

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIA JULIA BETIOLO TROLEIS

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SOJA E SORGO EM
CERRADO DE BAIXA ALTITUDE**

Ilha Solteira
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIA JULIA BETIOLO TROLEIS

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SOJA E SORGO EM
CERRADO DE BAIXA ALTITUDE**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora.

Especialidade: Sistemas de Produção.

Rafael Montanari
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T846a Troleis, Maria Julia Betiolo.
Atributos físico-químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo na produção de soja e sorgo em cerrado de baixa altitude / Maria Julia Betiolo Troleis. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
73 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas De Produção, 2020

Orientador: Rafael Montanari
Coorientador: Gilberto Colodro
Inclui bibliografia

1. Resistência à penetração. 2. Manejo do solo. 3. Qualidade do solo. 4. *Glycine max* L. 5. *Sorghum bicolor* L.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Setor
Setor Técnico de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CUBB - 9999

Certificado de Aprovação

TÍTULO DA TESE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SOJA E SORGO EM CERRADO DE BAIXA ALTITUDE

AUTORA: MARIA JULIA BETIOLO TROLEIS

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

COORDENADOR: GILBERTO COLODRO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Profª Drª RAÍSSA PEREIRA DINALLI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. MARCELO RODRIGO ALVES

Faculdade de Agronomia / Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE



Prof. Dr. RAYNER SVERSUT BARBIERI

Departamento de Zootecnia / Faculdade Associadas de Uberaba - FAZU

Ilha Solteira, 14 de outubro de 2020

DEDICO

Aos meus pais José Antonio Troleis, Elisangela Betiolo Troleis, ao meu irmão Pedro Henrique Betiolo Troleis e a minha avó (minha estrela) Delurdes Ferreira Troleis, pelo apoio, confiança, motivação e por sempre acreditarem nos meus sonhos e trabalharem muito para que eu pudesse realizá-los e chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, se cheguei até aqui foi porque Ele permitiu.

Aos meus pais, José Antonio Troleis e Elisangela Betiolo Troleis, por me ajudarem e me apoiarem em mais esta conquista, pela compreensão, incentivo, amor, respeito, confiança, sem vocês não teria chego até aqui.

Ao meu irmão Pedro Henrique Betiolo Troleis, pelo apoio, incentivo e carinho.

Ao Professor Dr Luiz Malcolm Mano de Mello pelo acolhimento logo que cheguei.

Ao meu orientador Professor Dr. Rafael Montanari, por ter me aceito como orientada, pelos ensinamentos, dedicação, orientação, paciência e principalmente pela amizade que construímos nessa trajetória e que tenho certeza que permanecerá.

Aos amigos, que reencontrei (Karla Nascimento Sena, Maria Gabriela de Oliveira Andrade, Gabriela Guimarães Papa) e aos que conheci (Paulino Taveira de Souza, Rayner Sversut Barbieri, Izabela Sanches, Daniele Zulian, Darlin Zaruma) na Unesp, vocês foram muito importantes para que eu conseguisse chegar até o final do doutorado, muito obrigada pela amizade e companheirismo de todos vocês, nunca me esquecerei de vocês.

Ao Grupo GEOISA.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP, pela concessão da vaga e infra-estrutura oferecida.

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – DEFERS, em especial a Márcia Ikarugi Bomfim de Souza, Daniely Pardim Rezende, Walkyria Lima da Silva, Marcelo Rinaldi da Silva e Diego Gonçalves Feitosa, pela paciência e ajuda todas as vezes que precisei de vocês.

Aos professores da Pós Graduação, que tive o prazer de conhecer e aprender muito.

Aos funcionários da fazenda que estiveram sempre a disposição quando precisei de ajuda.

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

A todos que contribuíram direta ou indiretamente em mais esta etapa da minha vida, gratidão.

“O sucesso nasce do querer, da
determinação e persistência em se chegar a
um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo,
quem busca e vence obstáculos, no mínimo
fará coisas admiráveis”.

José de Alencar

RESUMO

Atualmente, devido ao manejo inadequado dos solos brasileiros e a busca por elevadas produtividades, procuram-se alternativas de manejo que proporcionem melhorias nos atributos do solo. Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da soja (verão) e do sorgo (inverno) em diferentes sistemas de manejo. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Ilha Solteira. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, 7 tratamentos e 4 repetições, sendo: arado de aiveca, cultivo mínimo, grade pesada, plantio direto consolidado, plantio direto implantado sobre arado de aiveca, plantio direto implantado sobre cultivo mínimo e plantio direto implantado sobre grade pesada. Foram coletadas amostras de solo para determinação da qualidade química e física do solo, além da coleta de plantas de soja e sorgo para avaliação de parâmetros fitotécnicos. Para a cultura da soja, houve diferença estatística na camada de 0,00-0,10m para atributos químicos do solo; o sistema plantio direto consolidado apresentou melhores resultados. Nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, os maiores valores de potássio foram obtidos com revolvimento do solo; a maior resistência à penetração foi observada na camada de 0,20-0,30 m nos sistemas de manejo que foram submetidos a revolvimento; a altura de inserção da primeira vagem foi maior no sistema grade pesada. No cultivo do sorgo, não houve diferença estatística para os atributos químicos avaliados; o tratamento cultivo mínimo apresentou-se como o melhor sistema de manejo ao avaliar resistência à penetração em profundidade, os parâmetros fitotécnicos avaliados não apresentaram diferença estatística para os sistemas de manejo estudados.

Palavras-chave: Resistência à penetração. Manejo do solo. Qualidade do solo. *Glycine max* L. *Sorghum bicolor* L.

ABSTRACT

Currently, due to the inadequate management of Brazilian soils and the search for high productivity, management alternatives are sought that provide improvements in soil attributes. In this sense, the objective was to evaluate soil quality through the physical and chemical attributes of a dystrophic Oxisol with a clay texture, in addition to the phytotechnical parameters of soybean (summer) and sorghum (winter) in different management systems. The experiment was carried out at the UNESP Education, Research and Extension Farm, campus of Ilha Solteira. The experimental design was in randomized blocks, 7 treatments and 4 repetitions, being: moldboard plow, minimum cultivation, heavy harrow, consolidated direct tillage, direct tillage implanted on moldboard plow, direct tillage implanted on minimum cultivation and direct tillage implanted on heavy grid. Soil samples were collected to determine the chemical and physical quality of the soil, in addition to the collection of soybean and sorghum plants for the evaluation of phytotechnical parameters. For the soybean crop, there was a statistical difference in the 0.00-0.10m layer for soil chemical attributes; the consolidated no-till system showed better results. In the layers of 0.10-0.20 and 0.20-0.30m, the highest potassium values were obtained with soil turning; the greatest resistance to penetration was observed in the layer of 0.20-0.30 m in the handling systems that were submitted to turning; the insertion height of the first pod was greater in the heavy grid system. In the cultivation of sorghum, there was no statistical difference for the chemical attributes evaluated; the minimum cultivation treatment presented itself as the best management system when evaluating resistance to penetration in depth, the phytotechnical parameters evaluated did not present statistical difference for the studied management systems.

