Amsterdã, v. 47, n. 1, p. 63-72, 2016.

MEDINA, E.; SAN JOSÉ, J.J.; SEQUEIRA, P.E. Análisis de la productividad en caña de azúcar. III. Respiración en la oscuridad de hojas y tallos de cinco variedades de caña de azúcar y pérdidas nocturnas de materia seca. **Turrialba**, San Jose, v.20, p.302-306, 1970.

MENDONZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B., ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1. p.201-207, 2000.

MEYER, B.S.; ANDERSON, D.B. **Plant Physiology**. 2.ed. New Iorque: D. Van Nostrand, 1952. 356 p.

MILANEZ, A.Y.; FAVERET FILHO, P de S. C.; ROSA, S.E.S. Perspectivas para o etanol brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 21-38, 2008.

MUNDIM, D. A.; PELISSARI, H. N. T.; PEREIRA, F. J. S. Panorama da colheita mecanizada de cana-de-açúcar e seu impacto no manejo da cultura. **Nucleus**, Ituverava, edição especial, p. 79-94, 2009.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., (Ed.). **Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Part 2**. Madison, Soil Science Society of America, 1982. chap. 29, p. 539-579.

NOBLE, A.D.; MOODY, P.; BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some soil chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.41, n. 6, p. 1133-1144, 2003.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NUNES, R.M.; GUARDA, E.A.; SERRA, J.C.V.; MARTINS, A.A. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 135-150, 2014.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and soil**, Heidelberg, v. 76, n. 1, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdã, v. 56, n. 1-4, p. 377-400, 1993.

OLIVEIRA, D.M.S.; WILLIAMS, S.; CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K. Predicting soil C change over sugarcane expansion in Brazil using the DayCent model. **Global Change Biology Bioenergy**, Melbourne, in press, 2017.

OLIVEIRA, E.C.A; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T. FREIRE, F.J. LIRA JÚNIOR, M.A.; MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, F.; SAITO, M.L. **Práticas de morfologia vegetal**. São Paulo: Atheneu, 2000. 115 p.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M. de C. Decomposição e liberação de nutrientes da palha de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C., KOEHLER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; SILVA, D.K.T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVIER, F. C.; SINGELS, A. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. **Water SA**, Pretória, v. 38, n. 1, p. 77-86, 2012.

OLIVIER, F. C.; SINGELS, A. The effect of plant residue layers on water use and growth of irrigated sugarcane. **Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc**, Mount Edgecombe, v. 80, p. 178-181, 2006.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e Adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. Superintendência geral, 1983. 369p.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H.B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB**, Piracicaba, v.16, n.6, p.30-34, 1998.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P. & ZAMBELLO JUNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, v.2, n.1, p. 1-128, 1980.

ORLANDO, R. C.; VIEIRA, L. B.; MARCIANO, C. Análise da variabilidade do índice de cone para diferentes níveis de teor de água do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, p. 182-185, 2000.

OSHER, L. J.; MATSON, P.A.; AMUNDSON, R. Effect of land use change on soil carbon in Hawaii. **Biogeochemistry**, Heidelberg, v. 65, n. 2, p. 213-232, 2003.

OTTO, R.; SILVA, A.P.; FRANCO, H.C.J.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.117, p.201-210, 2011.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – Decomposição e Liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.911-920, 2008.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, R. de M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 951-959, 2008.

PRADO, R. de M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.951-959, 2008.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. 16p. (IAC Circular, 63).

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 185, n. 4, p. 249-258, 2000.

RAMOS, N.P. ; ROSSETTO, R. ; GIRIO, L. ; PIEMONTE, M. J. ; VIEIRA, H. B. ; ANDRADE, C. A. ; PACKER, A. P. C. ; GONÇALVES, J.R.P ; CABRAL, O. M. R. ; SANTIAGO, A. D. Effects of harvest residue layers on sugarcane growth and yield. In: **agronomy and agricultural engineering workshop**, 2012, Townsville. Abstracts - agronomy and agricultural engineering workshop, 2012.

