



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

LUCIANA BOULHOSA FABRIS

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM APORTE DE PALHA E NITROGÊNIO SOBRE
ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO OESTE PAULISTA**

Presidente Prudente - SP
2018



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

LUCIANA BOULHOSA FABRIS

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM APORTE DE PALHA E NITROGÊNIO SOBRE
ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO OESTE PAULISTA**

Tese apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor – Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Dr. Juliano Carlos Calonego

Presidente Prudente - SP
2018

631.46
F124s

Fabris, Luciana Boulhosa.

Sistemas de Produção com Aporte de Palha e Nitrogênio sobre Atributos do Solo e Desempenho da Soja no Oeste Paulista / Luciana Boulhosa Fabris. – Presidente Prudente, 2018.

74f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2015.

Bibliografia.

Orientador: Dr. Juliano Carlos Calonego.

1. *Glycine max (L.) Merrill*. 2. Sistema de Semeadura Direta. 3. Física do Solo 4. Adubação Nitrogenada I. Título.

Campus I Rua José Bongiovani, 700 · Cidade Universitária · CEP 19050 920 · Presidente Prudente SP · Tel|Fax: 18 3229 1000
Campus II Rodovia Raposo Tavares, Km 572 · Bairro Limoeiro · CEP 19067 175 · Presidente Prudente SP · Tel|Fax: 18 3229 2000

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM APORTE DE PALHA E NITROGÊNIO SOBRE ATRIBUTOS DO SOLO E DESEMPENHO DA SOJA NO OESTE PAULISTA"

AUTORA: LUCIANA BOULHOSA FABRIS

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Carlos Henrique dos Santos

UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Cristiano Magalhães Pariz

UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Botucatu (SP)

Fábio Rafael Echer

UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

José Salvador Simoneti Foloni

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja / Londrina (PR)

Juliano Carlos Calonego

UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Botucatu (SP) -
UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: 28 de setembro de 2018.

DEDICATÓRIA

À Deus, pelo dom da vida; à Laura, razão da minha vida que com seu sorriso trás a coragem que preciso para prosseguir; ao meu companheiro Cauê Zanet, por estar ao meu lado na caminhada tornando-a mais leve e compreender minha ausência; aos meus pais João Eduardo Fabris e Lucy Boulhosa Fabris, por sempre acreditarem em mim e darem suporte para que eu realize meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A minha filha Laura e ao meu companheiro Cauê Zanet, por torcerem por mim e compreenderem minha ausência.

Aos meus pais João Eduardo e Lucy pelo exemplo de retidão de caráter e firmeza de propósitos, pela paciência com que sempre educaram a mim e aos meus irmãos, e principalmente, por garantirem a minha realização profissional quando decidiram proporcionar-me a chance de cursar Zootecnia, minha segunda escolha profissional, e pelo suporte incondicional para a realização dos meus sonhos.

Aos meus irmãos Marina, Augusto (in memoriam), Cristina, pelo companheirismo, apoio e paciência. Ao meu cunhado Luiz Antonio, e aos meus sobrinhos, Paula Andréia, João Pedro, Carolina, Gabriela, Wendell, Rafael e Luiz Gustavo, por estarem presentes em minha vida.

Ao professor orientador, Dr. Juliano Carlos Calonego, pela atenção, paciência e empenho na elaboração deste trabalho e no compartilhamento de seus valiosos conhecimentos científicos. Ao professor Dr. Carlos Henrique Santos, pela amizade e conselhos valiosos.

Aos amigos Ana Carolina Mônico Moreira, Diego Henriques Santos, Paulo Claudeir Gomes da Silva, Priscila Roberta Leme Zanfolin, e Melina Rebonatti, pelas horas empregadas no desenvolvimento das atividades desta pesquisa e pelo companheirismo.

Aos funcionários de campo, estagiários e residentes em Agronomia da Faculdade de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista, na pessoa do Sr. Lucas Rodrigues da Silva, pela dedicação na realização de todas as atividades de campo.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Solos da Universidade do Oeste Paulista, Viviane Ferreira Guerra, Luciana Muchiutti, Lindaura Helena da Silva, Raphael de Paulo Fernandes, Joicelete Aparecida Lima Martines e Vinícius Gonçalves dos Santos, pela amizade e dedicação a todas as análises realizadas durante a execução da pesquisa.

E a todos aqueles que alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Epígrafe

*“Não é sobre ter todas as pessoas do mundo pra si
É sobre saber que em algum lugar alguém zela por ti
É sobre cantar e poder escutar mais do que a própria voz
É sobre dançar na chuva de vida que cai sobre nós*

*É saber se sentir infinito
Num universo tão vasto e bonito é saber sonhar
Então, fazer valer a pena cada verso
Daquele poema sobre acreditar
Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo e também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo em todas as situações*

*A gente não pode ter tudo
Qual seria a graça do mundo se fosse assim?
Por isso, eu prefiro sorrisos
E os presentes que a vida trouxe pra perto de mim*

*Não é sobre tudo que o seu dinheiro é capaz de comprar
E sim sobre cada momento sorriso a se compartilhar
Também não é sobre correr contra o tempo pra ter sempre mais
Porque quando menos se espera a vida já ficou pra trás*

*Segura teu filho no colo
Sorria e abraça teus pais enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala, parceiro
E a gente é só passageiro prestes a partir”. (Trem Bala - Ana
Carolina Vilela da Costa)*

RESUMO

Sistemas de produção com aporte de palha e nitrogênio sobre atributos do solo e desempenho da soja no Oeste Paulista

A produção e a qualidade da palha depositada sobre o solo é um fator primordial para viabilizar o cultivo de soja em regiões de solos arenosos e com alto risco de déficit hídrico. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de produção em semeadura direta com aporte diferenciado de palha e nitrogênio antecedendo o cultivo da soja, visando melhorias nas propriedades físicas e matéria orgânica do solo e aumento na produtividade de soja. O experimento foi instalado e conduzido em área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006), nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por três rotações de culturas, I) milho/tremoço/soja, II) milho+braquiária/soja, III) braquiária/soja, e as subparcelas por quatro doses de N, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, aplicadas anualmente. Utilizou-se nos dois anos do experimento o híbrido de milho AG 5055 e a cultivar de soja BMX Potência RR. A espécie de braquiária utilizada foi a *Urochloa brizantha* (Syn. Braquiária) cv MG5, e a espécie de tremoço foi a *Lupinus albus* (tremoço branco). Foram avaliadas: quantidade de palha e sua persistência sobre o solo antes e após a semeadura da soja, parâmetros de produção e produtividade de soja, quantidade de raiz de soja e sua nodulação nos dois anos do experimento, além dos atributos físicos do solo e quantidade de matéria orgânica. Os resultados foram submetidos à análise de variância e os efeitos das variáveis foram comparadas pelo teste tuckey ao nível de 5% de probabilidade. É possível aumentar a produção de soja em regiões com solo de textura arenosa e sujeita ao déficit hídrico, utilizando sistemas de produção que aumente a produção de palha, como é o caso do uso de braquiária e doses anuais de N entre 150 e 200 kg ha⁻¹. O cultivo de braquiária solteira ou em consórcio com milho na entressafra da soja possibilitou uma maior cobertura do solo com palha durante o cultivo da soja no verão. No entanto, isso não foi suficiente para aumentar a produção de grãos em anos com baixa produção de palha, como ocorrido na safra 2015/2016, mesmo com aumento do crescimento das raízes de soja em profundidade, quando em sucessão à braquiária solteira. Os tratamentos com maior aporte de palha e de N não resultaram em aumento nos teores de matéria orgânica no solo, provavelmente em razão da irregularidade de chuvas na época em que as forrageiras, grandes produtoras de massa verde tem as melhores condições de crescimento. A resposta positiva para o aumento da matéria orgânica na camada de 0-10 cm em função do maior aporte de palha pela braquiária, no primeiro ano do experimento, resultou também em aumento da microporosidade do solo. Porém, ficou evidenciado que, para as condições de solo e de clima em que foram realizados o experimento, se esse aporte não se repetir, os teores de matéria orgânica no solo não se mantêm. A adubação nitrogenada realizada nos sistemas de produção não interferiu negativamente na nodulação da soja, que ocorreu de forma satisfatória tanto na quantidade quanto na massa de nódulos analisados.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; Sistema Semeadura Direta; Física do solo; Adubação nitrogenada.

ABSTRACT

Production of no-tillage systems with straw and nitrogen support on soil attributes and soybean yield in west of São Paulo State

The production and quality of the straw deposited on the soil is a prime factor to enable soybean cultivation in regions of sandy soils with high risk of water deficit. The objective of this work was to evaluate the no-tillage effect with differentiated straw and nitrogen input before soybean cultivation, aiming at improvements in the physical and organic matter properties of the soil and increase in soybean yield. The experiment was carried out in an experimental area of the Western São Paulo University - UNOESTE, in Presidente Prudente-SP, in the agricultural years 2014/2015 and 2015 / 2016. The experimental design was a randomized complete block design, with four replications, in a subdivided plots scheme, with four replications. The plots consisted of three crop rotations, I) corn / lupine / soybean, II) corn + palisade grass / soybean, III) palisade grass / soybean, and the subplots by four doses of N, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ applied annually. Were evaluated: amount of straw and its persistence on the soil before and after soybean sowing, soybean yield, amount of soybean root and its nodulation in the two years of the experiment, besides the chemical and physical attributes of the soil. The results were submitted to analysis of variance and the effects of the variables were compared by the tuckey test at the 5% probability level. It is possible to increase soybean yield in regions with sandy texture and water deficit, using production systems that increase the straw production, with use of palisade grass and annual doses of N between 150 and 200 kg ha⁻¹. The single palisade grass cultivation or intercropping with maize in the soybean harvest season allowed a greater soil cover with straw during summer soybean. However, this was not enough to increase grain yield in years with low straw production, as occurred in the 2015/2016 harvest, even with increased soybean root growth in depth, when in succession to single palisade grass. The treatments with higher straw and N inputs did not result in an increase in organic matter content in the soil, probably due to the irregularity of rainfall during the period when the forage plants, which are large producers of green mass, have the best growing conditions. The organic matter increase in the 0-10 cm layer due to the greater contribution of palisade grass straw in the first year of the experiment also resulted in an increase in soil microporosity. It was evidenced that, the organic matter content in the soil does not remain uncharged because the soil and climate conditions in which the experiment was carried out. The nitrogen fertilization did not interfere in the nodulation of the soybean, which occurred satisfactorily both in the quantity and in the mass of the analyzed nodules, when it is carried out in the production systems.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, direct seeding system, Soil physics; Nitrogen fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima no ano de 2014 (A); de 2015 (B); e de 2016 (C).....	30
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média da análise química de solo para caracterização da área nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm.....	31
Tabela 2 - Análise granulométrica do solo antecedente à instalação do experimento, 2013.	31
Tabela 3 - Análise da densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (mic), macroporosidade (mac) antecedente a instalação do experimento, 2013.	32
Tabela 4 - Esquema de rotações de culturas que compuseram as parcelas experimentais entre os anos de 2014 e 2016.....	32
Tabela 5 - Cronograma de parcelamento das doses de N aplicadas durante o cultivo das espécies vegetais nos anos de 2014 e 2015.....	33
Tabela 6 - Valores de F calculados pela análise de variância para as avaliações de quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N), e relação C/N da palha depositada sobre o solo antes da semeadura da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.	39
Tabela 7 - Quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N-total) e relação carbono/nitrogênio C/N da palha depositada sobre o solo antes da semeadura da soja, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.	40
Tabela 8 - Valores de F calculados pela análise de variância para as avaliações de quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N), e relação C/N da palha depositada sobre o solo no momento da colheita da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio..	41
Tabela 9 - Quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N-total), e relação C/N da palha depositada sobre o solo no momento da colheita da soja, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	42
Tabela 10 - Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de matéria orgânica (M.O.), referente à análise química do solo em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	44
Tabela 11 - Resultados da análise de química do solo para matéria orgânica (M.O.), em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.	45
Tabela 12 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de química do solo para matéria orgânica (MO), na profundidade 0-10cm em coleta de solo realizada no ano agrícola de 2014-2015.	46

Tabela 13 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporos (mic), macroporos (mac) nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, ano agrícola 2015-2016 em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	48
Tabela 14 - Resultados da análise de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporos (mic), macroporos (mac) nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, no ano agrícola 2015-2016, em função dos sistemas e das doses de N utilizadas.	49
Tabela 15 - Valores de F calculados pela análise de variância de %>2mm, DMP (diâmetro médio ponderado), DMG (diâmetro médio geométrico) e IEA (índice de estabilidade de agregados) dos agregados nas profundidades 0-10cm e 10-20cm, no ano agrícola de 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	50
Tabela 16 - Resultados de porcentagem de agregados maiores que 2 mm (%>2mm), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) dos agregados nas profundidades 0-10cm e 10-20cm, no ano agrícola de 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.	50
Tabela 17 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados de Porcentagem de agregados maiores que 2 mm (%>2mm) nas profundidades 0-10cm e 10-20 cm em coletas de solo realizadas no ano agrícola de 2015-2016.....	51
Tabela 18 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de nódulos/planta e massa nódulos/planta da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	53
Tabela 19 - Resultados análise de variância para análise de nódulos/planta e massa nódulos/planta da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....	53
Tabela 20 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de massa seca de raiz de soja em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio, nos anos agrícolas de 2014-2015 e 2015-2016.....	56
Tabela 21 - Resultados da análise de peso de raiz de soja em kg m ³ em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio, nos anos agrícolas de 2014-2015 e 2015-2016.	56
Tabela 22 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de peso de raiz de soja em kg m ³ nas profundidades 0-10, 20-40 e 40-60 em coleta realizada no ano agrícola de 2014-2015.	57
Tabela 23 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de produtividade, peso 100 grãos, estante inicial, estante final, número de vagens (n°	

vagens) e número de grãos por vagem da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....59

Tabela 24 - Resultados da análise de produtividade, peso 100 grãos, estante inicial, estante final, número de vagens (nº de vagens) e número de grãos por vagem (nº grãos por vagem) da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.....59

Tabela 25 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de número de vagens por planta em coleta realizada no ano agrícola de 2015-2016.60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Soja.....	18
3.2 Sistema Semeadura Direta	19
3.3 Sistemas de manejo e propriedades físicas do solo	24
3.4 Adubação Nitrogenada no Sistema de Produção	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Localização e características climáticas e do solo da área.....	29
4.2 Instalação do experimento, tratamentos e delineamento experimental.....	31
4.3 Avaliações.....	35
4.3.1 Coleta de palha antes e após a semeadura da soja	35
4.3.2 Coleta e análise de solo	35
4.3.3 Coleta e avaliação do sistema radicular da soja e nodulação	37
4.3.4 Parâmetros de produção e produtividade da soja	38
4.4 Análises estatísticas	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5.1 Quantidade e qualidade da palha	39
5.1.1 Antes da semeadura da soja	39
5.1.2 No momento da colheita da soja	41
5.2 Matéria orgânica do solo	43
5.3 Física do solo	46
5.4 Nodulação da Soja	51
5.5 Raiz da Soja	54
5.6 Produtividade e parâmetros de produção de soja	57
6 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A região do Oeste Paulista tem como base da economia a atividade pecuária, de baixa rentabilidade. O solo de baixa fertilidade, a escassez de chuvas em grande parte do ano e a baixa retenção de água nos solos, devido aos reduzidos teores de matéria orgânica (MO) e argila, dificultam o cultivo tanto de lavouras como de pastagens, sendo comuns as baixas produções de grãos e forragens. Esse cenário, em muitos casos, desestimula os investimentos no meio rural, agravando ainda mais os problemas químicos e físicos dos solos, tornando-os cada vez menos produtivos.