Keywords: Resistance to penetration. Soil management. Soil quality. *Glycine max* L. *Sorghum bicolor* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Precipitação pluvial e temperaturas do ar no período de dezembro de 2016 a abril de 2017.....	31
Figura 2	- Precipitação pluvial e temperaturas do ar no período de maio de 2017 a novembro de 2017.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Atributos químicos na camada de 0,00-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.....	35
Tabela 2	- Atributos químicos na camada de 0,10-0,20 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.....	38
Tabela 3	- Atributos químicos na camada de 0,20-0,30 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.....	39
Tabela 4	- Atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.....	40
Tabela 5	- Parâmetros fitotécnicos de plantas de soja cultivada em LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas de manejo do solo.....	42
Tabela 6	- Atributos químicos na camada de 0,00-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da sorgo.....	52
Tabela 7	- Atributos químicos na camada de 0,10-0,20 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.....	52
Tabela 8	- Atributos químicos na camada de 0,20-0,30 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.....	53
Tabela 9	- Atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em	

	diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.....	55
Tabela 10	- Parâmetros fitotécnicos de plantas de sorgo cultivada em LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas de manejo do solo.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	CULTURA DA SOJA.....	16
2.2	CULTURA DO SORGO.....	18
2.3	SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	19
2.4	ATRIBUTOS DO SOLO.....	23
3	SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE DO SOLO NA PRODUÇÃO DE SOJA NO CERRADO DE BAIXA ALTITUDE.....	27
3.1	INTRODUÇÃO.....	28
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.4	CONCLUSÕES.....	43
4	ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMAS DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SORGO.....	44
4.1	INTRODUÇÃO.....	45
4.2	MATERIAL E METODOS.....	47
4.2.1	Localização e histórico da área experimental.....	47
4.2.2	Delineamento experimental.....	49
4.2.3	Amostragens e atributos do solo avaliados.....	50
4.2.4	Avaliações fitotécnicas e componentes de produção do sorgo.....	51
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.4	CONCLUSÕES.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das principais commodities mundiais, com produção de 362,075 milhões de toneladas, sendo que o Brasil é o segundo maior produtor mundial, apresentando nas safras 2018/2019 uma área plantada de 35,822 milhões de hectares, com produtividade média de 3206 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019). Enquanto o sorgo, seu cultivo alcança 732,3 mil hectares e produtividade média de 2973 kg ha⁻¹, totalizando 2177 mil toneladas anuais (CONAB, 2020), apresenta uma expansão expressiva, este crescimento pode ser explicado, principalmente, pelo elevado potencial de produção de grãos e matéria seca da cultura, além da capacidade de tolerar as adversidades ambientais (RODRIGUES, 2015).

Devido à procura por alternativas agrícolas que visam o manejo correto do solo e, conseqüentemente, uma agricultura sustentável, o uso racional do solo foi estudado e discutido (STEFANOSKI *et al.*, 2013), o que ainda persiste. Devido ao alto tráfego de máquinas na agricultura, a compactação dos solos agrícolas torna-se fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BERGAMIN *et al.*, 2010).

Dentre os atributos do solo que podem sofrer alterações com o tipo de manejo utilizado está a resistência à penetração, que está diretamente relacionada ao estado de compactação do solo e pode causar dificuldades no desenvolvimento radicular das culturas, bem como acarretar perda de produtividade, além da já estabelecida degradação do solo, devendo esta ser quantificada, monitorada e corrigida para limites aceitáveis (ANDRADE *et al.*, 2013).

A compactação tornou-se uma das principais causas de degradação do solo em áreas agrícolas, por estar diretamente relacionada ao sistema de manejo do solo utilizado e, muitas vezes, demandando práticas de descompactação para mitigar esse problema (DRESCHER *et al.*, 2016). Sendo assim, seu conhecimento é de grande importância por permitir identificar as condições nas quais poderá ocorrer impedimento ao crescimento radicular das plantas (LIMA *et al.*, 2013).

O manejo do solo ao longo do tempo pode alterar negativamente alguns atributos físicos, devido ao uso da mecanização agrícola, estas podem apresentar maior ou menor nível de degradação do solo (BERTOL *et al.*, 2010). Logo, esses

atributos podem ser alterados dependendo do manejo e da intensidade do preparo e, em algumas situações, essas alterações não são aceitáveis, principalmente quando aumenta a densidade do solo, diminui a porosidade e gera compactação das camadas subsuperficiais do solo, limitando a infiltração e a redistribuição da água, a adsorção e ou absorção de nutrientes pelas plantas, e além da possibilidade de gerar problemas de erosão com consequente queda da produtividade agrícola (CORTEZ *et al.*, 2011).

Em função do tipo de mecanização, podem ocorrer alterações nos atributos do solo, e estas podem ser mais expressivas nos atributos físicos na camada superficial, principalmente em virtude do tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições inadequadas de manejo (VALICHESKI *et al.*, 2012). No entanto, o preparo mecanizado do solo tem como função melhorar e criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. As práticas de preparo podem variar desde aqueles que causam intensa mobilização do solo, caso do preparo convencional, até os chamados preparos conservacionistas.

A melhoria da qualidade física do solo observada em áreas sob sistema de plantio direto a longo prazo, tem sido justificada pela presença de agregados maiores e mais estáveis, perante ao incremento de matéria orgânica, comparado com sistemas de preparo convencional (SO *et al.*, 2009; JIN *et al.*, 2011). Porém, a utilização do sistema plantio direto por longo período de tempo tem levantado indagações sobre possíveis impactos negativos da compactação causada pelo tráfego de máquinas e ação de implementos (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2009).

A compactação é uma consequência indesejável na agricultura, sobretudo em sistemas de cultivo com mínimo revolvimento do solo, como é o caso do plantio direto. Contudo, a compactação que o tráfego de máquinas causa no solo sob plantio direto não dificulta a produção das culturas, indicando que mecanismos particulares a este sistema, promovem reversão da compactação (GUBIANI *et al.*, 2015).

Devido aos sistemas de manejo de solo utilizados, e as inúmeras formas de alterações físicas e químicas que estes podem promover, justifica-se a necessidade de identificar o melhor sistema de manejo para as culturas de soja (verão) e sorgo (outono/inverno) na região de cerrado.

Em suma, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura

argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da cultura da soja (verão) e do sorgo (inverno) em diferentes sistemas de manejo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é originária da China, anteriormente eram plantas rasteiras, sua evolução começou com o surgimento de plantas provenientes de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. Até o ano de 1894, a produção de soja ficou restrita à China e a partir da segunda década do século XX, o teor de óleo e proteína dos grãos começaram a despertar o interesse das indústrias mundiais, porém as tentativas de introdução comercial do cultivo do grão na Rússia, Inglaterra e Alemanha falharam, devido às condições climáticas desfavoráveis (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2020).

No Brasil, começou-se a enxergar a soja como produto comercial no fim da década de 60, devido à necessidade de farelo em sucessão ao trigo utilizado no inverno, para alimentação de aves e suínos. Por volta de 1970, o alto valor da soja no mercado mundial despertou interesse de agricultores e do governo brasileiro, dessa forma, o país começou a investir em tecnologias para adaptação da cultura às condições brasileiras. Os investimentos em pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, permitiram que o grão fosse semeado com sucesso em regiões de baixas latitudes (EMBRAPA, 2020).

A soja é uma das commodities mundiais, com produção em mais de 60 países, oferece como subprodutos o farelo e o óleo, sendo importante para a alimentação animal e humana (CONAB, 2019). No Brasil, a soja é a cultura oleaginosa mais importante em produção sob cultivo extensivo (LANA *et al.*, 2007). O elevado teor de proteína nos grãos da soja, é responsável pelo fato da cultura ser fonte de alimento para humanos e animais, gerando aumento no consumo e exportação deste produto *in natura* e de seus derivados (LOPES, 2004; CORONEL, 2008).

Como maiores produtores de soja, responsáveis por 65,60% da produção mundial, encontram-se o Brasil (50,24%) e os Estados Unidos (33,73%), que devem produzir cerca de 84% de todas as exportações mundiais na safra 2019/2020. Estima-se que o Brasil venha a ser o maior produtor de soja do mundo, fato que apenas não acontecerá caso haja algum problema climático muito severo. A

produção nacional deverá alcançar o valor de 123 milhões de toneladas, além de que, as áreas plantadas no Brasil deverão ter uma expansão de quase 2,21%, passando de 35,15 milhões de hectares na safra 2018/2019 para 36,90 milhões de toneladas na safra 2019/2020. A produtividade, calculada pela média dos cinco anos, será de 3.330 kg ha⁻¹ para safra 2019/2020 (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2019).