RAMOS, N.P.; YAMAGUCHI, C.S.; PIRES, A.M.M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R.A.; PACKER, A.P.; CABRAL, O.M.R.; ANDRADE, C.A. de. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

RAVEN, P.H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2001. 928p.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHES, B.; LARRE-LARROUY, M.C.; de LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdã, v. 115, n. 1, p. 285-289, 2006.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.27, p. 29-48, 2003.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; RODRIGUES BRITO, O.; FUENTES LLANILLO, R.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

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

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P. J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Soil Research**, Melbourne, v. 45, n. 1, p. 13-23, 2007.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências Universidade Estadual Paulista, 1995. 99p. (Apostila)

ROJAS, O. I. A. **Avaliação fisiológica e bioquímica de cana-de-açúcar variedades RB83-5089 e SP80-3280 em fase inicial de crescimento submetidas a doses de nitrato**. 2012. 130p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

RONQUIM, C. C. Queimada na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos. **Documentos 77**, Embrapa, 2010.

ROQUE, A. A. D. O.; SOUZA, Z. M. D.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. D. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

ROSIM, D.C. **Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um latossolo vermelho distroférico**. 2007. 42 p. Tese (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

ROSIM, D.C.; MARIA, I. C.; LEMOS E SILVA, R.; SILVA, A. P. Compactação de um latossolo vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.502-508, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; GARCIA, R. A. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milho após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1169-1175, 2007.

ROSSETTI, K.V.; TEIXEIRA, D.D.B.; REIS, I.M.S; CENTURION, J.F. Agregação de um Latossolo em função de diferentes ciclos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Agro@ mbiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 10-17, 2014.

ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MELLIS, E. V.; VARGAS V. P.; CANTARELLA, H.; PRADO, R. D.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; BRANCALÃO S. R.; GARCIA J. C. Cana-de-açúcar – Cultivo com sustentabilidade. **Informações Agronômicas**. International Plant Nutrition Institute – IPNI: Piracicaba. n. 142, p. 1-13, 2013.

SANDHU, H.S.; GILBERT, R.A.; KINGSTON, G.; SUBIROS, J.F.; MORGAN, K.; RICE, R.W.; BAUCUM, L. SHINE JUNIOR, J.M.; DAVIS, L. Effects of sugarcane harvest method on microclimate in Florida and Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdã, v.177, p. 101-109, 2013.

SANGER, L.J.; COX, P.; SPLATT, P.; WHELAN, M.J.; ANDERSON, J.M. Variability in the quality of *Pinus Sylvestris* needles and litter from sites with different soil characteristics: lignin and phenylpropanoid signature. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdã, v.28, n.7, p.829- 835, 1996.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, J.R.A.; LUCENA, M.S.; GUSMÃO, N.B.; GOUVEIA, E.R. Optimization of ethanol production by UFPEDA 1238 in simultaneous saccharification and fermentation of delignified sugarcane bagasse. **Industrial Crops and Products**, Amsterdã, v.36, n.1, p. 584-588, 2012.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. **Soil Organic Matter**. New York: Elsevier, 1978. 319p.

SEEBER, J.; SCHEU, S.; MEYER, E. Effects of macro-decomposers on litter decomposition and soil properties in alpine pastureland: A mesocosm experiment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã v. 34, n. 2, p. 168-175, 2006.

SEGATO, S. V; PINTO. A. S.; JENDIROBA. E; NÓBREGA. J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: LIVROCERES, 2006. 361p.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte primário da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.54, n.1, p.9-16, 1998.

SERAFIM, L. G. F.; STOLF, R.; SILVA, J. R.; SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A.; BASSINELLO, A. I. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 31, n. 3, p. 21-25, 2013.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D. I.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1402-1410, 2014.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 1, p. 89-93, 2007.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F. P. Propriedades físicas e mecânicas de latossolos em diferentes manejos florestais. **Ciência e Agrotecnologia**, lavras, v. 34, n. 6, p. 1483-1491, 2010.