A adoção de estratégias visando aumentar a produtividade desses solos é necessária, sendo o Sistema de Semeadura Direta (SSD) uma opção promissora que pode viabilizar melhorias no sistema de produção visando incrementar os resultados da pecuária. O uso de plantas de cobertura com aptidão edafoclimática para a região, como é o caso das braquiárias, e culturas graníferas com alto retorno financeiro podem ser uma estratégia para viabilizar a agricultura em uma região com predomínio de pecuária extensiva de baixa eficiência.

No caso da soja, mesmo havendo restrições de uso em regiões com solos arenosos e com risco de déficit hídrico, como é o caso da região de Presidente Prudente, as chances de sucesso podem aumentar com o aporte de matéria orgânica (MO), com a conservação da água no perfil do solo e com as melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, promovidas pelas forrageiras, que também produzirão palhada para o cultivo em Sistema Semeadura Direta (SSD). Em contrapartida, a pastagem se beneficiará do residual das adubações realizadas nas lavouras, aumentando a produção de fitomassa.

As braquiárias, na região Oeste do Estado de São Paulo são excelentes opções para a dupla função exigida das forrageiras, pois tem uma alta produção de fitomassa aérea e radicular, principalmente ao se beneficiar do efeito residual das adubações realizadas nas culturas graníferas, garantindo a cobertura do solo, a ciclagem de nutrientes, a retenção de água, entre outros benefícios. Porém, o aporte de matéria seca (MS) e, conseqüentemente, de carbono (C) por essa forrageira, semi-perene, vai depender, entre outros fatores, da fertilidade do solo e do esquema de rotação de cultura em que é inserida.

A realização de qualquer das modalidades de integração, consórcio, sucessão ou rotação, promovem benefícios ao sistema de produção, como o aumento de palhada para o SSD, melhoria na qualidade física do solo, menores custos de produção, recupera-se a fertilidade do solo, ganhando em produtividade, melhoria da ambiência para um maior conforto animal, adubação residual, ciclagem de nutrientes, fluxo de caixa mais equilibrado.

Na região em que o estudo foi realizado o grande desafio é a manutenção de cobertura do solo para garantir os resultados da atividade agrícola. Com isso, a adubação nitrogenada dos sistemas de produção, tende a promover o esperado auxílio nesta função, pois o balanço positivo de nitrogênio (N) é essencial para evitar uma competição indesejada entre microrganismos e as plantas cultivadas, além de aumentar a produção de MS e o aporte de C pelas culturas (BODDEY et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2013). Assim, rotações de culturas que privilegiam um maior aporte de C demandarão maior fornecimento de N. Portanto, o fornecimento de N via adubo verde ou mineral pode aumentar a produção das culturas e permitir o aumento do teor de MO em sistemas com aporte de palhada de elevada relação C/N, melhorando a fertilidade do solo e sua estrutura, resultando em aumento da produtividade da soja.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de produção em semeadura direta com aporte diferenciado de palha e nitrogênio antecedendo o cultivo da soja, visando melhorias nas propriedades físicas, matéria orgânica e aumento na produtividade de soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia nacional e mundial, sendo seus grãos muito usados na produção de óleo vegetal, ração animal e em produtos alimentícios variados (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

O plantio nacional de soja ganhou 14,4 milhões de novos hectares desde a safra 2006/07, e hoje ocupa o primeiro lugar em área semeada no país, correspondendo a 57% do total da área semeada com grãos no Brasil (CONAB, 2018). Isso ocorre em razão de sua grande liquidez, garantindo excelente rentabilidade, o estímulo os produtores a continuarem investindo em seu plantio. Na safra 2017/18, o crescimento da área plantada foi de 3,5%, atingindo 35,1 milhões de hectares, ressaltando a importância da produção deste grão para a economia nacional (CONAB, 2018). Dentre os grandes produtores mundiais (Estados Unidos o maior produtor, Brasil na segunda posição e em terceiro a Argentina), o Brasil apresenta a maior capacidade de multiplicar a atual produção, tanto pelo aumento da produtividade, quanto pelo potencial de expansão da área cultivada. Grande parte dessa área de expansão tem ocorrido em áreas marginais, como, por exemplo, em solos com textura mais arenosa e de baixa fertilidade, o que tem contribuído para a estagnação da produtividade média de grãos (CONAB, 2017).

A soja apresenta como centro de origem e domesticação o nordeste da Ásia (China e regiões adjacentes) (CHUNG; SINGH, 2008) e a sua disseminação do Oriente para o Ocidente ocorreu através de navegações. No Brasil, o primeiro relato sobre seu cultivo foi no estado da Bahia em 1882 (BLACK, 2000). Os imigrantes japoneses levaram-na para São Paulo e em 1914 a soja foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul, sendo este por fim, o lugar onde as variedades trazidas dos Estados Unidos, melhor se adaptaram às condições edafoclimáticas, principalmente em relação ao fotoperíodo (BONETTI, 1981). A implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil possibilitou o avanço da cultura para as regiões de baixas latitudes, através do desenvolvimento de cultivares mais adaptados por meio da incorporação de genes que atrasam o florescimento mesmo em condições de

fotoperíodo indutor, conferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL; GARCIA, 1989).

Em razão deste melhoramento, a soja passou a ser cultivada em todo território nacional, entretanto, a soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: da sementeira à emergência e no enchimento dos grãos, condição que por vezes desfavorece o seu plantio em regiões como a do Oeste Paulista, que tem como característica a má distribuição das chuvas ao longo do ano. Durante a germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura. Durante esse período, excessos hídricos são mais limitantes que déficits (SALINAS et al., 1989). A ocorrência de déficit hídrico durante o período de enchimento dos grãos é mais prejudicial do que durante a floração (DOSS et al., 1974; SIONIT; KRAMER, 1977). Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas, já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento, relativamente, longo (MOTA, 1983).

Dentre os avanços tecnológicos para a grande produtividade da soja brasileira, são comuns os resultados benéficos da produção de soja quando cultivada sobre a palhada de braquiária em SSD (PITOL et al., 2001; CHIODEROLI et al., 2012), sendo esses resultados atribuídos a melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (FRANCHINI et al., 2010; LOSS et al., 2011), principalmente em regiões em que há inverno seco e estação chuvosa de curta duração (LOSS et al., 2011; CHIODEROLI et al., 2012). Segundo Franchini et al. (2009), a cobertura do solo proporcionada por sistemas produtivos que incluam forrageiras tropicais, associada às melhorias na qualidade física do solo e no enraizamento da soja, tem refletido no aumento da produtividade desta cultura em relação a outros sistemas de produção.

3.2 Sistema Sementeira Direta

O sistema de sementeira direta (SSD) surgiu com o objetivo de proteger o solo da erosão e da capacidade de infiltração de água e constitui-se num conjunto de tecnologias que visam à conservação dos solos, manutenção da umidade, melhoria na estrutura física e química, maior acúmulo de matéria orgânica no solo e resposta das culturas cultivadas sobre esse sistema (CHIODEROLI, 2010).

É uma combinação entre o uso de produtos químicos ou práticas no manejo de culturas destinadas à adubação verde objetivando a formação de coberturas do solo; manutenção dos restos culturais na superfície do solo; adoção de métodos integrados no controle de plantas daninhas; e o mínimo de revolvimento do solo (DUARTE JUNIOR et al., 2009).

No SSD é importante o não revolvimento do solo para uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico que trará benefícios na estrutura física do solo, e sua qualidade química e biológica que irão repercutir na sua fertilidade e na produtividade das culturas, na manutenção da cobertura do solo por maior período, na redução no número de plantas daninhas, entre outros. (CRUSCIOL et al., 2005). Regiões quentes e úmidas propiciam uma decomposição acelerada do material orgânico, sendo necessária a utilização de espécies forrageiras que produzam maior quantidade de palha e com alta relação C/N, para que o solo permaneça coberto por um maior tempo, reduzindo assim as chances de erosão hídrica, fator limitante ao uso contínuo do solo em cultivos anuais na agricultura convencional (CHIODEROLI, 2010; PEREIRA et al., 2011).

A manutenção de palha na superfície do solo dissipa a energia da compactação resultando em menor densidade dos solos que associado ao cultivo de plantas com diferentes sistemas radiculares atingindo diferentes profundidades permite o transporte de nutrientes das camadas mais profundas para próximo à superfície do solo, disponibilizando-os através dos processos de decomposição (SILVA et al., 2011b).

O SSD com mínimo revolvimento, associado à rotação de culturas e à cobertura adequada e permanente do solo diminui a resistência à penetração favorecendo o cultivo das culturas de interesse econômico, não limitando o acesso das raízes à solução do solo (FRANCHINI et al., 2011). Nas regiões de inverno seco e quente, a irregularidade e a baixa precipitação pluvial prejudicam o bom desenvolvimento dos sistemas de cultivo, dificultando o estabelecimento do SSD, e favorecendo a rápida decomposição dos resíduos vegetais (COSTA, 2010). Uma alternativa que tem se mostrado eficiente para aumentar este aporte de palha e, conseqüentemente a cobertura do solo, é o consórcio das culturas de interesse econômico com braquiárias (GARCIA et al., 2012).

Neste contexto surge a Integração Lavoura Pecuária (ILP) que é definida como sendo uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades

agrícolas e pecuárias, realizadas em uma mesma área seja em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação. Dessa forma, abrange sistemas produtivos diversificados para a produção de alimentos, quer sejam de origem vegetal ou animal, de forma a otimizar os ciclos biológicos das plantas e dos animais, bem como dos insumos e seus respectivos resíduos. Fundamenta-se na integração dos componentes do sistema produtivo, a fim de atingir patamares cada vez mais elevados de qualidade do produto e do ambiente e aumentar a competitividade (MACHADO et al., 2011).

Na região oeste do estado de São Paulo, a viabilização da lavoura com culturas de alta rentabilidade permitirá uma intensificação do uso do solo, melhorando sua estrutura, retenção de água, quantidade de matéria orgânica, incrementando os ganhos econômicos dos produtores, pois a lavoura integra-se perfeitamente com a pecuária já desenvolvida na região.

Os principais objetivos desse sistema são: produção de forragem para a entressafra; produção de palhada em quantidade e qualidade para o SSD (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003); e, obviamente, produção de grãos.

Com relação à agricultura, segundo Macedo (2009), o monocultivo e as práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade, ocorrência de pragas e doenças, e degradação do solo e dos recursos naturais. Nas áreas de lavouras temporárias, bem como em áreas de pastagens naturais e plantadas, predomina a monocultura e, na maioria dos casos, a utilização de boas práticas agrônômicas não é verificada de forma completa, o que resulta em degradação na qualidade dos solos e se reflete em baixa produtividade e elevada erosão (BALBINO, 2001; HERNANI et al., 2002).

A adoção da iLP contribui para viabilizar o SSD, com a palha produzida pela pastagem tropical bem manejada. Além disso, a pastagem proporciona à lavoura um solo melhor estruturado, em função do sistema radicular abundante e do resíduo de material orgânico deixado na superfície e em subsuperfície do solo (LOSS et al., 2011; SILVA et al., 2011a). A adoção da iLP proporciona benefícios recíprocos e reduz a degradação física, química e biológica do solo, resultante de cada uma das explorações (KLUTHCOUSKI; STONE, 2003). A redução do uso de agroquímicos, em razão da quebra dos ciclos de pragas, doenças e plantas daninhas, é outro benefício da iLP ao meio ambiente (VILELA et al., 2008).

Segundo Spera et al. (2004, 2009), em estudo de rotação na produção de grãos com pastagens perenes subtropicais e temperadas, os resíduos vegetais se transformaram em matéria orgânica, em virtude de sua mineralização. Também houve diminuição da compactação do solo, por causa da reestruturação advinda do uso contínuo do SSD. Santos et al. (2004) constataram aumento no nível de matéria orgânica do solo (MOS), em sistemas de iLP, além de aumento na produtividade de grãos de soja, quando cultivada após quatro anos de pastagem perene (pensacola, cornichão, trevo-branco e trevo-vermelho) ou alfafa. Estes autores afirmam que o uso de leguminosas promove reciclagem de nutrientes e aumento do teor de nitrogênio nos sistemas, e pode ser importante estratégia para se atingir a agricultura sustentável.

Segundo Bertol et al. (2004), as alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são mais pronunciadas no sistema de preparo convencional do que nos sistemas conservacionistas, pelo fato do revolvimento alterar a densidade do solo, o volume e distribuição de tamanho de poros e a estabilidade dos agregados, influenciando na infiltração da água, na erosão hídrica e no crescimento e desenvolvimento das plantas.

As raízes terão dificuldade de penetração no solo em razão das alterações que ocorrem em sua estrutura (KIEHL, 1979). Essas alterações influenciam também a porosidade total, distribuição e diâmetros de poros, porosidade de aeração, capacidade de armazenamento de água, disponibilidade para as plantas e consistência e máxima compactabilidade do solo (KLEIN et al., 1995; SOUZA; ALVES, 2003a).

As práticas conservacionistas que evitam o preparo excessivo do solo, por meio de aração e gradagem, conservam a matéria orgânica do solo que não sofrerá desagregação (SOUZA; ALVES, 2003b; BAYER et al., 2004). O não revolvimento do solo, aliado à adição de C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados no solo, melhorando sua estrutura (BERTOL et al., 2004).

Na região de Presidente Prudente, os solos embora pertencentes ao bioma de Mata Atlântica (IBGE, 2010), são parecidos com os solos de Cerrado (maior região produtora de grãos do Brasil), que se caracterizam por serem

altamente intemperizados, com baixos teores de argila e com baixa fertilidade natural. A fração argila desses solos é, essencialmente, constituída por minerais de argila 1:1 (com pouco ou nenhuma substituição isomórfica) e óxidos de ferro e alumínio, o que determina uma baixa densidade de carga superficial líquida negativa e, em consequência, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), em relação aos minerais de argila 2:1 e a MO (SILVA; RESCK, 1997). Além disso, o conteúdo de MO em solos de Cerrado é baixo, devido às condições de clima tropical, que promovem a rápida decomposição dos resíduos vegetais incorporados ao solo e/ou mantidos na superfície do terreno, ou mesmo pela dificuldade em aportar C via resíduos vegetais (BOLLIGER et al., 2006; RESCK et al., 2008). As limitações promovidas pela baixa CTC, bem como pela baixa capacidade de retenção de água nos solos, podem ser amenizadas pelo aumento da MO (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Como opção para aporte de MO no solo, Kluthcouski et al. (2003) e Crusciol e Borghi (2007) afirmam que a braquiária apresenta potencial para cobertura do solo no SSD, devido a sua longevidade, alto rendimento de biomassa e plena adaptação ao bioma e também ao da Mata Atlântica. Além do aporte de MO por essa forrageira, a palhada mantida na superfície do solo é importante para impedir um aquecimento excessivo do solo, bem como a perda de água por evaporação (PERES et al., 2010).