O Brasil é o maior exportador mundial de soja, os preços internacionais afetam diretamente a balança comercial brasileira e os preços desse complexo no mercado nacional, além de ser a principal cultura em extensão de área e volume de produção, representando aproximadamente 48% dos 240,65 milhões de toneladas de grãos produzidos em 2019 no país. O mercado da soja brasileira atende duas situações: a exportação e o esmagamento, de onde se obtém dois subprodutos: o óleo e o farelo de soja. Em 2019, a estimativa de esmagamento gira em torno de 43,20 milhões de toneladas de soja em grãos, com uma produção próxima a 8,42 milhões de toneladas de óleo de soja, usado, sobretudo, para consumo humano e para fabricação de biodiesel, além da produção de 33,26 milhões de toneladas de farelo de soja para alimentação animal (aves, suínos e bovinos), alimentação humana e uso industrial (CONAB, 2019).

De acordo com a Conab (2019), na safra 2018/2019 o Brasil produziu 115,07 milhões de toneladas de soja em grãos, valor 3,5% menor que os 119,28 milhões de soja em grãos produzidos na safra 2018/2017, queda esta pelo fato de problemas de seca ocorridos em dezembro de 2018 e janeiro de 2019, principalmente nos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e na região Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), que reduziram a produtividade de soja nacional em 5,5%.

Os principais estados produtores de soja no Brasil na safra 2018/2019 foram: Mato Grosso, com produção de 32,455 milhões de toneladas, área plantada 9.700 milhões de hectares e produtividade de 3.346 kg ha⁻¹; Rio Grande do Sul produção de 19,187 milhões de toneladas, área plantada 5.778 milhões de hectares e produtividade 3.321 kg ha⁻¹; Paraná, 16,253 milhões de toneladas, área plantada 5238 milhões de ha e produtividade 2.989 kg ha⁻¹; e Goiás produção de 11,437 milhões de toneladas, área plantada 3.476 milhões de ha e produtividade 3.290 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

2.2 CULTURA DO SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é uma planta originária da África. Conhecido por ser uma planta que se adapta a uma gama de ambientes e produz sob condições desfavoráveis quando comparado à maioria dos outros cereais, além de poder ser cultivado em regiões áridas e com baixa incidência de chuvas, pelo fato de ser resistente a seca, ou seja, são plantas que toleram o déficit hídrico e o excesso de umidade no solo, e podem ser cultivadas numa ampla faixa de condições de solo (EMBRAPA, 2020).

A cultura do sorgo está expandindo cada vez mais no Brasil, principalmente no período de safrinha, em sucessão às culturas de verão. O sorgo pode ser utilizado de diversas formas, na dieta alimentar humana, de forma direta (farinhas dos grãos) e indireta (na indústria de rações e volumosos em pastoreios diretos ou silagens para animais). Este cereal é um componente importante do mix de insumos energéticos que entram na composição de rações para aves, suínos, bovinos e recentemente na produção do bioetanol (EMBRAPA, 2020). Além disso, o sorgo é uma cultura mais rústica, resistente ao clima seco, utilizada pelos produtores rurais como cobertura vegetal, além de ser um substituto próximo ao milho no processo de fabricação de ração animal (CONAB, 2020).

O sorgo é uma planta de metabolismo fotossintético C4, ou seja, apresenta elevada taxa fotossintética e baixa taxa de fotorrespiração, o que lhe confere grande capacidade de produção de fitomassa, principalmente nos sorgos sacarino e forrageiro (PINHO; SANTOS; OLIVEIRA, 2015). O sistema radicular profundo e ramificado impõe ao sorgo mecanismos específicos de tolerância e resistência ao estresse hídrico, uma vez que, ao ocorrer uma queda no metabolismo da planta e consequentemente murcha, recupera-se em eventos de disponibilidade hídrica (SANTOS, 2015). Nas folhas, ocorre um acúmulo de cera que conferem a planta de sorgo menor perda de água por evapotranspiração. Para produzir um kg de matéria seca, o sorgo necessita de 300 litros de água distribuídas ao longo do ciclo, enquanto que em culturas como o milho, trigo e cana-de-açúcar necessitam, respectivamente, de 370, 500 e 600 litros de água por kg de matéria seca (GOMES, 2014).

Agronomicamente os sorgos são classificados em: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo e vassoura. O sorgo granífero

apresenta porte baixo (híbridos e variedades), é adaptado à colheita mecânica; o sorgo forrageiro oferece porte alto (híbridos e variedades), apropriado para produção de silagem e/ou produção de açúcar e álcool; forrageiro para pastejo é utilizados principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta; por fim, o vassoura inclui tipos de sorgo cujas panículas são confeccionadas vassouras. O sorgo granífero é o que apresenta maior valor econômico e está entre os cinco cereais mais cultivados em todo o mundo, ficando atrás do arroz, trigo, milho e cevada (RIBAS, 2011).

A produção brasileira vem aumentando rapidamente, em termos globais, o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Porém, a cultura de sorgo produz muito menos do que seu potencial oferece. O sorgo passa a assumir cada vez mais um papel estratégico para a consolidação de uma política de exportação, quer sob a forma direta ou agregada em carnes de aves e suínos (RIBAS, 2011).

De acordo com Conab (2020), na safra de sorgo 2018/2019 a área plantada no Brasil foi de 732,3 mil ha e estima-se que para safra de 2019/2020 irá ocorrer uma redução de 3,5% (708,9 mil ha). Com relação a produção da cultura na safra 2018/2019, foi de 2177,0 mil toneladas, enquanto na safra 2019/2020 estima-se 2084,3 mil toneladas; com relação a produtividade para as mesmas safras 2.973 kg ha⁻¹ e 2.943 kg ha⁻¹, respectivamente.

2.3 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

O manejo do solo compreende práticas simples e indispensáveis ao desenvolvimento das culturas, além de ser definido como um conjunto de técnicas que, utilizadas de maneira adequada, proporcionam elevada produtividade, mas, quando conduzidas de forma inadequada, podem levar à degradação dos solos agrícolas (EMBRAPA, 2003).

Os sistemas de manejo do solo apresentam como objetivo criar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas, mas, o uso inadequado às condições mais favoráveis (solo úmido ou consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem levar à alterações da sua estrutura, gerando a compactação do solo,

interferindo na densidade, na porosidade, na infiltração de água e no crescimento radicular das culturas, e, conseqüentemente, na redução da produtividade (DE MARIA; CASTRO; SOUZA DIAS, 1999).

Além do manejo do solo, é de extrema importância saber que o preparo do solo é um conjunto de operações que são realizadas com o intuito de fornecer condições favoráveis à semeadura, ao desenvolvimento e à produção das plantas. Assim, é considerável a adoção de boas práticas, priorizando os sistemas conservacionistas (SOUZA, 2017). As operações de preparo do solo tem a finalidade de fornecer condições ótimas para os processos de germinação, emergência e estabelecimento de plântulas, a fim de permitir aumento da infiltração de água, de modo a impedir a perda de água e sedimentos pela erosão (EMBRAPA, 2020).

A utilização de mecanização agrícola é um importante elemento na maioria dos sistemas de produção agrícola, mas, sua utilização de forma inadequada nos solos, pode gerar uma rápida e contínua degradação (REIS *et al.*, 2007), além de que, os sistemas de manejo atuando juntamente com condicionadores do solo podem alterar a qualidade física do solo e reduzir ou aumentar a produção agrícola (SOUZA *et al.*, 2010).