SILVA, M. A.; CATO, S.C.; COSTA, A.G.F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.4, p.774-780, 2010.

SILVA, M. A.; JERÔNIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico e de um latossolo vermelho distrófico típico. II - grau de saturação em água. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 9-15, 2002.

SILVA, V.R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.391-399, 2006.

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, v.1, p.1-8, 2013.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v.79, n.1, p.7-31, 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1367-1377, 1998.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 16, n. 1-2, p. 179-201, 1990.

SOCICANA. Associação dos Fornecedores de Cana de Guariba. **Características Agronômicas das Variedades SP**. 2006. Disponível em:

<<http://www.coplana.com/gxpfiles/hgxpp001.aspx?1,5,316,O,P,0,MNU;E;32;5;MNU;,>>
Acesso em: 05 mar. 2016

SOUSA, G. B.; MARTINS FILHO, M. V.; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 490-500, 2012.

SOUSA JR, J.G. de A.; CHERUBIN, M.R.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; Sugar cane straw left in the field during harvest: decomposition dynamics and composition changes. **Soil Research**, Melbourne, in press, 2017.

SOUZA, Z. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004.

SOUZA, Z. M. D.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z. M. D.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. D. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. D.; MONTANARI, R. Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha-da-raiz em canavial colhido sem queima. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.413-419, 2008.

SOUZA, Z. M. D.; PRADO, R. D. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.3, p.271-278, 2005.

SPIERTZ, J.H.J.; EWERT, F. Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. **Wageningen Journal of Life Sciences**, Wageningen, v.56, n.4, p. 281-300, 2009.

STOLF, R., FERNANDES, J., FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. **STAB**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 774-782, 2014.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p.725-730, 2001.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Sugarcane growth and productivity under different tillage and crop systems. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 61-68, 2010.

TERAUCHI, T.; MATSUOKA, M.; Ideal Characteristics for the early growth of sugarcane. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v.69, n.3, p.286-292, 2000.

TERUEL, D. A.; BARBIERE, V.; FERRARO JÚNIOR, L. A. Sugarcane leaf rea index modeling under different soil water condintios. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, p. 93-44, jun. 1997. Edição especial.

TIMM, L.C. **Efeito de manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002, 115f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TISDALL, J. M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C.A.; KARLEN, D.L.; LOGSDON, S.; CHERUBIN, M.R. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. **Soil and Tillage Research**, v.166, p.122-130, 2017.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

TRVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FORTES, C. FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 38, p. 115–132, 1996.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, New York, v.19, p.703-707, 1987.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-deaçúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H., FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOALIARI, J. G. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, edição especial, p. 2757-2762, 2008.

WAKSMAN, S.A.; GERRETSEN, F.C. Influence of temperature and moisture upon the nature and extent of decomposition of plant residues by microorganisms. **Ecology**, Washington, v. 12, n. 1, p. 33-60, 1931.

WALKER, G. M. **Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol**. Frederiksberg: Graeme M. Walker and Ventus Publishing ApS, 2010, 113 p.

WALTER, A.; DOLZAN, P.; QUILODRÁN, O.; GARCIA, J.; DA SILVA, C.; PIACENTE, F.; SEGERSTEDT, A. **A sustainability Analysis of the Brazilian Ethanol**. Report Submitted to the United Kingdom Embassy, Brazil, 2008.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdã, v. 20, p.69–85, 1991.

XIUKANG, W.; ZHANBINA, L.; YINGYING, X. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 161, p 53-64, 2015.

YAMAGUCHI, C.S.; RAMOS, N.P.; CARVALHO, C.S.; PIRES, A.M.M.; ANDRADE, C.A. Sugarcane straw decomposition and carbono balance as a function of initial biomass and vinasse addition to soil surface. **Bragantia**, Campinas, v.76, n.1, p.135-144, 2017.