Aidar e Kluthcouski (2003) e Garcia (2010) afirmam que a recuperação dos teores de MOS pode ser feita com redução do revolvimento do solo e adoção de um sistema de rotação de culturas com a inclusão de espécies de alta produção de resíduos, como é o caso das braquiárias. Nem sempre as espécies forrageiras integravam-se com a lavoura, e neste sentido, passo importante foi dado pelos produtores Van Der Vinni e Wielemarkir quando conseguiram estabelecer espécies perenes de Braquiária e Panicum após a colheita de soja, viabilizando a engorda de bovinos (MACHADO et al., 2011). Assim, a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), em conjunto com o SSD, merece destaque nesse contexto (SALTON et al., 2011; TIRLONI et al., 2012), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, pois, devido à grande produção de raízes finas, juntamente com as hifas de fungos, auxiliarão na estabilização física dos agregados do solo (BRAIDA et al., 2011).

3.3 Sistemas de manejo e propriedades físicas do solo

A estrutura do solo é uma das características físicas mais importantes relacionadas ao uso e manejo de solo, e é o resultado da agregação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) com outros componentes minerais e orgânicos (calcário, sais, matéria orgânica, entre outros). A agregação origina unidades estruturais compostas, chamadas de macro e microagregados do solo. O agrupamento dos agregados do solo, organizados numa forma geométrica definida, constitui a estrutura do solo (EMBRAPA, 2008).

De acordo com Lepsch (2002), as partículas de areia, silte e argila encontram-se em condições naturais, aglomeradas em partículas compostas, referidas com frequência como agregados ou torrões. A estrutura é o aspecto do conjunto dos torrões que aparecem naturalmente no solo. Eles têm formato e tamanhos variados e estão separados uns dos outros por pequenos fendilhamentos.

A estrutura está relacionada à aeração, densidade, resistência mecânica, infiltração de água, drenagem do perfil, e o mau manejo e uso incorreto dos solos modificam a sua estrutura e porosidade. Fatores climáticos, ciclos de umedecimento e secagem, atividade biológica e atividade humana (práticas de manejo) podem modificá-la ao longo do tempo. Se o solo for devidamente manejado, sua estrutura será preservada garantindo uma maior produtividade e aproveitamento (LEPSCH, 2002).

A estabilidade dos agregados da camada superficial é um parâmetro físico cuja importância é reconhecida por aqueles que estudam o processo de erosão do solo. Essa estabilidade depende, principalmente, da textura do solo, da sua mineralogia, do teor e tipos de matéria orgânica e da sua umidade (LIER; ALBUQUERQUE, 1997). Com o aumento da intensidade de cultivo tem sido observada alteração no tamanho dos agregados do solo, aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento da resistência do solo à penetração (ALVARENGA; DAVIDE, 1999; D'ANDRÉA, 2001).

A quebra de agregados e as mudanças na estrutura do solo decorrentes de seu uso agrícola intensivo normalmente restringem o crescimento radicular e reduzem a exploração de água e nutrientes pelas culturas (PEDROTTI et al., 2001). Essas alterações manifestam-se por meio de altos níveis de compactação, baixa porosidade e velocidade de infiltração de água no solo, acúmulo

de água sobre a superfície e erosão hídrica (STONE; SCHLEGLE, 2010; TAVARES FILHO et al., 2010). A degradação física do solo compromete o desenvolvimento das plantas e a sustentabilidade da atividade agrícola (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Marschner (1995) afirma que a compactação do solo reduz os macroporos e aumenta a sua densidade, aumentando a resistência física ao crescimento das raízes em solos secos, e ocasionando falta de oxigênio para a respiração das raízes em solos úmidos.

Em sistema convencional de cultivo, a compactação do solo localiza-se entre 8 e 27 cm de profundidade, enquanto que em sistemas de semeadura direta a camada de maior densidade localiza-se superficialmente, entre 5 e 12 cm de profundidade (HAKOYAMA et al., 1995; PEDROTTI et al., 2001). Demonstrando que os sistemas conservacionistas tendem a preservar a estrutura do solo.

Vieira e Muzilli (1984) realizaram um ensaio em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, comparando o sistema de preparo convencional e semeadura direta, sob três rotações de culturas, durante quatro anos na região Centro-Sul do Paraná. Os autores verificaram, ao final do quarto ano de cultivo das culturas de verão, nas profundidades de 0,10 e 0,30 m, aumento significativo da densidade e da microporosidade do solo na semeadura direta, com consequente redução da porosidade total e da macroporosidade, na camada de 0,10 m, não havendo diferenças a 0,30 m.

A concentração superficial de raízes em PC, em razão das modificações de estrutura de solo, de acordo com Torres e Saraiva (1999) quase sempre está relacionada à queda de produtividade, o que pode não ocorrer em SSD, pois a manutenção da cobertura do solo com palha e o maior teor de MOS nesse sistema conservacionista, com melhor estrutura de solo, mantém a sua umidade, podendo proporcionar condições satisfatórias para o desenvolvimento das culturas.

3.4 Adubação Nitrogenada no Sistema de Produção

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o crescimento das plantas, requerido em grandes quantidades pelas culturas. Sua deficiência limita a produtividade das culturas, com a clorose das folhas velhas e a redução de crescimento das plantas (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999; FREIRE; VASCONCELOS; FRANÇA, 2000). No solo o N pode ser encontrado nas formas mineral ou inorgânica, 98% do total e na forma orgânica, 2% do total (MALAVOLTA,

1976). A matéria orgânica (MO) retém 95% do N presente no solo e sua capacidade de disponibilização para as culturas está ligada a capacidade de mineralização deste N em função dos fatores climáticos e de manejo (RAIJ, 1997).

A relação C/N das culturas interfere na mineralização do N que ocorrerá de forma mais rápida em situações onde a relação C/N é menor 15/1 e de forma mais lenta em situações onde a relação C/N é de 30/1, podendo ocasionar falta de N no sistema (CAIRES, 2000), o fornecimento de N ao sistema garante que as culturas não sofram com a falta deste nutriente, não comprometendo a produtividade.

Segundo Stanford (1973) e Keeney (1982) o manejo ideal da adubação nitrogenada é aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com o mínimo de risco ambiental, minimizando tanto os excessos que prejudicam a qualidade ambiental e oneram o produtor, quanto os déficits que comprometem o rendimento projetado. Na agricultura atual, o uso de fertilizantes nitrogenados é obrigatório para manter elevada produtividade (RIBEIRO, 2015), podendo alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} de N (SCHIAVINATTI et al., 2011).

Na cultura do milho, por exemplo, o nitrogênio (N) e o potássio (K) são os elementos absorvidos em maiores quantidades (FOLLMANN, 2015). De acordo com Calonego et al. (2012), o aumento da produtividade de grãos de milho depende, entre outros fatores, da eficiência da absorção de N. Nas pastagens o N servirá para aumentar a produção vegetal, que beneficiará o animal e a produção de carne e leite, e a produção de palha para o SSD. O resíduo do N usado nas pastagens poderá ser utilizado ainda em futuras produções de grãos como o milho ou a soja (FOLLMANN, 2015). O N aplicado na pastagem, segundo Santini et al. (2011), influencia no acúmulo de fitomassa do rebrote avaliado aos 143 dias após sua aplicação e também na produtividade do milho em sucessão.

O principal reservatório de N no solo é a matéria orgânica (MO), que embora não esteja prontamente disponível para as plantas, será disponibilizada pelos microrganismos decompositores desta matéria orgânica em curto espaço de tempo (CAMPOS et al., 2011). Com o aumento dos teores de MO no solo, eleva-se a CTC e melhora-se a fertilidade do solo, pois a manutenção desta MO através da adição de palhada com o SSD garante o uso sustentável das áreas produtivas (CAETANO et al., 2013). O C adicionado pela MO que é influenciada pela adição de N ao sistema de produção, melhora a estrutura física do solo pela melhor

agregação, maior porosidade, melhor infiltração e armazenamento de água, pois as plantas tem a possibilidade de produzir sistemas radiculares mais abundantes e profundos (BRAGA, 2012).

O SSD oferece proteção ao solo com a manutenção dos resíduos culturais, aumentando o teor de MO, com alterações positivas nas condições químicas, físicas e biológicas do mesmo (SÁ, 2001; FALLEIRO et al., 2003; TORMENA et al., 2004), sendo que a MO proveniente dos adubos orgânicos e/ou resíduos vegetais podem suprir importantes quantidades de N para as culturas (ROSOLEM, 1996).

O acúmulo e a manutenção de cobertura nos SSD durante longo período é um desafio para os solos arenosos, sendo de extrema importância a escolha da espécie de cobertura (ENSINAS, 2015). As culturas como gramíneas do gênero *Urochloa*, milheto (*Pennisetum glaucum L.*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) tem sido consideradas de boa adaptação ao cerrado (GARCIA et al., 2012), e na região Sul do Brasil a aveia preta tem demonstrado grande potencial pela sua rusticidade, facilidade de obtenção de sementes, aliadas a sua decomposição lenta e ao seu rápido crescimento inicial (CERETTA et al., 2002).

No SSD uma das premissas básicas é a adoção da rotação de culturas, preferencialmente mesclando-se culturas comerciais, como soja, milho, arroz, feijão e sorgo com adubos verdes como a crotalária, mucuna, feijão guandu e milheto, proporcionando recobrimento eficiente do solo, além de elevada reciclagem de nutrientes e possibilidade de aumentos na produtividade de culturas em sucessão (SILVA et al., 2004), sendo o ideal empregar plantas que tenham dupla função, gerar palhada para cobertura e fixar N atmosférico (FAVARATO, 2015), escolhendo consórcios entre espécies de famílias diferentes, como leguminosas e gramíneas aproveitando as vantagens atribuídas as duas. Consorciando leguminosas e gramíneas é possível obter uma fitomassa com relação C/N intermediária aqueles das espécies solteiras.

As espécies do gênero *Urochloa* apresentam grande potencial de fornecimento de C ao solo, por adicionarem grande quantidade de resíduos vegetais e por possuírem sistema radicular extenso e constantemente renovado (SILVA; MIELNICZUK, 1997). Souza et al. (2009) observaram aumento no estoque de carbono orgânico total em sistemas de integração com gramíneas e soja em plantio direto.

Dentre as leguminosas utilizadas como adubo verde, o tremço trás muitos benefícios como a fixação de até 150 kg ha^{-1} de N durante a estação fria, que estará a disposição da cultura sucessora; produção abundante de matéria vegetal sob baixas temperaturas, com uma relação C/N favorável a rápida mineralização; mobilização de nutrientes pouco solúveis ou de camadas profundas, especialmente em solos ácidos e erodidos; incremento na atividade biológica do solo; aumento da macroporosidade dos agregados do solo; aumento da infiltração dos excessos de chuva; melhora a capacidade de armazenamento de água (VIEIRA; VIEIRA; VIEIRA, 2001; LEITÃO FILHO, 2009).

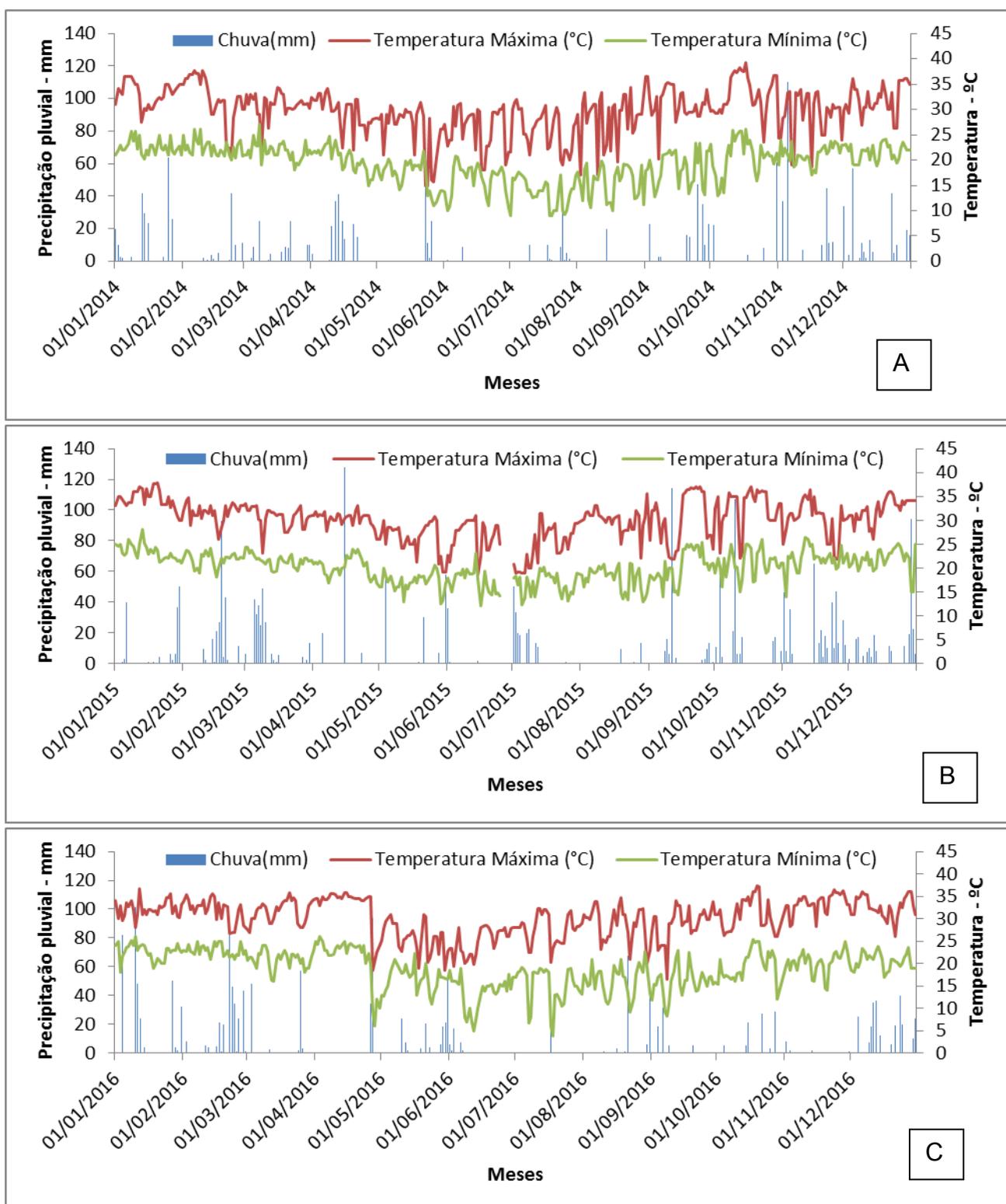
Com o consórcio de plantas que possuem diferentes sistemas radiculares, tem-se melhoria do ambiente do solo e das suas qualidades químicas, físicas e biológicas (CASALI, 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e características climáticas e do solo da área

O experimento foi instalado e conduzido em área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente-SP, em um solo classificado como Argissolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006), entre janeiro de 2014 e abril de 2016. A localização geográfica da área experimental é de latitude 22° 07' S, longitude 51° 27' W e a altitude de 430 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com temperatura média anual de 25°C e regime pluvial caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso de outubro a março e outro de baixo índice pluvial de abril a setembro. A precipitação pluvial, as temperaturas máxima e mínima do período de realização do experimento estão descritos na figura 1.