A agricultura está fortemente ligada à mecanização das operações do campo, pelo fato de a mecanização tornar o trabalho agrícola menos árduo, a lavoura mais homogênea e aumentar a produtividade das culturas, mas um dos obstáculos da mecanização agrícola é o aumento da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas (ROBOREDO *et al.*, 2010). A agricultura convencional trouxe muito avanço para a ciência agrônômica em termos de conhecimentos e de produtividade por unidade de área em curto prazo; porém, o uso inadequado desse sistema de manejo tem provocado a degradação do solo e do ambiente (CARNEIRO *et al.*, 2004).

A maneira com que vem se utilizando o preparo convencional (PC), tem provocado sérios prejuízos ao meio ambiente, principalmente no que diz respeito à degradação do solo. Dessa forma, a utilização de sistemas de manejo que revertam o processo de degradação tem oferecido ganhos ambientais e aumentos de produtividade das culturas, dentre esses sistemas, destaca-se o sistema plantio direto (SPD), que apresenta como princípio o não revolvimento do solo, a cobertura permanente e a rotação de culturas, proporcionando maior quantidade de água

armazenada no perfil do solo, menor lixiviação de nutrientes e manutenção no teor de matéria orgânica (BORGHI; MELLO; CRUSCIOL, 2004).

Por outro lado, o PC interfere diretamente sobre os atributos físicos e biológicos do solo, além de gerar ambiente adequado para o estabelecimento das culturas. O tipo de preparo do solo, assim como o estabelecimento de nova cultura, impõe ao sistema solo/microrganismos nova condição que influencia positivamente ou negativamente a disponibilidade, a qualidade e a quantidade dos nutrientes no solo (LISBOA *et al.*, 2012).

Ao utilizar o PC e, conseqüentemente, promover o revolvimento do solo, ocorre o rompimento dos agregados, provocando um maior contato entre os resíduos vegetais e o solo, o que estimula, temporariamente, a microbiota a degradar a matéria orgânica do solo (LISBOA *et al.*, 2012).

A degradação dos atributos físicos do solo é uma das principais causas do aumento da erosão hídrica. A adoção do PC do solo facilita este processo, já que ocorre intenso revolvimento mecânico do solo, em contrapartida, a semeadura direta, é um sistema de manejo conservacionista, devido ao fato de não haver preparo de solo, mantendo os resíduos vegetais e aumentando o teor de matéria orgânica na superfície, ainda que aumente a densidade e diminua a porosidade superficial do solo (BERTOL *et al.*, 2001).

Uma solução eficaz para as regiões agrícolas para aumentar a capacidade produtiva dos solos é a adoção de sistemas conservacionistas associados ao uso da sucessão de culturas de espécies vegetais, pelo fato de incrementarem resíduos ao solo, prevenção de erosão e melhoria da ciclagem de nutrientes, especialmente das camadas mais profundas da superfície do solo (PEDROTTI *et al.*, 2015).

O cultivo mínimo (CM), ou o preparo reduzido do solo, pode ser definido como o sistema de manejo do solo que proporciona um número de operações menor do que quando comparado com o PC (DALLMEYER, 1994).

O CM resulta numa menor inversão do solo, menor incorporação dos resíduos vegetais e, conseqüentemente, redução nas perdas de solo e água (SOUZA, 2017). Além disso, é considerado um sistema conservacionista, conservando os recursos ambientais, como água e solo, assim como o SPD (FREITAS *et al.*, 2016).

O SPD é um sistema de manejo do solo no qual a palha e os restos vegetais da cultura anterior são mantidos sobre a superfície, com intuito de reduzir a evaporação da água do solo, nesse sistema não há remoção de solo sob a palhada

do cultivo anterior, conseqüentemente, ocorre redução de riscos erosivos e a distribuição sistemática da compactação do solo (ALMEIDA *et al.*, 2018).

Neste sistema, há a rotação de culturas (HERNANI; SALTON, 1997; SEIXAS, 2005). O solo é revolvido apenas no sulco onde são depositados sementes e fertilizantes (FERREIRA; FREITAS; MOREIRA, 2015), mantendo assim, os resíduos vegetais em sua superfície e minimizando os efeitos erosivos das chuvas intensas que ocorrem em climas tropicais (BARIZON, 2001); já no PC ocorre o cultivo das áreas agrícolas utilizando práticas de preparo do solo e controle fitossanitário, onde o solo é arado e gradeado, seguindo as seguintes etapas: remoção da vegetação, aração, calagem, gradagem e semeadura (FERREIRA FREITAS; MOREIRA 2015).

O sucesso do SPD provém do acúmulo de palhada, propiciado pelas culturas de cobertura e restos culturais de lavouras, permitindo a criação de um ambiente favorável à recuperação e à manutenção da qualidade do solo (KLIEMANN; BRAZ, 2006), além de fatores como a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura, permanência destes resíduos sobre o solo, velocidade de decomposição e liberação de nutrientes (TORRES; PEREIRA, 2008).

Como vantagens, o SPD apresenta o controle da erosão, manutenção da umidade, redução da temperatura do solo, aumento da atividade microbiana e melhoria da estrutura do solo, e como desvantagens destaca-se o aumento de incidências de pragas, maior utilização de agrotóxicos, menor adaptação de máquinas e equipamentos e menor germinação de sementes no período úmido (FERREIRA FREITAS; MOREIRA, 2015).

O uso do SPD, por estar associado à rotação de culturas anuais, propicia mudanças nos atributos químicos do solo, causadas pelo aumento nos teores de matéria orgânica (MURAGE *et al.*, 2007) e variações no pH do solo, na capacidade de troca catiônica (SOUZA; ALVES, 2003), bem como nas bases trocáveis e no P disponível (MALLARINO; BORGES, 2006; THOMAS *et al.*, 2007), além da redução do alumínio tóxico, quando comparado ao PC (SILVEIRA; STONE, 2001).

Estudos demonstraram que ao adotar o SPD, ocorre aumento nos estoques de carbono, além de mitigar emissões de CO₂ (LEITE *et al.*, 2003; BAYER *et al.*, 2006) estando esses associados ao incremento no aporte de resíduo e à ausência do preparo do solo, o qual reduz a exposição do carbono protegido nos agregados à comunidade microbiana, retardando o processo de decomposição (AL-KAISI; YIN,

2005). No entanto, o aumento desses estoques é observado apenas quando se avaliam até 0,3 m de profundidade e que, abaixo disso, os maiores valores estão no PC (BAKER *et al.*, 2007).

2.4 ATRIBUTOS DO SOLO

Os solos são capazes de dar sustentação aos vegetais, pelo fato de estarem associados a inúmeros processos, como a germinação, crescimento radicular, armazenamento de água, aeração, agindo assim, como substrato nutritivo, cooperando para a dinâmica de nutrientes, mas para que exerça suas funções é necessário que solo esteja em condições adequadas (MONTANARI, 2016). Dessa forma, deve se levar em consideração a qualidade do solo, que é determinada através da mensuração de atributos físicos, químicos e biológicos, que permitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo (MARCHINI *et al.*, 2015).

Práticas de manejo do solo e das culturas promovem alterações nos atributos físicos do solo, as quais podem ser permanentes ou temporárias, justificando o interesse em avaliar a qualidade física do solo, além de considerá-lo como um componente fundamental na manutenção e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (LIMA, 2004).

A degradação do solo está associada à sua qualidade, ou seja, à medida que os atributos são alterados de maneira negativa, cria-se um processo de degradação (ALVES; SOUZA, 2008). A degradação química do solo é resultado da diminuição da sua fertilidade, causada pela redução dos teores e da qualidade da matéria orgânica e pela redução dos teores de macro e micronutrientes (BONINI, 2012).

Os atributos físicos do solo têm influencia direta no desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, na sua produtividade (SILVA, 2000; SIQUEIRA *et al.* 2006). Por esse motivo, os solos agrícolas vêm sofrendo grandes problemas, e a compactação é uma das principais causas, pelo fato do tráfego de tratores e máquinas agrícolas trafegarem em condições inadequadas de umidade do solo (RICHART *et al.*, 2005).