Figura 2- Precipitação pluvial e temperaturas máxima e mínima no ano de 2014 (A); de 2015 (B); e de 2016 (C).



4.2 Instalação do experimento, tratamentos e delineamento experimental

A área onde foi conduzido o experimento foi preparada mecanicamente pela última vez em 2009, sendo desde então conduzida em SSD, com a rotação de culturas envolvendo milho/tremoço/sorgo. Antes de iniciar o experimento, em outubro de 2013, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm para caracterização das propriedades químicas e físicas (Tabela 1 e 2) e também para a caracterização estrutural do solo (Tabela 3). Foi realizada aplicação de 1200 kg ha⁻¹ de calcário em 27 de dezembro de 2013. O experimento foi instalado em delineamento experimental com blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por três rotações de culturas e as subparcelas por quatro doses de N aplicadas anualmente.

Tabela 1 - Média da análise química de solo para caracterização da área nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm.

Camadas	pH	M.O.	P	S	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(cm)	(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)				----- (mmol _c dm ⁻³) -----					(%)
0-10	4,6	7,2	73,3	3,8	1,2	24	1,9	12	4	18	42	43
10-20	4,3	6,0	48,4	3,9	3,1	25	1,8	10	3	15	40	37
20-40	4,5	4,8	24,2	6,2	2,1	24	2,0	18	5	25	49	51

Tabela 2 - Análise granulométrica do solo antecedente à instalação do experimento, 2013.

Profundidades Cm	Areia total	Silte	Argila	Classe textural
	----- g kg ⁻¹ -----			
0-10	890	49	61	Arenosa
10-20	840	48	112	Arenosa
20-40	833	67	100	Arenosa

Tabela 3 - Análise da densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (mic), macroporosidade (mac) antecedente a instalação do experimento, 2013.

Prof. (cm)	Ds	Pt	Mic	mac
	g kg ⁻¹		-----cm cm ⁻³ -----	
0-10	1,54	0,35	0,22	0,12
10-20	1,61	0,30	0,19	0,11
20-40	1,67	0,30	0,21	0,09

As rotações de culturas utilizadas nas parcelas experimentais foram: I) milho/tremoço branco/soja, onde o milho e soja foram cultivados para produção de grãos e o tremoço foi usado após o milho e antes da soja como adubo verde e planta de cobertura do solo em um SSD; II) milho+braquiária/soja, onde o milho foi cultivado em consórcio com a braquiária, mantendo-se a braquiária após a colheita do milho para produção de palhada; III) braquiária/soja, onde a braquiária foi cultivada solteira na maior parte do ano, e a soja utilizada como única cultura granífera sobre a palhada da forrageira. Na Tabela 4 segue um esquema detalhado do histórico de cultivo de cada sistema nos anos de 2014 a 2016.

Tabela 4 - Esquema de rotações de culturas que compuseram as parcelas experimentais entre os anos de 2014 e 2016.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rotação 1												
2014	M	M	M	M	M	TRE	TRE	TRE	TRE	-	S	S
2015	S	S	S	M	M	M	M	TRE	TRE	TRE	S	S
2016	S	S	S									
Rotação 2												
2014	M+B	M+B	M+B	M+B	M+B	B	B	B	B	-	S	S
2015	S	S	S	M+B	M+B	M+B	M+B	B	B	B	S	S
2016	S	S	S									
Rotação 3												
2014	B	B	B	B	B	B	B	B	B	-	S	S
2015	S	S	S	B	B	B	B	B	B	B	S	S
2016	S	S	S									

Onde: milho (M), tremoço (TRE), soja (S), milho + braquiária (M+B), braquiária (B).

As doses de N utilizadas em subparcelas foram de 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, na fonte sulfato de amônio (210 g kg⁻¹), que foram aplicadas durante o cultivo das plantas nos anos de 2014/2015 e 2015/2016, de acordo com a Tabela 5. Optou-

se em não utilizar um tratamento com ausência de adubação nitrogenada por entender-se que isso não se justifica em se tratando de sistemas de produção agrícola visando a produção de palha e forragem, o que exige pelo menos uma quantidade mínima de N aplicada no sistema.

Tabela 5 - Cronograma de parcelamento das doses de N aplicadas durante o cultivo das espécies vegetais nos anos de 2014 e 2015.

	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
	50	100	150	200
Rotação 1 (milho/tremoço/soja)				
Semeadura do milho	25	25	25	25
Milho com 4 folhas (V4)	0	25	50	75
Milho com 8 folhas (V8)	0	25	50	75
Semeadura do tremoço	25	25	25	25
Rotação 2 (milho+braquiária/braquiária/soja)				
Semeadura do milho	25	25	25	25
Milho com 4 folhas (V4)	0	25	50	75
Milho com 8 folhas (V8)	0	25	50	75
30 dias antes da dessecação da braquiária	25	25	25	25
Rotação 3 (braquiária/soja)				
Semeadura da braquiária	25	25	25	25
30 dias após semeadura da braquiária (DAS)	0	25	50	75
60 DAS	0	25	50	75
30 dias antes da dessecação da braquiária	25	25	25	25

As parcelas experimentais foram demarcadas com 27 metros de comprimento e 6,3 metros de largura e as subparcelas com 6 metros de comprimento e 6,3 metros de largura, deixando 1 m de espaçamento entre as subparcelas dentro de cada parcela, 3 m entre as parcelas dentro de cada bloco e 5 metros entre os blocos.

A instalação do experimento ocorreu em 16 de janeiro de 2014, com a semeadura do milho solteiro, do milho consorciado com a braquiária e da braquiária solteira. Nos tratamentos envolvendo o cultivo de milho, não houve a colheita, em razão da perda da safra por um ataque de capivaras. Foi realizada em 15/05/2014 uma dessecação dos restos culturais do milho solteiro com 5 L ha⁻¹ de glifosato para

a semeadura do tremoço no dia 24/05/2014, no tratamento envolvendo o cultivo dessa leguminosa. O tremoço e a braquiária foram dessecados em 10 de outubro de 2014 e a semeadura da soja ocorreu no dia 06 de novembro. A soja foi colhida em 19 de março de 2015. Em 2015, o milho solteiro, o milho consorciado com a braquiária e a braquiária solteira foram semeados em 23 de março. O milho foi colhido no dia 20 de julho de 2015 e o tremoço semeado em 29 de julho. No dia 2 de outubro de 2015 realizou-se a dessecação em área total para o plantio da soja, que ocorreu no dia 16 de novembro. Utilizou-se nos dois anos do experimento o híbrido de milho AG 5055 e a cultivar de soja BMX Potência RR. A espécie de braquiária utilizada foi a *Urochloa brizantha* (Syn. Braquiária) cv MG5, e a espécie de tremoço foi a *Lupinus albus* (tremoço branco).

A semeadura das espécies vegetais foi realizada mecanicamente, utilizando semeadora para Plantio Direto, equipada com disco de corte da palha. A adubação do milho e da braquiária foram feitas com 250 kg ha⁻¹ de 8-28-16 e da soja foi feita adubação de base com 200 kg ha⁻¹ do fertilizante comercial 4-30-10, no tremoço não foi realizada adubação de semeadura. A adubação nitrogenada inicial nas três rotações foi feita levando em consideração a quantidade de N que já havia sido adicionada com o uso dos adubos comerciais de semeadura.

O milho foi semeado no espaçamento entrelinhas de 0,90 m e com densidade de semeadura para obter uma população de 60 mil plantas por hectare. No consórcio entre milho+braquiária, a forrageira foi semeada em uma única linha, na entrelinha do milho (semeadura simultânea). Assim, como a braquiária consorciada com o milho, a braquiária solteira também foi semeada no espaçamento entrelinhas de 0,90 m, utilizando 6 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis. O tremoço foi semeado no espaçamento entrelinhas de 0,45 m, utilizando 10 kg ha⁻¹ de sementes. A soja também foi semeada no espaçamento entrelinhas de 0,45 m, visando uma população de plantas de 300 mil plantas por hectare.

As sementes de soja foram tratadas com 300 ml do fungicida Vitavax-Thiram 200 SC e 400 ml do inseticida Cropstar, para cada 100 kg de sementes com adição de grafite. As sementes foram inoculadas com o produto Nodofix líquido (*Bradyrhizobium japonicum*), na dose de 100 ml para cada 50 kg de sementes.

O milho foi tratado com 300 ml dos fungicidas Vitavax-Thiram e 1000 ml do inseticida Furadam, para cada 100 kg de sementes. As sementes do Tremoço

Branco foram tratadas com 150 ml para cada 50 kg de sementes do inseticida Standark.

As plantas de tremoço e braquiária foram manejadas quimicamente por meio de dessecante de ação sistêmica, glifosato, na dose de 3 L ha⁻¹ para o Tremoço e 6 L ha⁻¹ para a braquiária, sendo a palhada mantida sobre solo até a semeadura da soja. O tremoço e a braquiária foram manejados 30 dias antes da semeadura da soja. Os tratos culturais como controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados a partir de monitoramento periódico, e foram executados para que as espécies cultivadas apresentassem o máximo de desenvolvimento possível, dentro de critérios técnicos de uso de defensivos agrícolas e manejo cultural. As adubações com K e P foram realizadas de acordo com recomendações de Rajj et al. (1997).

4.3 Avaliações

4.3.1 Coleta de palha antes e após a semeadura da soja

Por ocasião da semeadura da soja e no estágio R7 de desenvolvimento foram feitas coletas de palha sobre o solo, retirando-se três subamostras por unidade experimental, com quadrado de madeira (0,45x0,45m), no espaçamento entre linhas da soja. Os materiais vegetais foram secos em estufa de aeração forçada a 65°C até peso constante e pesados em balanças com precisão de 0,01g e os resultados convertidos em kg ha⁻¹. Em seguida, os materiais foram moídos e submetidos à digestão sulfúrica para determinação do teor de nitrogênio (N) pelo método semimicro Kjeldahl (Malavolta, et al., 1997). Para cálculo da relação C:N da palha utilizou-se o teor médio de carbono (C) de 430 g kg⁻¹, em função de análises preliminares realizadas em analisador elementar CHN LECO TruSpec, no laboratório na FCA/UNESP (Botucatu-SP).

4.3.2 Coleta e análise de solo

O solo foi amostrado antes de iniciar o experimento para caracterização da área (outubro de 2013) e antes da semeadura da soja (novembro) das safras 2014/2015 e 2015/2016, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostras deformadas foram coletadas com trados tipo sonda e acondicionadas

em caixas de papelão. Em seguida foram levadas para o laboratório, onde foram secas ao ar, peneiradas e encaminhadas para análise de fertilidade (RAIJ et al., 2001).

Para as avaliações físicas do solo foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 30 cm de largura por 60 cm de comprimento e 60 cm de profundidade, antes da semeadura da soja da safra 2015/2016. Para determinar a densidade do solo, a macro e a microporosidade e a porosidade total, foram coletadas amostras indeformadas de solo, por meio de anéis volumétricos com 5,0 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro interno, no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, sendo uma amostra por profundidade, utilizando um suporte de aço para os anéis ("castelinho") e marreta de 1 kg. Após a coleta das amostras, ainda no campo, foi retirado o excesso de solo dos bordos dos anéis, com o auxílio de um estilete. Em seguida, os anéis volumétricos foram vedados com tampas plásticas para evitar possíveis danos e deformações, e armazenados em refrigerador a 2 °C, até serem processados.

Para calcular a densidade (D_s), a macroporosidade (mac), a microporosidade (mic) e a porosidade total do solo (P_t), foram utilizados os métodos descritos em EMBRAPA (1997). As amostras não deformadas foram colocadas para saturar em bandejas plásticas com água até 2/3 da altura dos anéis. Para evitar perda de solo, foi colocado um tecido de poliéster, que permite apenas a passagem de água, no fundo de cada anel e fixado com atilho de borracha. Após 48 horas de imersão das amostras, e com todos os poros do solo ocupados pela água, determinou-se a massa da amostra saturada. Em seguida, iniciou-se a drenagem das amostras, submetendo-as de 0,006 MPa em mesa de tensão (KIEHL, 1979). Após a estabilização da drenagem, as amostras foram pesadas novamente e colocadas para secar a 105°C, por 48 horas, em estufa de aeração forçada, para em seguida serem determinados os pesos secos das amostras com volume de solo conhecido. Com a diferença entre a massa das amostras saturadas com água e secas a 105°C, e com volume conhecido das amostras, calculou-se a P_t (EMBRAPA, 1997). Para calcular a D_s , dividiu-se a massa das amostras secas a 105°C pelo volume do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986). A mac e a mic foram determinadas utilizando o teor de água retida nas amostras em equilíbrio com a tensão de 0,006 MPa, considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água retida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de

microporos (EMBRAPA, 1997). Portanto, conhecendo a Pt e a mic foi possível calcular a Mac ($Pt = mac + mic$).

Nas mesmas trincheiras utilizadas para coleta de anéis volumétricos e nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, foram coletados, com auxílio de espátula, monólitos de solo com dimensões aproximadas de 10 cm de altura por 15 cm de comprimento e 10 cm de largura. Os torrões de solo para análise da estabilidade dos agregados foram acondicionados em sacos plásticos, levados ao laboratório e pré-selecionadas em um jogo de peneiras sobrepostas, tendo as peneiras superior e inferior malhas de 8 e 4 mm, respectivamente. Para a avaliação da estabilidade dos agregados utilizou-se a porção que passou pela malha de 8 mm e ficou retida na de 4 mm.

Os agregados do solo pré-selecionados foram avaliados quanto à estabilidade de agregados via seca (EMBRAPA, 1997), utilizando um jogo de peneiras com malhas 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,1 mm, sendo possível calcular a porcentagem de agregados maiores que 2 mm, o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA) (SILVA et al., 2004; MACHADO, 2005; JANZEN, 2005).

4.3.3 Coleta e avaliação do sistema radicular da soja e nodulação

As amostras para caracterizar o desenvolvimento radicular de soja foram coletadas de acordo com equipamentos e metodologia utilizados por Calonego e Rosolem (2010). Foram retiradas três amostras aleatórias por subparcela, nas linhas de semeadura da soja em estágio R5 de desenvolvimento (safras 2014/2015 e 2015/2016). As profundidades de amostragem foram de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, com trados cilíndricos e com volume da amostra conhecido. As raízes foram lavadas com água corrente em peneiras de malha 1,0 mm. As raízes foram separadas de impurezas como folhas e pedras com auxílio de pinças e armazenadas em sacos de papel e levadas para estufa de aeração forçada à temperatura de 60°C para determinação da massa de matéria seca, que foi convertido em $kg\ ha^{-1}$.

Nessa ocasião dez plantas por subparcela foram arrancadas, com auxílio de pá reta e enxadão, preservando ao máximo o sistema radicular, para separação, contagem e determinação da massa seca de nódulos por planta.

4.3.4 Parâmetros de produção e produtividade da soja

Após a maturidade fisiológica da soja, foi realizada a contagem de plantas em 3 linhas de 2 m de comprimento de cada subparcela, para determinação de estande final. Também foram coletadas 10 plantas de cada subparcela para determinação do número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos. Para estimar a produtividade de grãos foram colhidas manualmente as plantas contidas nas duas linhas centrais de cada unidade experimental, descartando 0,5 m de cada extremidade. Após esta operação, as plantas foram trilhadas e os grãos foram pesados. A produtividade de grãos, em kg ha^{-1} , foi calculada corrigindo-se o teor de água para 130 g kg^{-1} .