A resistência à penetração, a densidade e do solo são atributos físicos extremamente estudados e que afetam diretamente a produtividade agrícola, provocando alterações na compactação e impedimentos ao crescimento e distribuição radicular (FOLONI *et al.*, 2006; SCHAFFER *et al.*, 2007; TABOADA;

ALVAREZ, 2008), além de ser um dos principais causadores da degradação dos solos agrícolas (CANILLAS; SALOKHE, 2002).

A compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou pisoteio de animais (LIMA, 2004).

A compactação do solo é um problema antigo e tornou-se mais intenso com a modernização da agricultura, principalmente pelo uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas. A compactação em áreas agrícolas, geralmente, em uma camada encontrada até, no máximo, a 0,20 m de profundidade. Ao se fazer uso do PC, essa camada compactada é rompida pelos implementos, transferindo a compactação para maiores profundidades, pelo tráfego e contato dos implementos com o solo subsuperficial; já no SPD, como não há revolvimento do solo, a compactação fica mais restrita à sua superfície (REICHERT *et al.*, 2007).

A compreensão do processo de compactação do solo e a busca por alternativas para mitigar seus efeitos tem sido estudados, pelo fato de que a compactação é considerada uma das principais ameaças à manutenção da qualidade do solo em áreas agrícolas (SCHJØNNING *et al.*, 2009; KELLER *et al.*, 2013).

A compactação do solo é um dos principais fatores responsáveis pela queda da produtividade das culturas agrícolas (LANZANOVA *et al.*, 2007), assim, a resistência do solo à penetração é um dos atributos que melhor representam as condições de desenvolvimento das raízes das plantas (TORMENA; ROLOFF, 1996), por ser ela um dos principais fatores que podem limitar o crescimento radicular e a produtividade das plantas (SILVA *et al.*, 2000).

A análise da compactação é realizado por meio de diferentes métodos, sendo frequentemente utilizado o método da penetrometria (BEUTLER; CENTURION; SILVA, 2007), assim, uma das formas mais eficiente de detectar em profundidade camadas compactadas é através do uso de penetrômetro de impacto, instrumento que mede a resistência do solo à penetração, apresentando como vantagens o seu custo reduzido e sua viabilidade para o trabalho em solos de baixa umidade, alta resistência e elevados teores de argila (PEDRO VAZ *et al.*, 2002). Sua avaliação deve ser simultânea à análise de umidade do solo, uma vez que elas variam de forma inversamente proporcional (MONTANARI *et al.*, 2010), além de ser

recomendado que a análise seja realizada quando o teor de água do solo estiver próximo do valor da capacidade de campo (REICHERT *et al.*, 2007).

De acordo com Reichert *et al.* (2007), os níveis críticos de resistência à penetração para o crescimento radicular das plantas dependem do tipo de solo e da espécie cultivada, assim, em solos de textura argilosa e muito argilosa, a compactação das camadas superficiais constitui uma das limitações desses solos quando se faz uso do plantio direto (TORMENA *et al.*, 2004).

Valores de resistência à penetração entre de 2,0 a 4,0 MPa podem impossibilitar ou limitar o crescimento de raízes (ARSHAD *et al.*, 1996), porém, Beutler e Centurion, 2003) consideraram valores de resistência à penetração acima de 2 MPa muito restritivos ao crescimento das raízes das plantas em LATOSSOLOS. Valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 a 4,0 MPa (ROSOLEM *et al.*, 1999). Todavia, valores próximos a 2 MPa são considerados como impeditivos ao crescimento radicular (BLAINSKI *et al.*, 2008).

As consequências da compactação em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico foram valores de resistência do solo à penetração entre 2,65 a 3,26 MPa, além de queda na produtividade de soja de aproximadamente 24,3% (SECCO, 2009). Por outro lado, pesquisas demonstraram que a resistência do solo à penetração em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico, apesar de ter apresentado valores considerados restritivos (2,90 MPa) ao desenvolvimento radicular, não influenciou negativamente na produtividade da soja (MARASCA *et al.*, 2011).

O solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos adequados ao desenvolvimento das plantas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000), porém, à medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, os atributos físicos sofrem alterações, na maioria das vezes, desfavoráveis ao desenvolvimento das culturas (SPERA *et al.*, 2004). A compactação do solo é considerada o principal desafio a ser enfrentado em áreas mecanizadas manejadas sob SPD que visam elevadas produtividades (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

Nos solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado (QUEIROZ-VOLTAN; NOGUEIRA; MIRANDA, 2000; STENBERG; RYDBERG *et al.*, 1998).

Os LATOSSOLOS e ARGISSOLOS, classes predominantes de solos no Brasil, são caracterizados pela sua baixa fertilidade natural, expressa pela reserva de nutrientes (MOREIRA; FAGERIA, 2009; CAMPOS *et al.*, 2012). Os atributos químicos do solo apresentam uma dinâmica de distribuição muito diferenciada, devido às alterações provocadas pelo sistema de manejo agrícola adotado e dos processos (SOUZA *et al.*, 2008).

Com relação à nutrição das plantas, o pH do solo influencia as respectivas solubilidades, concentrações na solução e as formas iônicas. Consequentemente, também são influenciadas a absorção e a utilização deles. A grande maioria dos solos brasileiros apresenta sérias restrições ao desenvolvimento das culturas agrícolas, decorrentes do efeito nocivo da acidez, impondo severas restrições à produtividade agrícola (MCBRIDE; BLASIAK, 1979).

Segundo Souza *et al.* (2007), os solos, quando corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial para uma agricultura tecnificada e de elevada produtividade. Portanto, conhecer a relação entre a acidez do solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas é de extrema importância para o estabelecimento das práticas corretivas dessa acidez, que visem à maior eficiência, tanto dos sistemas de produção agrícola como do uso dos recursos naturais.

O uso do solo para fins agrícolas podem reduzir o teor de matéria orgânica e aumentar o processo de acidificação do solo, causado por muitos fatores, pode aumentar consideravelmente a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), principalmente nas camadas mais profundas (MATOS *et al.*, 2012).

Somado a isso, há a retirada da vegetação original para cultivo agrícola, além do mal manejo do solo e a absorção contínua das culturas, o que pode resultar na redução nos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (JAKELAITIS *et al.*, 2008), o que reduz a fertilidade do solo (V%).

3 SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE DO SOLO NA PRODUÇÃO DE SOJA NO CERRADO DE BAIXA ALTITUDE

Resumo

Devido ao manejo inadequado dos solos brasileiros, objetivou-se avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da cultura da soja em diferentes sistemas de manejo. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Ilha Solteira. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições, sendo: arado de aiveca, cultivo mínimo, grade pesada, plantio direto consolidado, plantio direto implantado sobre arado de aiveca, plantio direto implantado sobre cultivo mínimo e plantio direto implantado sobre grade pesada. Realizou-se análises dos atributos físicos e químicos do solo, altura de planta e da inserção da primeira vagem, diâmetro do caule, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos, massa seca de plantas, produtividade de grãos e stand final para a cultura da soja. Houve diferença estatística na camada de 0,00-0,10 m para atributos químicos (teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, potencial hidrogeniônico, alumínio, acidez potencial, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio e matéria orgânica) do solo. O sistema plantio direto consolidado apresentou melhores resultados. Nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, os maiores valores (2,6 e 2,3 mmol_c dm⁻³) de potássio foram obtidos com revolvimento do solo. A maior (3,01 MPa) resistência a penetração foi observada na camada de 0,20-0,30 m no sistema de manejo que foi submetido ao revolvimento. A altura de inserção da primeira vagem foi maior (13,57 cm) no sistema grade pesada.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Resistência à penetração. Manejo do solo. Uso do solo.

MANAGEMENT SYSTEMS AND SOIL QUALITY IN SOYBEAN PRODUCTION IN THE LOW ALTITUDE CLOSURE

Abstract

Due to the inadequate management of Brazilian soils, the objective was to evaluate the soil quality through the physical and chemical attributes of a Oxisol with a clay texture, in addition to the phytotechnical parameters of soybean culture in different management systems. The experiment was carried out at the UNESP Education, Research and Extension Farm, campus of Ilha Solteira. The experimental design was in randomized blocks, with 7 treatments and 4 repetitions, being: moldboard plow, minimum cultivation, heavy harrow, consolidated no-till, no-till implanted over moldboard plow, no-till implanted over no-till and no-till planting over heavy grid. Analyzes of the physical and chemical attributes of the soil, plant height and insertion of the first pod, stem diameter, number of grains per pod, mass of 1000 grains, dry mass of plants, grain productivity and final stand for the soybean culture. There was a statistical difference in the 0,00-0,10 m layer for chemical attributes (contents of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sum of bases, hydrogen potential, aluminum, potential acidity, cation exchange capacity, base saturation, saturation aluminum and organic matter) from the soil. The consolidated no-till system showed better results. In the layers of 0,10-0,20 and 0,20-0,30 m, the highest values (2,6 and 2,3 mmol_c dm⁻³) of potassium were obtained with soil rotation. The greatest (3,01 MPa) resistance to penetration was observed in the layer of 0,20-0,30 m in the handling system that was submitted to the turning. The insertion height of the first pod was greater (13,57 cm) in the heavy grid system.

Keywords: *Glycine max* L. Resistance to penetration. Soil management. Use of the soil.

3.1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das principais commodities mundiais, com produção de 337 milhões de toneladas e uma área plantada de 125 milhões de hectares, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Nas safras

2017/2018 obteve uma produção de 117 milhões de toneladas e uma área plantada de 35 milhões ha, apresentando produtividade média de 3.333 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

O uso do solo para atividades agrícolas provoca alterações químicas, físicas e biológicas, podendo ser necessária a intervenção por meio de manejos, os quais podem ser, sistema de plantio convencional, sistema de plantio direto, além da utilização de calagem e adubação, sendo que, a falta dessas práticas pode interferir negativamente na produtividade das culturas (SANTOS *et al.*, 2017).

Devido ao manejo inadequado do solo algumas vezes adotado pelos agricultores e pecuaristas brasileiros, buscaram-se alternativas agrícolas que visam seu manejo correto, além de uma agricultura sustentável e, conseqüentemente, elevadas produtividades. Com isso, a necessidade de conhecer e avaliar os indicadores de qualidade química, física e biológica do solo tornou-se mais eminente, sendo um dos principais objetivos da ciência do solo (CARDOSO *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2013). Os atributos químicos e físicos do solo são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, quando comparado à vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como indicadores ambientais da qualidade física e química do solo (FREITAS *et al.*, 2017).

Avaliando o preparo de um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, no município de Cassilândia - MS, Monteiro *et al.* (2017) verificaram o efeito de grade leve, grade intermediária, subsolador, arado de disco e arado de aiveca, empregados individualmente, e constataram que a resistência do solo à penetração foi menor ao utilizar o arado de disco ou aiveca. No entanto, a cobertura vegetal do solo após o preparo foi maior com o uso de subsolador e a grade leve não foi eficiente para revolver o solo em preparo primário.

Salem *et al.* (2015), ao estudarem os atributos físicos do solo em quatro sistemas de preparo do solo, sendo esses, preparo convencional, preparo vertical, cultivo mínimo e plantio direto, afirmaram que a compactação do solo é reduzida ao utilizar o preparo convencional em comparação a outras práticas de preparo do solo; já o preparo vertical (idêntico ao cultivo mínimo, porém criaram-se mini depressões após o plantio para que a rugosidade aumentasse) e o cultivo mínimo mostraram efeito moderado nos indicadores de compactação do solo. Ainda relataram que o preparo vertical é uma opção viável por apresentar efeitos positivos nas

propriedades físicas do solo e maior rendimento das culturas em comparação com o plantio direto e o cultivo mínimo.

A compactação dos solos, devido à intensificação do tráfego de máquinas nas atividades agrícolas, pode constituir fator limitante ao crescimento das plantas (ROSSETTI; CENTURION, 2017), enquanto o preparo do solo favorece o desenvolvimento do sistema radicular e cria condições adequadas para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, o uso indiscriminado de máquinas e implementos pode afetar negativamente a resistência do solo à penetração e a manutenção da cobertura vegetal morta na superfície do solo (THEODORO *et al.*, 2018).

O sistema plantio direto (SPD), por não causar revolvimento do solo, associado a práticas conservacionistas, tendem a melhorar a fertilidade do solo (KARLEN *et al.*, 2013), consequentemente, melhora sua qualidade de maneira geral. Além disso, no SPD ocorre o acúmulo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras na superfície do solo, promovendo o contínuo aumento de matéria orgânica na camada superficial e melhorando seus atributos físicos e químicos (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN (VER REFERÊNCIAS, 2012).

O sistema com menor número de operações consistiu em duas gradagens (uma com grade aradora e outra com grade niveladora "off set") e preparo convencional, uma operação com arado seguida de quatro operações com a grade niveladora, apresentaram diferenças na resistência à penetração do solo nas camadas de 0,15-0,20 m, 0,45-0,50 m e 0,50-0,55m, porém não apresentou os mesmos efeitos nas camadas superficiais, sendo que, o solo preparado de forma convencional apresentou menor área coberta com resíduos vegetais em sua superfície (THEODORO *et al.*, 2018).

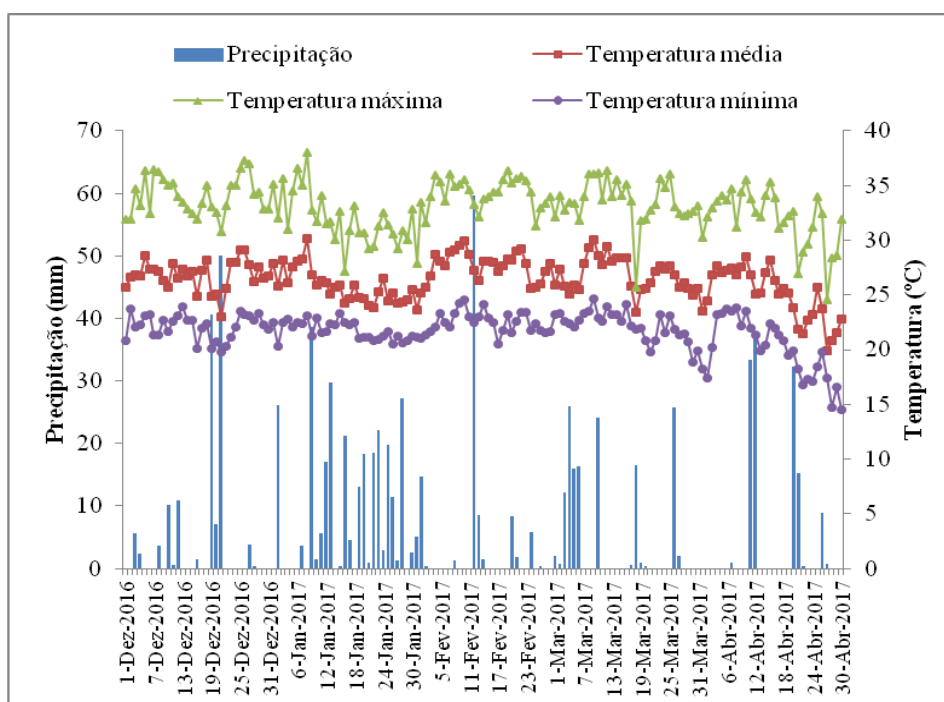
Neste contexto, os sistemas de manejo de solo e as diversas alterações que estes podem promover, justificam a necessidade de identificar o que mais se adequa à cultura da soja. Assim, objetivou-se avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da cultura da soja em diferentes sistemas de manejo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da UNESP “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, localizada no município Selvíria (MS), sob coordenadas geográficas 20°20'46" S latitude e 51°24'28" W longitude. Segundo Köppen, o clima é classificado como Aw, clima Tropical (ALVARES *et al.*, 2013), apresentando secas no inverno e chuvas no verão, altitude média de 335 m e declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹. O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura argilosa (DEMATTE, 1980, *apud* Santos *et al.*, 2018).