4.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste Tuckey ao nível de 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Quantidade e qualidade da palha

5.1.1 Antes da semeadura da soja

Nas avaliações da palha realizadas antes da semeadura da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 não ocorreram interações significativas entre os fatores de variação. Os sistemas de produção influenciaram isoladamente tanto a quantidade de matéria seca como o teor de N na palha. E as doses de N influenciaram apenas na produção de matéria seca de palha. Já na avaliação da palhada realizada antes da semeadura da soja da safra 2015/2016 houve efeito apenas do sistema de produção para os resultados de massa de matéria seca (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de F calculados pela análise de variância para as avaliações de quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N), e relação C/N da palha depositada sobre o solo antes da semeadura da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de variação	MS	N-total	C/N
Ano – 2014/2015			
Sistemas (S)	20,971**	106,253**	32,632**
Doses de N (D)	2,740*	0,523 ^{ns}	0,866 ^{ns}
S x D	1,253 ^{ns}	2,328 ^{ns}	2,804 ^{ns}
CV (%) _s	43,32	16,28	24,77
CV (%) _d	39,13	10,12	14,43
Ano – 2015/2016			
Sistemas (S)	5,914*	3,809 ^{ns}	3,150 ^{ns}
Doses de N (D)	0,073 ^{ns}	1,466 ^{ns}	1,871 ^{ns}
S x D	1,778 ^{ns}	0,935 ^{ns}	1,527 ^{ns}
CV (%) _s	42,11	33,82	26,91
CV (%) _d	36,71	30,78	22,22

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Independente das doses de N, no primeiro ano de avaliação os sistemas envolvendo o cultivo de braquiária promoveram maior quantidade de palha sobre o solo no momento da semeadura da soja (Tabela 7), comprovando a capacidade desta forrageira em produzir MS para cobertura de solos nos sistemas de produção (KLUTHCOUSKI et al., 2003; CRUSCIOL; BORGHI, 2007; AIDAR;

KLUTHCOUSKI, 2003; GARCIA, 2010). Mesmo sendo uma palhada com menor teor de N em relação à palha do tremoço, as quantidades de N aportadas nos sistemas com braquiária solteira e consorciada, 97 e 126 kg ha⁻¹, foram 62% e 25% superiores ao sistema com tremoço como planta de cobertura. Já no segundo ano de avaliação, a produtividade de palha foi prejudicada pela semeadura mais tardia das plantas de cobertura (março de 2015) e pela menor incidência de chuva durante o cultivo de entressafra. Apesar disso, a produção de palha com o cultivo de braquiária solteiro foi superior ao sistema com cultivo de tremoço (Tabela 7). Nesse ano os teores de N na palha não diferiram entre os sistemas de produção, e quantidade de N aportada foi similar entre os tratamentos, com 23, 18 e 18 kg ha⁻¹ nos sistemas com braquiária solteira, milho+braquiária e tremoço, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N-total) e relação carbono/nitrogênio C/N da palha depositada sobre o solo antes da semeadura da soja, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Sistemas ⁽²⁾	MS	N-total	C/N
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
Ano – 2014/ 2015			
Tremoço	2906 b	26,7 a	16,0 b
M + B	6983 a	13,9 b	32,4 a
Braquiária	9070 a	13,9 b	33,0 a
Doses de N⁽¹⁾			
50	4865 b	17,8 a	27,9 a
100	6081 ab	17,6 a	27,5 a
150	6627 ab	18,4 a	25,6 a
200	7706 a	18,1 a	27,6 a
Ano – 2015/2016			
Sistemas⁽²⁾			
Tremoço	1268 b	14,3 a	33 a
M + B	1590 ab	11,0 a	40 a
Braquiária	2109 a	10,7 a	41 a
Doses de N⁽¹⁾			
50	1654 a	12,1 a	37 a
100	1628 a	13,4 a	35 a
150	1723 a	12,2 a	37 a
200	1618 a	10,3 a	43 a

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De forma similar para todos os sistemas de produção testados, no primeiro ano avaliado, observou-se maior produtividade de MS nas parcelas que utilizaram as doses de 200 kg de N ha⁻¹, em relação à menor dose (50 kg ha⁻¹), demonstrando que a adubação nitrogenada tem efeito positivo para a produção de MS nos sistemas de produção, porém sem afetar o teor de N e a relação C/N da palha. (Tabela 7). Porém, esse comportamento não foi verificado no segundo ano de avaliação, provavelmente devido à menor incidência e regularidade das chuvas durante o ano. É importante ressaltar que a semeadura das plantas de cobertura do segundo ano agrícola ocorreu já no final da estação chuvosa, ou seja, no mês de março de 2015, prejudicando a produção de fitomassa em relação ao primeiro ano.

5.1.2 No momento da colheita da soja

Na avaliação da palhada residual, ou seja, aquela presente na superfície do solo no momento da colheita da soja, não se verificou, em ambos os anos avaliados, interação significativa entre os sistemas de produção e doses de N para os parâmetros analisados. Observou-se efeito isolado dos sistemas de produção e das doses de N para a massa de matéria seca no primeiro ano, e novamente efeito dos sistemas de produção para a massa de matéria seca de palha no segundo ano (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de F calculados pela análise de variância para as avaliações de quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N), e relação C/N da palha depositada sobre o solo no momento da colheita da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de variação	MS	N-total	C/N
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
Ano – 2014/ 2015			
Sistemas (S)	7,452*	2,159 ^{ns}	1,267 ^{ns}
Doses de N (D)	3,632*	0,886 ^{ns}	0,635 ^{ns}
S x D	1,523 ^{ns}	1,675 ^{ns}	1,513 ^{ns}
CV (%) _s	44,43	26,61	26,78
CV (%) _d	42,79	24,03	20,83
Ano – 2015/2016			
Sistemas (S)	34,164**	0,073 ^{ns}	0,393 ^{ns}
Doses de N (D)	1,422 ^{ns}	1,826 ^{ns}	1,379 ^{ns}
S x D	12,665 ^{ns}	2,414 ^{ns}	1,596 ^{ns}
CV (%) _s	23,71	29,58	28,07

CV (%)_d 38,78 26,39 30,74

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

No primeiro ano do experimento, a persistência da palha durante o cultivo da soja foi semelhante entre os tratamentos, ou seja, entre 30 e 35%. Assim como observado na avaliação de palhada antes da semeadura da soja do primeiro ano, na avaliação no momento da colheita os sistemas que utilizaram braquiária mantiveram a maior quantidade de palha na superfície do solo (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantidade de matéria seca (MS), nitrogênio (N-total), e relação C/N da palha depositada sobre o solo no momento da colheita da soja, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Sistemas ⁽²⁾	MS	N-total	C/N
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
Ano – 2014/2015			
Tremoço	1061 b	18,1 a	25 a
M + B	2521 a	15,2 a	29 a
Braquiária	2809 a	15,4 a	28 a
Doses de N⁽¹⁾			
50	1612 b	17,8 a	26 a
100	1890 ab	15,8 a	28 a
150	2244 ab	16,0 a	27 a
200	2775 a	15,4 a	29 a
Ano – 2015/2016			
Sistemas⁽²⁾			
Tremoço	576 c	10,6 a	44 a
M + B	1199 a	10,9 a	41 a
Braquiária	927 b	10,5 a	45 a
Doses de N⁽¹⁾			
50	978 a	12,0 a	37 a
100	964 a	10,9 a	43 a
150	722 a	10,3 a	47 a
200	940 a	9,4 a	46 a

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

É importante ressaltar que nesse primeiro ano do experimento, que foi o que proporcionou maior produção de palha pelas plantas de cobertura, a quantidade liberada de N da palhada durante o ciclo da soja foi de 58, 59 e 83 kg ha⁻¹ para os tratamentos com tremoço, milho+braquiária e braquiária solteira, evidenciando que as plantas forrageiras, além de serem excelentes opções para cobertura e proteção do solo, também tem potencial para disponibilizar N para as culturas sucessoras. No segundo ano do experimento, devido à maior relação C/N

dos resíduos produzidos em relação aos resíduos do primeiro ano, a persistência da palha foi maior, em torno de 45% para a palha dos tratamentos com tremoço e braquiária solteira e de 75% para o tratamento com milho+braquiária. A menor produção de palha e a maior persistência da mesma nesse segundo ano de avaliação proporcionou reduzida disponibilização de N pelos resíduos vegetais, ou seja, de 12, 4 e 13 kg ha⁻¹ para os tratamentos com tremoço, milho+braquiária e braquiária solteira, respectivamente.

De acordo com Cantarella (2007), a rapidez na disponibilização do N proveniente dos restos vegetais de cultivos de cobertura depende de vários fatores, dos quais os mais importantes são a quantidade de N acumulada na matéria seca e a relação C:N da palha. Mesmo quando se utiliza a soja, que é conhecidamente uma planta com alta eficiência de fixação biológica de N (HUNGRIA et al., 1994), essa fonte de N pode suprir em torno de 85% da demanda da planta (ALVES et al., 2006). Portanto, a disponibilização de N pelos restos culturais da cultura antecessora, a tempo de serem absorvidos pela soja, pode ser um diferencial para ganhos de produtividade, pois, é o elemento mais requerido pela cultura da soja. Estima-se que sejam necessários 83 kg de N para produzir 1000 kg de grãos de soja (51 kg de N para os grãos e 32 kg para as demais partes da planta) (EMBRAPA, 2013). Consequentemente para se atingir a produtividade média de 3382 kg ha⁻¹ (média no Brasil na safra 2017/2018, segundo CONAB, 2018, serão necessários 280 kg de N, sendo 234 kg ha⁻¹ oriundo da FBN e 46 kg ha⁻¹ de outras fontes.

Quanto ao efeito das doses de N no primeiro ano do experimento, a maior dose, ou seja, de 200 kg ha⁻¹, proporcionou maior massa de matéria seca, no momento da colheita da soja, em relação à menor dose (50 kg ha⁻¹), não diferindo em relação às demais doses (Tabela 9). As diferenças entre a quantidade de N acumulada na palha na semeadura e na colheita da soja foram de 58, 77, 86 e 97 kg ha⁻¹, para as doses de 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N.

5.2 Matéria orgânica do solo

No primeiro ano de avaliação da matéria orgânica do solo houve interação significativa entre os sistemas de produção e doses de N para os resultados de M.O. na camada de 0 a 10 cm. Os sistemas de manejo influenciaram no teor de M.O. na camada de 20-40 cm, independentemente da dose de N utilizada

(Tabela 10). Estudos realizados por Ensinas et al. (2015) e Freitas et al. (2016) também demonstraram que a utilização do consórcio milho-braquiária é uma excelente alternativa para o incremento e manutenção da matéria orgânica sobre o solo em SSD.

Tabela 10 - Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de matéria orgânica (M.O.), referente à análise química do solo em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) nos anos agrícolas 2014-2015 e 205-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas da Variação	M.O.			
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Ano - 2015/2016				
Sistemas (S)	8,05314*	0,232 ^{ns}	7,083*	1,729 ^{ns}
Doses de N (D)	0,181 ^{ns}	1,897 ^{ns}	2,502 ^{ns}	1,084 ^{ns}
S x D	3,653**	1,837 ^{ns}	2,262 ^{ns}	2,168 ^{ns}
CVs (%)	13,27	26,13	19,08	16,08
CV _D (%)	13,52	12,87	11,63	10,58
Ano - 2015/2016				
Sistemas (S)	2,050 ^{ns}	0,484 ^{ns}	0,667 ^{ns}	0,188 ^{ns}
Doses de N (D)	1,589 ^{ns}	1,660 ^{ns}	1,334 ^{ns}	1,148 ^{ns}
S x D	1,770 ^{ns}	1,198 ^{ns}	0,518 ^{ns}	0,649 ^{ns}
CVs (%)	34,03	21,86	24,65	33,42
CV _D (%)	22,73	15,74	15,46	13,00

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

No ano agrícola 2015-2016 não houve resposta significativa dos sistemas de produção e doses de N nos teores de MO, evidenciando a dificuldade de incremento de MO em regiões de clima tropical e com solos arenosos. Ruedell (1998) e Bayer et al. (2000) sugerem adição de palha em torno de 6.000 kg ha⁻¹ a 12.000 kg ha⁻¹ para regiões Sul do Brasil, enquanto em regiões de cerrado segundo Pariz et al. (2011), em razão da rápida decomposição dos resíduos, o aporte pode ultrapassar essas quantidades. Um ajuste no tipo de forrageira a ser utilizada pode ser necessário, estudos realizados por Costa et al. (2015), em Ilha Solteira, comparando a produtividade de massa seca do sorgo, milho e braquiária, em SSD encontrou melhor resultado para a cultura do sorgo, bastante adaptada a regiões onde existe uma distribuição irregular de chuva, como no Oeste Paulista.

Importante salientar que embora resultados mais positivos não tenham sido encontrados neste experimento, o caminho para um solo mais estruturado é

utilizando as rotações com gramíneas, pois resultados positivos foram observados por Castro et al. (2017), que em experimento conduzido por 5 ciclos de rotação de culturas, observou que as rotações que utilizaram culturas forrageiras no período de entressafra melhoraram várias propriedades físicas do solo.

Esperava-se que neste estudo, os tratamentos com maior aporte de C e N favorecesse o incremento de MO, nos dois anos de experimento, mas isso não se confirmou. Houve uma resposta apenas no primeiro ano para o aumento da M.O. nos sistemas com maior aporte de palha (C), mas não houve resposta ao N. O pouco tempo de experimento, o solo arenoso de difícil manejo para adição e proteção da MO no solo, e o clima tropical, que acelera a decomposição da MO, dificultam o manejo. Além disso, no segundo ano a produção de palha foi muito baixa, o que fez com que os teores de MO diminuíssem em relação ao primeiro ano.

Tabela 11 - Resultados da análise de química do solo para matéria orgânica (M.O.), em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de Variação	M.O. (g dm ⁻³)			
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Ano – 2014/2015				
Sistemas⁽²⁾				
Tremoço	9,49 b	8,8 a	6,7 b	6,9 a
M + B	11,4 a	9,2 a	8,3 a	7,0 a
Braquiária	10,7 ab	8,7 a	6,8 b	6,4 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	10,5 a	9,2 a	7,8 a	6,5 a
100	10,7 a	8,4 a	7,2 a	6,7 a
150	10,4 a	9,4 a	7,0 a	6,9 a
200	10,3 a	8,7 a	7,0 a	6,9 a
Ano – 2015/2016				
Sistemas⁽²⁾				
Tremoço	8,0 a	5,3 a	4,3 a	4,2 a
M + B	7,9 a	5,7 a	4,7 a	4,3 a
Braquiária	6,4 a	5,5 a	4,5 a	4,5 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	7,0 a	5,1 a	4,7 a	4,5 a
100	6,9 a	5,3 a	4,2 a	4,4 a
150	7,8 a	5,8 a	4,5 a	4,3 a
200	8,1 a	5,7 a	4,6 a	4,1 a

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de química do solo para matéria orgânica (MO), na profundidade 0-10cm em coleta de solo realizada no ano agrícola de 2014-2015.

Doses de N ⁽¹⁾	Sistemas de Produção ⁽²⁾		
	TRE	M+B	B
	MO (g dm⁻³) – 0-10 cm – 2014/2015		
50	10,6 a A	10,5 a A	10,6 a AB
100	9,5 a A	11,4 a A	11,4 a AB
150	9,5 b A	13,0 a A	8,9 b B
200	8,3 b A	10,8 ab A	11,9 a A

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹ aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha; TRE= milho/tremoço; M+B = milho + braquiária; B = braquiária. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3 Física do solo

Houve resposta significativa para microporosidade nos sistemas de produção nas camadas 0-10 cm e 20-40 cm e para doses de N apenas na camada 0-10 cm (Tabela 13). Com relação à agregação de solo, somente a variável %>2mm foi influenciada pela interação entre doses de N e sistemas de produção nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm (Tabelas 15 e 17).

O desempenho superior para microporosidade do sistema que utilizou a rotação milho/braquiária na camada 0-10 cm e da rotação com braquiária solteira pode ser explicado pelo aumento dos teores de MO observados com esses tratamentos (Tabela 10) (GARDNER et al., 1999). O mesmo é observado para a %>2mm onde as interações entre doses de N e sistemas que utilizaram braquiária em sua rotação foram superiores, demonstrando o efeito positivo das pastagens na agregação de partícula de solo, visto que estas gramíneas possuem sistema radicular agressivo (TROLEIS et al., 2017), e com potencial estruturador do solo (SILVA et al, 2005; SALTON et al., 2008). Além da ação cimentante e aglutinadora das mucilagens e da matéria orgânica sobre as partículas minerais (MARTINS et al., 2009), as raízes promovem aproximação e coesão entre as partículas sólidas por meio de pressões biofísicas (axial e radial) e também pelo secamento na região

adjacente às raízes, resultando em um solo com maior estado de floculação (GARDNER et al., 1999)

A ausência de alterações significativas para as demais variáveis analisadas pode ter ocorrido em razão do pouco tempo de adoção de manejo conservacionista na área onde o experimento foi realizado.. Havendo uma acomodação das partículas de solos e uma estruturação adequada, não sendo possível em dois anos de avaliação obter modificações visíveis na estrutura de solo (SILVA et al., 2005). Segundo Blanco-Canqui et al. (2010), dois anos de avaliações em se tratando da física do solo, é um período de tempo relativamente curto para serem observadas modificações profundas, que deverão ocorrer a médio e longo prazo no perfil do solo.

Melhores resultados com relação à agregação de solo não foram encontrados por não terem ocorrido grandes modificações no teor de MO nos dois anos de experimento, pois de acordo com Franzluebbbers (2002) e Calonego e Rosolem (2008), a MO é responsável pela maior estruturação do solo contribuindo para a formação de agregados estáveis. As condições de clima desta região com baixos índices pluviométricos nas estações de outono-inverno e altas temperaturas e umidade do verão, que dificultam o acúmulo de MO no solo, também contribuem para a demora de resultados mais expressivos na agregação das partículas de solo.

Calonego et al. (2017), em experimento de longa duração comparando os efeitos da escarificação e das culturas de cobertura na melhora da estrutura de solo, foi observado o efeito positivo das culturas de cobertura no aumento da macroporosidade e redução da densidade, com efeitos da crotalaria e do milheto até as profundidades de 20 a 60 cm, respectivamente. Segundo os autores, o efeito da escarificação, apesar de imediato, são efêmeros e pouco duradouros, ao passo que as plantas de cobertura, apresentam um efeito a médio e longo prazo, e em camadas mais profundas.

Apesar de não ter havido influência dos sistemas de produção e das doses de N na densidade do solo, a área do presente experimento não estava compactada, pois segundo Fageria et al. (1999) a densidade da camada superficial da maioria dos solos varia de 1 a 1,6 g cm⁻³, valores similares aos observados no presente experimento.

Importante notar que existe uma uniformidade das médias nas profundidades analisadas, indicando que os sistemas de produção não adensaram

as camadas superficiais de solo em razão do trânsito de máquinas, consequência bastante comum na adoção de sistemas conservacionistas (TORMENA et al. 2002). As principais causas da compactação em sistemas sem revolvimento do solo e em pastagens, como trânsito de máquinas e pisoterio de animais, mostram seus reflexos na camada superficial do solo (CALONEGO et al., 2011), o que não se observa no presente experimento, demonstrando uma estabilidade dos sistemas de produção avaliados. Diferenças na agregação de partículas podem ser observadas em comparações entre sistemas de produção conservacionistas e convencionais, onde os sistemas convencionais tendem a apresentar melhor resultado para este quesito, que não se reflete na produtividade e não persiste no tempo.

Tabela 13 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporos (mic), macroporos (mac) nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, ano agrícola 2015-2016 em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de variação	Ds	Pt	mic	mac
0-10 cm				
Sistemas (S)	0,263 ^{ns}	2,069 ^{ns}	6,267*	2,179 ^{ns}
Doses de N (D)	0,389 ^{ns}	0,237 ^{ns}	3,471*	0,296 ^{ns}
S x D	0,420 ^{ns}	1,358 ^{ns}	1,489 ^{ns}	0,662 ^{ns}
CVs (%)	6,22	11,82	8,38	36,17
CVd (%)	11,66	12,61	14,88	37,48
10-20 cm				
Sistemas (S)	1,690 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,820 ^{ns}	1,668 ^{ns}
Doses de N (D)	0,730 ^{ns}	0,819 ^{ns}	0,785 ^{ns}	1,591 ^{ns}
S x D	1,013 ^{ns}	1,289 ^{ns}	1,290 ^{ns}	1,495 ^{ns}
CVs (%)	12,67	17,53	16,05	41,94
CVd (%)	13,94	15,50	15,83	37,09
20-40 cm				
Sistemas (S)	0,089 ^{ns}	1,427 ^{ns}	10,077*	2,239 ^{ns}
Doses de N (D)	2,453 ^{ns}	0,601 ^{ns}	0,995 ^{ns}	1,639 ^{ns}
S x D	0,177 ^{ns}	0,391 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,413 ^{ns}
CVs (%)	4,63	10,57	14,53	44,48
CVd (%)	4,80	10,88	15,42	35,46
40-60 cm				
Sistemas (S)	2,875 ^{ns}	3,689 ^{ns}	2,676 ^{ns}	5,021 ^{ns}
Doses de N (D)	0,436 ^{ns}	0,442 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,629 ^{ns}
S x D	0,829 ^{ns}	0,468 ^{ns}	0,927 ^{ns}	0,607 ^{ns}
CVs (%)	6,45	10,59	9,84	24,86
CVd (%)	4,27	7,95	7,98	36,09

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 14 - Resultados da análise de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporos (mic), macroporos (mac) nas profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, no ano agrícola 2015-2016, em função dos sistemas e das doses de N utilizadas.

	Ds	Pt	mic	mac
	g kg ⁻¹		cm cm ⁻³	
Sistemas⁽²⁾				
0-10 cm				
Tremoço	1,54 a	0,33 a	0,19 ab	0,15 a
M + B	1,52 a	0,34 a	0,21 a	0,13 a
Braquiária	1,55 a	0,31 a	0,19 b	0,12 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	1,49 a	0,33 a	0,18 b	0,14 a
100	1,53 a	0,32 a	0,19 ab	0,13 a
150	1,56 a	0,33 a	0,22 a	0,13 a
200	1,56 a	0,33 a	0,19 ab	0,14 a
Sistemas⁽²⁾				
10-20 cm				
Tremoço	1,50 a	0,27 a	0,22 a	0,04 a
M + B	1,60 a	0,28 a	0,24 a	0,03 a
Braquiária	1,63 a	0,27 a	0,24 a	0,03 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	1,61 a	0,28 a	0,23 a	0,04 a
100	1,58 a	0,28 a	0,24 a	0,03 a
150	1,50 a	0,26 a	0,22 a	0,03 a
200	1,61 a	0,28 a	0,23 a	0,04 a
Sistemas⁽²⁾				
20-40 cm				
Tremoço	1,63 a	0,28 a	0,18 b	0,10 a
M + B	1,62 a	0,27 a	0,18 b	0,09 a
Braquiária	1,62 a	0,29 a	0,22 a	0,07 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	1,61 a	0,29 a	0,20 a	0,08 a
100	1,58 a	0,28 a	0,18 a	0,10 a
150	1,63 a	0,28 a	0,20 a	0,08 a
200	1,66 a	0,27 a	0,19 a	0,07 a
Sistemas⁽²⁾				
40-60 cm				
Tremoço	1,63 a	0,28 a	0,23 a	0,04 a
M + B	1,60 a	0,29 a	0,25 a	0,04 a
Braquiária	1,55 a	0,31 a	0,25 a	0,05 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	1,57 a	0,30 a	0,25 a	0,05 a
100	1,60 a	0,29 a	0,25 a	0,04 a
150	1,60 a	0,29 a	0,25 a	0,04 a
200	1,60 a	0,29 a	0,24 a	0,04 a

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente entre si; foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15 - Valores de F calculados pela análise de variância de %>2mm, DMP (diâmetro médio ponderado), DMG (diâmetro médio geométrico) e IEA (índice de estabilidade de agregados) dos agregados nas profundidades 0-10cm e 10-20cm, no ano agrícola de 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas da Variação	%>2mm	DMP	DMG	IEA
		0 – 10 cm		
Sistemas (rotações)	5,089 ^{ns}	3,929 ^{ns}	1,131 ^{ns}	4,387 ^{ns}
Doses de N	4,697**	1,100 ^{ns}	1,515 ^{ns}	1,676 ^{ns}
Sistemas x Doses	9,962**	1,623 ^{ns}	1,874 ^{ns}	0,261 ^{ns}
CVs (%)	35,83	20,97	29,54	4,92
CVd (%)	35,47	17,39	31,41	5,77
10 – 20 cm				
Sistemas (rotações)	0,820 ^{ns}	1,046 ^{ns}	1,847 ^{ns}	2,593 ^{ns}
Doses de N	1,251 ^{ns}	0,368 ^{ns}	0,442 ^{ns}	0,726 ^{ns}
Sistemas x Doses	3,120*	0,400 ^{ns}	0,751 ^{ns}	1,010 ^{ns}
CVs (%)	31,17	37,71	22,52	9,02
CVd (%)	37,59	27,87	16,46	6,21

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 16 - Resultados de porcentagem de agregados maiores que 2 mm (%>2mm), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) dos agregados nas profundidades 0-10cm e 10-20cm, no ano agrícola de 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Sistemas ⁽²⁾	%>2mm (%)	DMP	DMG	IEA
		----- (mm) -----		
Profundidade 0 – 10 cm				
Tremoço	1,03 a	0,23 a	0,15 a	53,65 a
Milho + Braquiária	1,87 a	0,28 a	0,17 a	51,34 a
Braquiária	1,03 a	0,24 a	0,18 a	53,74 a
Doses de N ⁽¹⁾				
50	1,64 a	0,24 a	0,17 a	52,86 a
100	1,32 ab	0,25 a	0,16 a	54,12 a
150	1,36 ab	0,27 a	0,15 a	51,39 a
200	0,93 b	0,24 a	0,19 a	53,26 a
Profundidade 10 -20 cm				
Sistemas ⁽²⁾				
Tremoço	1,80 a	0,27 a	0,16 a	54,01 a
Milho + Braquiária	1,65 a	0,24 a	0,16 a	53,94 a
Braquiária	1,50 a	0,29 a	0,19 a	57,44 a
Doses de N ⁽¹⁾				
50	1,21 a	0,28 a	0,17 a	56,22 a
100	1,57 a	0,28 a	0,17 a	55,33 a
150	2,08 a	0,25 a	0,18 a	54,65 a
200	1,74 a	0,27 a	0,16 a	54,32 a

⁽¹⁾ Doses de N, em Kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de produção envolvendo espécies para produção de palha. Tremoço = Milho/tremoço; M+B = milho+braquiária; B = braquiária. As médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada fator de variação e em cada profundidade, não diferem estatisticamente entre si pelo teste

de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados de Porcentagem de agregados maiores que 2 mm ($\%>2\text{mm}$) nas profundidades 0-10cm e 10-20 cm em coletas de solo realizadas no ano agrícola de 2015-2016.

Doses de N ⁽¹⁾	Sistemas de Produção ⁽²⁾		
	TER	M+B	B
$\%> 2\text{mm}$ - profundidade 0-10 cm			
50	0,67 b A	3,41 a A	0,84 b A
100	1,22 a A	1,75 a B	0,98 a A
150	1,13 a A	1,56 a BC	1,39 a A
200	1,11 a A	0,79 a C	0,90 a A
$\%> 2\text{mm}$ - profundidade 10-20 cm			
50	1,29 a A	1,61 a A	0,72 a B
100	2,83 a A	1,28 ab A	0,61 b B
150	1,74 a A	2,78 a A	1,71 a AB
200	1,36 ab A	0,92 b A	2,95 a A

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha^{-1} , aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha; TER = milho/tremoço; M+B = milho+ braquiária; B = braquiária. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade.

5.4 Nodulação da Soja

Não houve diferença estatística significativa para o número de nódulos por planta e sua massa, nos dois anos de avaliação (Tabela 18). Embora não exista diferença estatística entre os tratamentos, a nodulação das plantas de soja ocorreu de forma eficiente, pois foram observados no presente experimento valores superiores aqueles encontrados por Araújo e Hungria (1999) em teste de nodulação com a inoculação da soja com várias estirpes de *Bradyrhizobium* e *Bacillus subtilis*. Valores parecidos também foram observados em experimento realizado por Lobo et al. (2012) ao testarem doses de lodo de esgoto e inoculação com *Bradyrhizobium*.

Segundo Hungria et al. (2001), na época do florescimento, uma planta de soja bem nodulada deve conter entre 15 e 30 nódulos ou 100 a 200 mg de nódulos secos por planta. Os autores acrescentam que a soja é bastante sensível aos fertilizantes nitrogenados, podendo haver redução de nodulação mesmo em doses baixas de N, como no caso de 20 kg ha^{-1} , aplicados no sulco de semeadura

por exemplo, resultando em perdas de produtividade. No caso desse experimento, não houve redução da nodulação com o aumento das doses de N no sistema de produção, provavelmente por não ter sido aplicado o N diretamente na cultura da soja.

Mendes et al. (2008) ao realizarem estudos sobre o efeito da adubação nitrogenada no pré-florescimento e no enchimento de grãos sobre a produtividade de soja e sua nodulação, concluíram que a dose de 200 kg ha⁻¹ de N influenciou negativamente a nodulação da soja e as outras doses estudadas não representaram ganho econômico para os produtores. O mesmo não se confirmou no presente experimento, muito provavelmente em razão da adubação nitrogenada ter sido realizada no sistema e não nos estádios de desenvolvimento da soja.

Estudos realizados por Imansade e Schmidt (1999) encontraram efeito positivo da adição de nitrogênio na produção de grãos e consideram importante a adição de N ou formas de manejo que proporcionem maior disponibilidade de N para as plantas. Entretanto, este entendimento não é pacífico na doutrina, visto que outros autores discordam destas constatações (KOUTROUBAS et al, 1998).

Fagan et al. (2007) em revisão de literatura sobre o tema fixação biológica de nitrogênio pela soja em suas considerações finais sugerem que técnicas de manejo, como a adubação nitrogenada, com intuito de buscar equilíbrio entre a adição de N e a fixação biológica são importantes em vista do volume financeiro envolvido nestes dois mercados de insumos (adubo nitrogenado e inoculantes).