Os dados pluviométricos e as temperaturas médias foram mensurados no período de dezembro de 2016 a abril de 2017, período em que foi implantada a cultura da soja. No total foram 802,3 mm de precipitações, distribuídos mensalmente (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas do ar no período de dezembro de 2016 a abril de 2017.



Fonte: Dados da pesquisa.

A irrigação complementar por pivô central foi utilizada durante o ano agrícola 2016/2017. A área apresenta como histórico uma sucessão de culturas soja e milho (verão) e feijão e sorgo (inverno), há pelo menos 13 anos em sistema de plantio direto.

Em dezembro de 2016, a área total do experimento recebeu adubação de acordo com as recomendações do Boletim Técnico 100 (RAIJ *et al.*, 1997) na linha de semeadura, com 150 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16, foi realizado também a dessecação das áreas que receberam os tratamentos Sistema Plantio Direto Contínuo e Cultivo mínimo com os herbicidas glyphosate ($792,5 \text{ g kg}^{-1}$ do ingrediente ativo), na dose de 2 kg ha^{-1} e Triazolona (400 g L^{-1}), na dose de $0,07 \text{ L ha}^{-1}$.

Na sequência, antes da semeadura que foi realizada no dia 17 de dezembro de 2016, houve o tratamento das sementes de soja (BMX Potência RR, 355.552 sementes ha^{-1}) com Carboxina (200 g L^{-1}) e Thiran (200 g L^{-1}), na dose de 100 mL para 50 kg de sementes⁻¹ (fungicida sistêmico), além do inoculante líquido SEMIA 5019 + SEMIA 5079 na dose de 100 mL para 50 kg de sementes⁻¹.

Foram efetuadas pulverizações, em área total com os inseticidas e suas respectivas doses, Flubendiamida (400 g L^{-1}), $0,07 \text{ L ha}^{-1}$; Metomil (216 g L^{-1}), $0,6 \text{ L ha}^{-1}$; Acefato (750 g Kg^{-1}), $0,8 \text{ Kg ha}^{-1}$; Acetamiprido (100 g L^{-1}), $0,6 \text{ L ha}^{-1}$; Alfa-cipermetrina (200 g L^{-1}), $0,03 \text{ L ha}^{-1}$; além do fungicidas Azoxistrobina (200 g L^{-1}) + Ciproconazol (80 g L^{-1}), $0,35 \text{ L ha}^{-1}$.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 21 linhas, espaçadas por 0,45 m, com 20 m de comprimento, totalizando uma área de 189 m^2 , e carregadores de 10 m, para manobras de máquinas e equipamentos.

Tratamentos:

1. Arado de Aiveca (AA): Mobilização do solo com arado de aiveca, em área total da parcela experimental, mantendo uma profundidade média de rompimento do solo de 0,30 m. A partir do ano de 2014 (safrinha) vem sendo realizada o preparo convencional do solo, anteriormente (13 anos atrás) o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema de plantio direto.
2. Cultivo Mínimo (CM): Mobilização do solo realizada com escarificador, em área total da parcela, mantendo uma profundidade média de trabalho de 0,35 m, após 20 anos de plantio direto. A partir do ano de 2014 (safrinha) vem sendo realizada a escarificação. Anteriormente (13 anos atrás) o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema de plantio direto.
3. Gradagem pesada (GP): Mobilização do solo realizada com grade pesada, em área total da parcela, mantendo uma profundidade média de corte do solo de 0,25 m. A partir do ano de 2014 (safrinha) vem sendo realizada o plantio

convencional do solo. Anteriormente (13 anos atrás) o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema de plantio direto.

4. Sistema de Plantio Direto Consolidado (SPDC): Semeadura com mobilização do solo apenas na linha de semeadura por mais de 10 anos, realizada pelo mecanismo sulcador tipo haste da semeadora/adubadora, com profundidade média de trabalho de 0,15 m.

5. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Arado Aiveca (SPDiAA): Mobilização do solo realizada com arado de aiveca sobre plantio direto, ou seja, no ano de 2014, foi realizada uma aração na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014 o manejo utilizado na área foi plantio direto).

6. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Cultivo Mínimo (SPDiCM): Semeadura direta em área onde realizou escarificação. Após 10 anos de plantio direto, ou seja, no ano de 2014, realizou-se escarificação na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014, o manejo utilizado na área foi plantio direto).

7. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Grade Pesada (SPDiGP): Mobilização do solo realizada com grade pesada sobre plantio direto. Após 10 anos de plantio direto, ou seja, no ano de 2014, realizou-se uma gradagem na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014, o manejo utilizado na área foi plantio direto).

As análises dos atributos físicos e químicos do solo foram realizadas após a colheita da soja (primeiro semestre de 2017). Em todas as parcelas experimentais coletaram-se amostras com estrutura deformada, para determinação dos atributos químicos do solo nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, e amostras para determinação da umidade gravimétrica, apresentando 4 repetições por parcela, além de terem sido coletadas amostras aleatoriamente.

As amostras foram coletadas com trado holandês e utilizadas para determinar a) teor de fósforo disponível (P) mg dm^{-3} , b) teor de potássio trocável (K^+) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, c) teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, d) teor de magnésio trocável (Mg^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e) soma de bases (SB) %, f) potencial hidrogeniônico (pH) CaCl_2 , g) alumínio trocável (Al^{3+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, h) acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, i) capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), j) saturação por bases (V%), k)

saturação por alumínio (m%) e l) teor de matéria orgânica (MO) g dm⁻³, conforme metodologia descrita por Raij *et al.* (2001).

A resistência mecânica do solo à penetração das raízes foi determinada pelo penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, descrito por Stolf (1991), com um ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi obtida pela fórmula dos holandeses (Equação 1), segundo Stolf (1991), onde os valores de resistência à penetração (RP) (kgf cm⁻²) foram multiplicados pelo fator 0,0980665, para a obtenção da RMSP em MPa, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m.

$$RP = \left[5,581 + 6,891 \cdot \left(\frac{N}{P-A} \cdot 10 \right) \right] \cdot 0,0981 \quad (1)$$

Onde: RP é a resistência mecânica do solo à penetração (MPa); N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; A e P as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

A umidade gravimétrica foi realizada de acordo com a metodologia da Embrapa (2002), onde, pesou-se 20 g de solo, levou para a estufa a 165° C por 24 horas, em seguida pesou-se o solo novamente e calculou-se a umidade gravimétrica por meio da equação:

$$UG = \frac{Pu - Ps}{Ps}$$

Onde: UG é a umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); Pu é o peso úmido da amostra de solo (g) e Ps é o peso seco em estufa da amostra de solo (g).

Foram avaliados os parâmetros Altura da inserção da primeira vagem (cm), Altura de planta (cm), Diâmetro do colmo (cm), Número de grãos por vagem (nº grãos por vagem), Massa de 1000 grãos (g), Massa seca de plantas (Mg ha⁻¹), Produtividade de grãos (Mg ha⁻¹) e Stand inicial e final de plantas (CHIODEROLI, 2010).