Tabela 18 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de nódulos/planta e massa nódulos/planta da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de variação	Nódulos/planta		massa nódulos/planta	
	Ano 2014-2015			
Sistemas (S)	2,895 ^{ns}		1,223 ^{ns}	
Doses (D)	0,805 ^{ns}		0,286 ^{ns}	
S x D	0,493 ^{ns}		0,387 ^{ns}	
CV% _s	31,62		33,72	
CV% _d	32,92		33,35	
Ano 2015-2016				
Sistemas (S)	2,612 ^{ns}		1,760 ^{ns}	
Doses (D)	1,287 ^{ns}		0,465 ^{ns}	
S x D	0,391 ^{ns}		0,552 ^{ns}	
CV% _s	39,60		32,41	
CV% _d	31,64		33,35	

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 19 - Resultados análise de variância para análise de nódulos/planta e massa nódulos/planta da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Sistemas ⁽²⁾	Ano 2014-2015	
	Nódulos planta ⁻¹	Massa nódulos/planta g planta ⁻¹
Tremoço	51 a	0,670 a
M + B	79 a	0,550 a
Braquiária	76 a	0,544 a
Doses de N⁽¹⁾		
50	64 a	0,542 a
100	67 a	0,615 a
150	77 a	0,603 a
200	67 a	0,592 a
Ano 2015-2014		
Sistemas⁽²⁾		
Tremoço	61 a	0,795 a
M + B	91 a	0,633 a
Braquiária	87 a	0,624 a
Doses de N⁽¹⁾		
50	73 a	0,623 a
100	77 a	0,705 a
150	92 a	0,727 a
200	77 a	0,681 a

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.5 Raiz da Soja

Foram analisadas para a variável massa seca de raiz de soja quatro profundidades, observando-se resposta significativa no ano agrícola 2014-2015 para sistemas de produção na profundidade 10-20 cm, doses de N na profundidade 20-40 cm e interação entre sistemas de produção e doses de N nas profundidades 0-10, 20-40 e 40-60 cm (Tabela 20). No segundo ano avaliado, apenas os sistemas de produção apresentaram resposta significativa nas camadas 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

De uma forma geral, no ano 2014/2015, no perfil de solo avaliado, de 0 a 60 cm de profundidade, a maior concentração de raízes de soja ocorreu na camada de 0-10 cm, com uma porcentagem superior a 80% do total de raízes obtidas. Na última camada avaliada, ou seja, na profundidade de 40 a 60 cm, a porcentagem de raízes de soja encontrada não ultrapassou 6% do total de raízes.

Na comparação de doses de N dentro de cada sistema de rotação, observou-se efeito de doses para a produção de raízes de soja apenas nos sistemas com M+B e B solteira. Na camada de 0-10 cm, quando utilizou-se o consórcio M+B obteve-se maior produção de raízes nas doses de 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, em relação à dose de 100 kg ha⁻¹, porém, sem diferir estatisticamente da dose de 50 kg ha⁻¹. Nessa mesma camada, no sistema com braquiária solteira obteve-se maior produção de raízes com menores doses de N, ou seja, com 50 e 100 kg ha⁻¹, em relação à maior dose, de 200 kg ha⁻¹, porém, sem diferir da dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Na camada de 20 a 40 cm de profundidade, apenas para o sistema com braquiária solteira houve efeito das doses de N, com maior produção de raízes na dose de 200 kg ha⁻¹. Já na camada mais profunda, de 40 a 60 cm, tanto no sistema com consórcio entre milho e braquiária, como no sistema com milho solteiro, houve uma redução na produção de raízes com a dose de 150 kg ha⁻¹ de N, sendo que para esse último sistema não houve diferença estatística na produção de raízes entre as doses de 50 e 150 kg ha⁻¹ de N, apesar da produção com a dose de 150 kg ha⁻¹ ter sido 337% maior.

Na comparação de sistemas de rotação dentro de cada dose de N, na camada de 0 a 10 cm de profundidade não houve diferença na produção de raízes entre os sistemas de rotação com a dose de 50 kg ha⁻¹ de N. Já com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N a maior produção de raízes de soja ocorreu com o sistema envolvendo

o cultivo de braquiária solteira. Com as doses maiores, de 150 e 200 kg ha⁻¹, o sistema com consórcio entre milho e braquiária resultou em maior produção de raízes, não havendo diferença estatística entre para o sistema com braquiária solteira na dose de 150 kg de N. Na camada de 20 a 40 cm, apenas na dose de 200 kg ha⁻¹ houve efeito do sistema de rotação de culturas na produção de raízes de soja, sendo a maior produção no sistema com cultivo solteiro de braquiária. Na camada mais profunda, 40 a 60 cm, com a menor dose de N, 50 kg ha⁻¹, a maior produção de raízes de soja foi obtida em sucessão ao consórcio entre milho e braquiária, sem diferir estatisticamente do sistema com braquiária solteira. Já com uma dose mais elevada, ou seja, com 150 kg ha⁻¹, a maior produção de raízes de soja ocorreu em sucessão ao tremoço.

No segundo ano de avaliações, o sistema com braquiária solteira apresenta diferença estatística quando comparado aos demais, nas camadas abaixo de 10 cm. De uma forma geral, a distribuição das raízes foi diferente, ficando 40% das raízes na profundidade 0-10 cm e o restante distribuído igualmente nas outras três camadas, indicando maior quantidade de raízes nas profundidades inferiores, possivelmente em razão de períodos de déficit hídrico, que promovem um crescimento das raízes em profundidade, na tentativa de encontrar água. Gonçalves et al. (2017) em estudo sobre estresse hídrico em cultivares de soja observou que o estresse hídrico no estágio vegetativo provocou uma diminuição na angulação média de todas as raízes dos genótipos, tornando-as menos superficiais, numa tentativa de a raiz ficar mais profunda em busca de água.

Importante mencionar Passioura (1983) que relata um entendimento comum em estudos para a tolerância à seca, de que quanto mais raiz a planta possui, mais é tolerante a seca. No entanto ele questiona essa lógica, uma vez que o rendimento da cultura está muito relacionado com o momento em que a planta absorve água e não necessariamente com a quantidade. Destaca ainda que numa condição de seca a planta tende a gastar uma quantidade grande de assimilados para produção de raiz, deixando de empregar na produção de grãos. No caso do presente experimento, a baixa produtividade no segundo ano avaliado está relacionado a má distribuição das chuvas que influenciou no bom desempenho da planta, que não reverteu sua energia na produção de grãos e sim no crescimento e redistribuição das raízes.

Tabela 20 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de massa seca de raiz de soja em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio, nos anos agrícolas de 2014-2015 e 2015-2016.

Causas da Variação	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Ano 2014 – 2015				
Sistemas (S)	3,855 ^{ns}	21,335**	1,180 ^{ns}	0,071 ^{ns}
Doses de N (D)	1,008 ^{ns}	0,672 ^{ns}	3,599*	2,323 ^{ns}
S x D	4,625**	2,244 ^{ns}	3,051*	5,709**
CV (%)	56,53	48,25	43,05	40,03
CV (%)	44,67	46,67	48,36	37,59
Ano 2015 – 2016				
Sistemas (S)	3,921 ^{ns}	14,024**	20,251**	53,459**
Doses de N (D)	2,156 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,886 ^{ns}	0,065 ^{ns}
S x D	1,258 ^{ns}	0,173 ^{ns}	1,555 ^{ns}	0,391 ^{ns}
CV (%)	38,33	21,87	18,22	13,88
CV (%)	47,65	23,31	18,19	33,86

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 21 - Resultados da análise de peso de raiz de soja em kg m³ em quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio, nos anos agrícolas de 2014-2015 e 2015-2016.

Causas de Variação	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Ano 2014 – 2015				
Sistemas⁽²⁾				
Tremoço	10,5 a	0,7 b	0,6 a	0,4 a
M + B	18,0 a	2,8 a	0,4 a	0,4 a
Braquiária	18,0 a	2,2 a	0,5 a	0,4 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	18,1 a	2,2 a	0,5 ab	0,4 a
100	13,3 a	1,8 a	0,5 ab	0,4 a
150	15,8 a	1,7 a	0,3 b	0,3 a
200	14,7 a	2,0 a	0,8 a	0,4 a
Ano 2015 – 2016				
Sistemas⁽²⁾				
Tremoço	5,2 a	2,9 b	2,5 b	2,4 b
M + B	6,1 a	3,3 b	3,0 b	2,6 b
Braquiária	7,6 a	4,3 a	3,8 a	3,8 a
Doses de N⁽¹⁾				
50	8,1 a	3,6 a	3,0 a	2,9 a
100	6,2 a	3,6 a	3,3 a	2,8 a
150	5,1 a	3,5 a	3,0 a	3,0 a

200	5,7 a	3,3 a	3,0 a	2,9 a
-----	-------	-------	-------	-------

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de peso de raiz de soja em kg m³ nas profundidades 0-10, 20-40 e 40-60 em coleta realizada no ano agrícola de 2014-2015.

Doses de N ⁽¹⁾	Sistemas de Produção ⁽²⁾		
	TRE	M+B	B
	0 – 10 cm		
50	15,1 a A	15,7 a AB	23,5 a A
100	8,1 b A	7,9 b B	24,0 a A
150	8,4 b A	23,7 a A	15,3 ab AB
200	10,4 b A	24,8 a A	9,0 b B
	20 – 40 cm		
50	0,7 a A	0,4 a A	0,4 a B
100	0,7 a A	0,4 a A	0,2 a B
150	0,4 a A	0,4 a A	0,2 a B
200	0,5 b A	0,5 b A	1,4 a A
	40 – 60 cm		
50	0,3 b A	0,6 a A	0,4 ab A
100	0,3 a A	0,3 a B	0,5 a A
150	0,5 a A	0,2 b B	0,1 b B
200	0,4 a A	0,3 a B	0,5 a A

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹ aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha; TRE= milho/tremoço; M+B = milho + braquiária; B = braquiária. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.6 Produtividade e parâmetros de produção de soja

As doses de N avaliadas interferiram na produtividade de soja na safra 2014-2015 (Tabela 23), sendo a maior média encontrada na dose de N de 200 kg ha⁻¹ com 4137 kg ha⁻¹ (Tabela 24). Resultados positivos para adubação nitrogenada foram encontradas em trabalho realizado por Marcon et al. (2017) que obtiveram produtividade maiores nas parcelas que usaram N em relação a testemunha.

A média de produtividade no primeiro ano avaliado foi de 64,5 sacas de soja, demonstrando haver potencial produtivo na região quando utilizados sistemas

conservacionistas, havendo maior média de produção para o sistema que utilizou a Braquiária solteira, que promoveu uma maior cobertura do solo.

No segundo ano avaliado, houve uma quebra na produção em razão da ocorrência de um veranico em janeiro de 2016, coincidindo com a época de enchimento de grãos, o que evidencia o risco da distribuição irregular de chuvas das abundantes chuvas de verão da região Oeste do Estado de São Paulo interferir na produtividade das lavouras, principalmente em uma condição baixa produção de palha como foi nesse ano no experimento. Franchini et al. (2016) em estudo sobre produção de soja em solos arenosos adverte para o prejuízo que a falta de chuvas na fase de floração e enchimento de grãos ocasiona, o que é sempre um risco a ser considerado pelos produtores.

Freitas et al. (2016) observou em estudo onde avaliava os efeitos das rotações de culturas nas características agrônômicas da soja em estações ótima e seca que a produtividade de soja foi negativamente afetada pelo estresse hídrico.

Embora os sistemas de produção não tenham influenciado significativamente na produtividade da soja, os sistemas que utilizaram forrageiras na rotação de culturas tiveram média superior ao sistema que utilizou tremoço indicando que as forrageiras são capazes de promover um melhor equilíbrio do sistema de produção favorecendo a produtividade da cultura principal.

Os sistemas analisados influenciaram no ano de 2014-2015 no estande inicial e final e no número de vagens (Tabela 23). A maior média para estande inicial 15 planta em 3 m foi observada para o sistema M+B (Tabela 24), e o estande final não apresentou diferença significativa entre os sistemas M+B e Braquiária com 11 plantas em 3 m (Tabela 24), denotando um bom estabelecimento e persistência da lavoura. O número de vagens foi superior nos sistemas tremoço e B, com 55 e 51 vagens por planta respectivamente (Tabela 24), que não diferiram estatisticamente entre si.

No ano agrícola 2015-2016 apenas o estande inicial apresentou resposta significativa para os sistemas de produção (Tabela 23), com a melhor média 8 plantas em 3 m para o sistema Braquiária (Tabela 24). A má distribuição das chuvas entre os meses de novembro de 2015 e janeiro de 2016 provavelmente influenciou negativamente no estabelecimento e manutenção da cultura durante o segundo ano de avaliações.

A interação entre sistemas de produção e doses de N influenciou significativamente a variável número de vagens no ano agrícola 2015-2016 com maior média 121 vagens por planta foi observada entre o sistema Tremoço x 50 kg ha⁻¹ (Tabela 25).

Tabela 23 - Valores de F calculados pela análise de variância para análise de produtividade, peso 100 grãos, estante inicial, estante final, número de vagens (nº vagens) e número de grãos por vagem da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Causas de Variação	Produtividade	Peso 100 grãos	Estante inicial	Estante final	Nº vagens	Nº grãos/vagem
Ano 2014-2015						
Sistemas (S)	1,453 ^{ns}	4,553 ^{ns}	144,354 ^{**}	18,039 ^{**}	12,688 ^{**}	3,213 ^{ns}
Doses de N (D)	3,617 [*]	2,776 ^{ns}	0,739 ^{ns}	0,726 ^{ns}	1,067 ^{ns}	1,146 ^{ns}
S x D	2,296 ^{ns}	2,179 ^{ns}	0,699 ^{ns}	0,303 ^{ns}	0,854 ^{ns}	1,507 ^{ns}
CV % _s	13,87	4,31	10,01	17,76	20,06	7,42
CV % _D	9,43	3,81	12,26	16,08	17,63	5,35
Ano 2015-2016						
Sistemas (S)	0,231 ^{ns}	3,299 ^{ns}	22,856 ^{ns}	3,746 ^{ns}	2,163 ^{ns}	3,716 ^{ns}
Doses de N (D)	1,808 ^{ns}	2,360 ^{ns}	0,232 ^{ns}	0,223 ^{ns}	1,572 ^{ns}	1,570 ^{ns}
S x D	0,181 ^{ns}	1,037 ^{ns}	0,878 ^{ns}	0,720 ^{ns}	3,961 ^{**}	0,429 ^{ns}
CV % _s	33,96	5,12	16,96	10,96	27,23	6,66
CV % _D	31,73	5,48	16,88	16,21	16,50	8,56

^{ns}, *, **, não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 24 - Resultados da análise de produtividade, peso 100 grãos, estante inicial, estante final, número de vagens (nº de vagens) e número de grãos por vagem (nº grãos por vagem) da safra de soja nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016, em função das variáveis sistemas de produção e doses de nitrogênio.

Sistemas ⁽²⁾	Produtividade	Peso 100 grãos	Estante inicial	Estante final	Nº vagens	Nº grãos/vagem
	kg ha ⁻¹	g	----- m -----		planta	
Ano 2014-2015						
Tremoço	3733 a	19,73 a	8 c	8 b	55 a	2,54 a
M + B	3836 a	18,92 a	15 a	11 a	39 b	2,67 a
Braquiária	4051 a	19,02 a	12 b	11 a	51 a	2,51 a
Doses de N⁽¹⁾						
50	3683 b	19,39 a	12 a	10 a	47 a	2,52 a
100	3759 ab	18,70 a	11 a	10 a	50 a	2,57 a
150	3915 ab	19,37 a	11 a	11 a	45 a	2,63 a

200	4137 a	19,44 a	11 a	10 a	51 a	2,57 a
Ano 2015-2016						
Sistemas⁽²⁾						
Tremoço	1477 a	14,75 a	8 a	8 a	93 a	2,40 a
M + B	1455 a	15,36 a	7 a	7 a	96 a	2,45 a
Braquiária	1367 a	15,36 a	8 a	8 a	79 a	2,56 a
Doses de N⁽¹⁾						
50	1693 a	15,55 a	6 a	7 a	97 a	2,52 a
100	1331 a	15,30 a	6 a	7 a	84 a	2,36 a
150	1316 a	14,68 a	6 a	8 a	89 a	2,51 a
200	1392 a	15,09 a	6 a	7 a	88 a	2,52 a

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹, aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha. As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 25 - Desdobramento da interação entre os fatores Doses de N e Sistemas de Produção para os resultados da análise de número de vagens por planta em coleta realizada no ano agrícola de 2015-2016.

Doses de N⁽¹⁾	Sistemas de Produção⁽²⁾		
	TRE	M+B	B
Nº vagens/planta			
50	121 a A	95 ab A	74 b A
100	80 a B	84 a A	87 a A
150	80 b B	110 a A	78 b A
200	92 a B	95 a A	78 a A

⁽¹⁾ Doses de N em kg ha⁻¹ aplicadas parceladamente ao longo do ano agrícola. ⁽²⁾ Sistemas de Produção envolvendo diferentes espécies para produção de palha; TRE= milho/tremoço; M+B = milho + braquiária; B = braquiária. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

É possível aumentar a produção de soja em regiões com solo de textura arenosa e sujeita ao déficit hídrico, utilizando sistemas de produção que aumente a produção de palha, como é o caso do uso de braquiária e doses anuais de N entre 150 e 200 kg ha⁻¹.

O cultivo de braquiária solteira ou em consórcio com milho na entressafra da soja possibilitou uma maior cobertura do solo com palha durante o cultivo da soja no verão. No entanto, isso não foi suficiente para aumentar a produção de grãos em anos com baixa produção de palha, como ocorrido na safra 2015/2016, mesmo com aumento do crescimento das raízes de soja em profundidade, quando em sucessão à braquiária solteira.

Os tratamentos com maior aporte de palha e de N não resultaram em aumento nos teores de matéria orgânica no solo, provavelmente em razão da irregularidade de chuvas na época em que as forrageiras, grandes produtoras de massa verde tem as melhores condições de crescimento.

A resposta positiva para o aumento da matéria orgânica na camada de 0-10 cm em função do maior aporte de palha pela braquiária, no primeiro ano do experimento, resultou também em aumento da microporosidade do solo. Porém, ficou evidenciado que, para as condições de solo e de clima em que foram realizados o experimento, se esse aporte não se repetir, os teores de matéria orgânica no solo não se mantém.

A adubação nitrogenada realizada nos sistemas de produção não interferiu negativamente na nodulação da soja, que ocorreu de forma satisfatória tanto na quantidade quanto na massa de nódulos analisados.

REFERÊNCIAS

- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuros e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, out./dez. 1999.
- ALVES, B. J. R. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.449-456, mar. 2006.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 799-806, 2003.
- ARAÚJO, F.F.; HUNGRIA, M. Nodulação e Rendimento de Soja Co-Infectada com *Bacillus Subtilis* e *Bradyrhizobium Japonicum* / *Bradyrhizobium Elkanii*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1633-1643, set. 1999.
- BALBINO, L.C. **Évolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des Ferralsols mis en prairie Pâturée** (Cerrado, Brésil). 2001. 128p. Thèse (Docteur) – L'Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 39, p.677-683, Jul., 2004.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage a cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, Marc., 2000.
- BERTOL, L. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 28, p. 155-163, Fev., 2004.
- BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; STAHLMAN, P.W. Soil response to long-term cropping systems on an Argiustoll in the central Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.602-611, 2010.

BRAGA, G.N.M. Importância do estoque de carbono no solo. **Na Sala com Gismont – Assuntos sobre agronomia**. Porto Alegre, 24 abr. 2012. Disponível em: <http://www.agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/04/importancia-do-estoque-de-carbono-no.html>. Acesso em: 05 de jan de 2018.

BODDEY, R.M. et al. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero till subtropical agriculture. **Global Change Biol.** v. 16, n.2, p. 784-795, Fev., 2010.

BOLLIGER, A. et al. Taking stock of the Brazilian "Zero Till Revolution". **Advances in Agronomy**. v. 91, p. 47-110, 2006.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo : origem, história e distribuição. In : MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas : ITAL, p. 1-6, 1981.

BRAIDA, J.A.; et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O; MAFRA, A.L. ; GATIBONI, L.C., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, v.7. p.221-277, 2011.

CAETANO, J. O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um neossoloquartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.

CAIRES. E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. **Fertibio**, Santa Maria, v. 24, 2000. CD-ROM. SBSCS.

CALONEGO, J. C. et al. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, n. 85, pg. 31–37, 2017.

CALONEGO, J. C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CALONEGO, J. C. et al. Estoques de Carbono e Propriedades Físicas de Solos Submetidos a Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 128-135, jul.-set., 2011.

CALONEGO, J.C., ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 242–249, 2010.

CALONEGO, J.C ; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1399-1407, 2008.

CAMPOS, L.P. et al. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de Manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1681-1689, 2011.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARMEIS FILHO, A. C. A. et al. Changes in Soil Physical Properties and Carbon Protection Mechanisms by Surface Application of Lime in a Tropical No-Tillage System. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, p.56–65, 2018. doi:10.2136/sssaj2017.04.0120

CASALI, C.A. **Sistemas de cultuas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo no solo**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CASTRO, G. S. A.; et al. Surface lime and silicate application and crop production system effects on physical characteristics of a Brazilian Oxisol. **CSIRO PUBLISHING, Soil Research**. 2017. <http://dx.doi.org/10.1071/SR16247>

CHIODEROLI, C. A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37–43, 2012.

CHIODEROLI, C. A. et al. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

CERETTA, C.A. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.1, p. 163-171, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. v. 5 – Safra 2017/18 – n. 8 – Quarto Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> Acesso em: 11 jun. 2018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **A produtividade da Soja: Análise e Perspectivas**. 2017. v. 10.

CONCEIÇÃO, P.C.; DIECKOW, J; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, v. 129, p. 40–47, 2013.

COSTA, N. R. et al. Acúmulo de Nutrientes e Tempo de Decomposição da Palhada de Espécies Forrageiras em Função de Épocas de Semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 818-829, may/jun, 2015.

COSTA, N. R. **Adubação nitrogenada no consórcio milho/braquiárias e efeito sobre o feijão de inverno em sucessão no cerrado**. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2010.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 100, p. 10-14, 2007.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás**. 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

DOSS, B.D.; PEARSON, R.W.; ROGGERS, H.T. Effect of soil water stress of various growth stages on soybean yields. **Agronomy Journal**, Madson, v. 66, n. 2, p. 297-299, 1974.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C.; FREITAS, S. de P. Dinâmica de populações de plantas daninhas na cana-de-açúcar em sistema de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 595-612, 2009.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**. – Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p.

EMBRAPA. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. **Comunicado Técnico**, 51. Dezembro, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ENSINAS, S.C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica no solo**. 2015. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2015.

FAGAN, E. B. et al. Da fixação biológica do nitrogênio em soja – revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.14, n.1, p. 89-106. 2007.

FAGERIA, N. K. et al. **Maximização da produção das culturas**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

FALLEIRO, R.M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FAVARATO, L.F. **Plantio direto orgânico de milho verde sobre diferentes planas de cobertura**. 2015. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2015.

FOLLMANN, D.D. **Dinâmica do nitrogênio mineral no solo e produção vegetal em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2015. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2015.

FRANCHINI, J. C. et al. Soja em solos arenosos: papel do Sistema Plantio Direto e da Integração Lavoura-Pecuária. Londrina: Embrapa soja, 2016. Circular Técnica 116.

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. (Documentos / Embrapa Soja, n. 327)

FRANCHINI, J. C. et al. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. In: **Seca, Soja em Carência de Água**. Embrapa Soja, 2010. Disponível em: <http://bioinfo.cnpso.embrapa.br/seca/index.php/solo>. Acesso em 01 de dezembro de 2013.

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Documentos / Embrapa Soja, n.314).

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Tillage Research**, v. 66, p. 95-106, 2002.

FREITAS, M.E. et al. Crop rotation affects soybean performance in no-tillage system under optimal and dry cropping seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.353-361, 2016. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.03.p7177.

FREIRE, F.M.; VASCONCELLOS, C.A.; FRANÇA, G.E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 49-62, 2000.

GARCIA, C. M. de P.; et al. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Braquiária* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 2, p. 157-163, 2012.

GARCIA, R.A. **Rotação de Culturas e Propriedades Físicas e Matéria Orgânica de um Latossolo**. 2010. 146f. Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2010.146 f.

GARDNER C.; LARYEA K. B.; UNGER P. W. **Soil Physical Constraints to Plant Growth and Crop Production**. Rome: FAO; 1999.

GONÇALVES, S.L. et al. Efeito do estresse hídrico e variabilidade genética na arquitetura da raiz de soja. Embrapa Soja, Londrina, 2017. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 12.

HAKOYAMA, S. et al. Efeitos da semeadura direta e do preparo convencional em algumas propriedades físicas do solo. **Científica**, v.23, n.1, p.17-30, 1995.

HERNANI, L.C. et al. A erosão e o seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.47-60.

HUNGRIA, M. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Circular Técnica/Embrapa Soja, n. 35)

HUNGRIA, M. et al. Fixação biológica do nitrogênio na soja. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.9-89.

IMSANDE, J.; SCHMIDT, J.M. Effect of N source during soybean pod filling on nitrogen and sulfur assimilation and remobilization. **Plant and Soil**, v.202, p.41-47, 1998.

IBGE. **Canais: Cidades@**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=354140>. Acesso em: 08 jan. 2014.

JANZEN, H. H. Soil carbon: a measure of ecosystem response in a changing world? **Canadian Journal of Soil Science**, v. 85, p. 467-480, 2005.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 605-449.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, v. 4. **Anais...** 1989. p. 994-1000.

KLEIN, V.A. et al. Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 19, p. 307-311, 1995.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-442.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Cultivo do feijoeiro em palhada de braquiária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 28 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.501-522.

KOUTROUBRAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v.9, p.1-10, 1998.

LEITÃO FILHO, H.F. **Observações sobre alguns gêneros de leguminosa-Papilionoideae**. Campinas: Instituto Agronomico, 2009.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIER, Q.J.V.; ALBUQUERQUE, J. A. Novo método para calcular o diâmetro médio de agregados de solos. **Revista brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 699-705, 1997.

LOBO, T. F. et al. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1333-1342, jul./ago. 2012.

LOSS, A.; et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n. 10, p.1269-1276, 2011.

LUGATO, E. et al. Distribution of organic and humic carbon in wet-sieved aggregates of different soils under long-term fertilization experiment. **Geoderma**, v. 157, p. 80–85, 2010. doi:10.1016/j.geoderma.2010.03.017

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACHADO, L.A.Z.; CECCON, G.; ADEGAS, F.S. **Integração Lavoura-Pecuária-Florestas. 2. Identificação e Implantação de Forrageiras na Integração Lavoura-Pecuária**. Dourados, MS: Embrapa, 2011.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono no solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, p. 329-334, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976.

MARCON, E. C. et al. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Thema**, v.14, n. 2, p. 298–308, 2017.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. p.508-536.

MARTINS, M.R. et al. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil Tillage Research**, v.104, p. 22–29, 2009. doi.org/10.1016/j.still.2008.11.003.

MELGAR, R; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, em miendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1999. Cap. 1, p. 13-25.

MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.1053-1060, ago. 2008.

MOTA, F.S. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F.J. (Coord.) **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. v.1, p.93-126.

PARIZ, C. M. et al. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2029-2037, 2011.

PASSIOURA, J. B. Roots and drought resistance. **Agricultural Water Management**, v. 7, p. 265-280, 1983.

PEDROTTI, A. et al. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.5, p. 709-715, 2001.

PEREIRA, R. A. et al. Influência da cobertura de aveia-preta e milho sobre comunidade de plantas daninhas e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2011.

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**, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.

PITOL, C.; GOMES, E. L.; ERBES, E. I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiárias. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação: safra 2000/2001**. Maracaju, 2001. p. 40-48.

RAIJ, B.V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

RAIJ, B. VAN. et. al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim técnico, n. 100).

RESCK, D. V. S. et al. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 359-417.

RIBEIRO, V.J. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para a planta**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2015.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. c. 4, p. 353-383.

RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M. T. B. (eds). **A soja na rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep/Fecotrig, 1998. p.1-34.

SÁ, J.C.M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. 2001. 141 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2001.

SANTINI, I.E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 8, p. 1315-1322, 2011.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SALTON, J.C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 11–21, 2008. doi:10.1590/S0100-06832008000100002

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.10, p.35-45, 2004.

SALINAS, A.R. et al. Comportamiento de genotipos de soja, hasta el estadio de plantulas, en diferentes niveles de humedad. IN: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja (AASOJA), 1989. p.376-382.

SCHIAVINATTI, A.F. et. al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v. 70, p. 925-930, 2011.

SIONIT, N.; KRAMER, J.P. Effect of water stress during different stages of growth of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, n.2, p.274-278, 1977.

SILVA, R.F. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1277-1283, 2011a.

SILVA, D. A et al. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011b.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERRERIA, M.M. Atributos Físicos Indicadores da Qualidade do Solo sob Sistemas de Manejo na Bacia do Alto Rio Grande – MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul/ago., 2005.

SILVA, J. E. et al. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, ILF.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados no solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 21, p. 113-177, 1997.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa, 1997. p.467-524.

SOUZA, Z.M. et al. Spatial variability of aggregate stability in Latosol sundersugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 245-253, 2009.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 18-23, 2003a.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 133-139, 2003b.

SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.129-136, 2009.

SPERA, S.T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.

STANFORD, G. Rationale of optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal of Environmental Quality**, v. 2, p. 159-166, 1973.

STONE, L.R.; SCHLEGEL, A.J. Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the West-Central Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 483-491, 2010.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultura uses. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, p. 925-933, 2010.

TIRLONI, C. et al. Physical properties and particle-size fractions of soil organic matter in crop-livestock integration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1299-1310. 2012.

TISDALL, J.M.; OADES, L.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Soil Science Journal**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C.A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular técnica, 23)

TROLEIS, M. J. B. et al. Estabilidade de agregados e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho sob *Urochloa brizantha* após a aplicação de cama de peru. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 83-87, jan./mar. 2017.

VIEIRA, R.F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Leguminosas graníferas. Viçosa: UFV, 2001.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 19, p. 873-882, 1984.

VILELA, L. et al. Integração lavoura-pecuária. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.931-962.