Para cada atributo foi realizada análise descritiva dos dados com auxílio da estatística clássica, utilizando-se o SAS (SCHOLTZHAVER; LITTEL, 1997), sendo inicialmente aplicada análise de variância pelo teste F, seguido da comparação de médias duas a duas pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os atributos químicos na camada de 0,00-0,10 m, foi possível observar diferença significativa para os teores de matéria orgânica, cálcio, CTC e V% (Tabela 1). Entre os tratamentos que adotaram o SPD em ao menos alguma etapa (SPDC, SPDIAA, SPDICM, SPDIGP) e os tratamentos que envolveram o revolvimento do solo (AA, CM e GP), houve resultado superior ao utilizar o SPD.

Tabela 1 - Atributos químicos na camada de 0,00-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.

Sistemas de manejo	P	MO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V%	m%
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³				%				
AA	27,0	18,0b	5,0	21,0b	16,0	3,6	32,7	1,0	40,6	73,4b	55,2b	2,5
CM	25,2	19,5b	5,2	28,5b	22,5	3,4	30,2	0,5	54,4	84,7b	63,2b	1,3
GP	28,7	19,2b	5,5	26,2b	19,5	3,2	31,0	0,5	55,8	86,8b	63,0b	1,3
SPDC	36,7	21,7a	5,2	40,7a	32,0	3,4	30,5	0,0	76,2	106,7a	70,5a	0,0
SPDIAA	26,5	19,0b	5,3	27,2b	20,0	3,3	28,7	0,3	50,6	79,3b	63,2b	0,5
SPDICM	31,5	20,7a	5,5	35,2a	25,5	3,4	24,2	0,0	64,2	88,4b	72,5a	0,0
SPDIGP	31,5	21,0a	5,2	29,5b	23,0	3,2	29,5	0,0	55,8	85,3b	64,2b	0,0
Prob > F	1,15 ^{ns}	4,06 [*]	1,09 ^{ns}	4,75 [*]	3,33 ^{ns}	0,18 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,66 ^{ns}	3,21 ^{ns}	3,54 [*]	3,47 [*]	1,68 ^{ns}
CV (%)	24,9	6,5	6,8	19,8	24,8	16,61	12,5	180,7	21,8	12,7	9,4	184,7

Nota: * (5%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDIAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDICM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDIGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio.

Fonte: Dados da pesquisa.

Este efeito pode ser atribuído a perda de carbono causada pelo revolvimento do solo, corroborando com resultados relatados por Corrêa (2002), que ao estudarem os efeitos de diferentes sistemas de cultivo na estabilidade de agregados em água de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, textura média, relataram que o revolvimento do solo favoreceu a maior taxa de oxidação do carbono orgânico resultando na diminuição do teor de carbono no solo, uma vez que no sistema plantio direto a quantidade de resíduos vegetais que retorna ao solo é maior que em sistemas que envolvem o revolvimento do solo. Reis *et al.* (2016) ao avaliarem a

qualidade física e as frações da matéria orgânica de um PLANOSSOLO sob sistema plantio direto notaram que o carbono orgânico total aumentou nas camadas superficiais, mas reduziu com o aumento da profundidade.

A matéria orgânica é formada essencialmente por compostos de carbono e possui implicações no comportamento físico do solo, de maneira a exercer grande influência no processo de restabelecimento estrutural, além de estar diretamente ligado à qualidade do solo, pois é um agente cimentante da estrutura, atua no tampão do pH, na complexação de elementos e capacidade de troca de cátions, além de aumentar a disponibilidade hídrica no solo (CAMPOS *et al.*, 2016). Portanto, ao avaliar a variabilidade de atributos físico-químicos de um ARGISSOLO VERMELHO e os estoques de carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais, afirmam que algumas práticas de manejo provocam redução acelerada dos teores de matéria orgânica e elevação dos níveis de compactação do solo, afetando desfavoravelmente a produtividade das culturas (LINHARES *et al.*, 2016).

Ao observar a influência do uso e o manejo do solo sob diferentes sistemas de cultivo (em áreas sob sistemas de plantio direto, plantio convencional, plantio de seringueira e mata nativa), nos atributos físicos e nos teores de carbono orgânico em uma área de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, textura argilosa, verifica-se que os maiores teores de CO e posteriormente de MO só são perceptíveis quando se tem um sistema de plantio direto superior a 6 anos, de modo que este período pode variar de acordo com a região, clima e solo (MATIAS *et al.*, 2012; HICKMANN; COSTA, 2012), explicando assim a diferença no teor de MO entre os sistemas que adotaram SPD e os demais sistemas de manejo do solo, devido ao fato destes sistemas terem mais de 10 anos de implantação.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram mais elevados nos sistemas SPDC e SPDICM uma vez que o revolvimento do solo no SPD é inexistente e no cultivo mínimo não há inversão das camadas do solo, assim, as aplicações de calcário se acumulam nas primeiras camadas do solo justificando acúmulos maiores teores de cálcio e magnésio próximo a superfície. Nos processos com alto revolvimento e inversão de camadas como a GP e AA, a incorporação do calcário faz com que estes nutrientes se distribuam ao longo do perfil do solo. Assim como observado por Caires *et al.* (2006), ao estudarem calagem e gessagem em sistemas sustentáveis de produção, notaram que a correção da acidez do solo é realizada mediante aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. Sendo assim, a baixa

mobilidade dos produtos de dissolução do calcário aplicado na superfície limita sua eficiência na redução da acidez em camadas sub superficiais de solos com cargas variáveis e, que dependem da movimentação ou pequena lixiviação de sais, orgânicos e, ou, inorgânicos, através do perfil do solo.

Falleiros *et al.* (2003), ao estudarem diferentes sistemas de preparo (semeadura direta, arado de discos, arado de aivecas, grade pesada, grade pesada + arado de discos e grade pesada + arado de aivecas) de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Câmbico e sua influência nos atributos químicos e físicos do solo verificaram que o teor de Ca^{2+} foi maior na camada superficial no sistema de semeadura direta, atribuindo esse fato ao não revolvimento do solo e à reciclagem dos nutrientes pelas plantas.

Os atributos químicos de um LATOSSOLO sob diferentes sistemas de manejo (plantio convencional, plantio direto, e área de floresta de eucalipto) avaliados por Santos *et al.* (2017), mostraram que tanto a SB como a V% são fatores dependentes principalmente das bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ que apresentam mesmo comportamento no perfil do solo tendendo a ter maiores concentrações nas primeiras camadas quando não há revolvimento, o que justifica os resultados observados.

Deubel, Hofmann e Orzessek, 2011, ao avaliarem os sistemas de plantio convencional e direto, encontraram maiores concentrações de K^+ nas camadas superficiais, fato este que também foi observado ao avaliar os teores de K^+ nas Tabelas 1, 2 e 3; que pode ser justificado por haver depósito de KCl na superfície do solo, o que, devido à baixa mobilidade, favorece o seu acúmulo nas camadas superficiais (FRAZÃO *et al.*, 2008).

A CTC considera todos os cátions permutáveis do solo, sendo assim, quando ocorreu operações de revolvimento do mesmo como AA e mesmo depois retomando o sistema plantio direto (SPDiAA) foi possível observar uma redução significativa da capacidade de troca de cátions nas primeiras camadas do solo, mostrando-se superior nas camadas mais próximas a superfície, parte deste efeito deve-se a maior quantidade de calcário depositada na camada superficial (Tabela 1). Ao analisar a V% nota-se efeito similar ao observado na CTC, já que são atributos correlacionados apresentando efeito superior para o SPDC e SPDiCM, como o V% é dado pela razão entre SB e CTC, os valores da SB e CTC nestes sistemas, justifica-se o efeito significativo neste tratamento, tendo em vista que estes tratamentos mostraram os maiores valores para ambos atributos.

Na camada 0,10 – 0,20 m não houve diferença estatística para maior parte dos atributos químicos avaliados com exceção do teor de K^+ que foi superior quando utilizado a GP e AA. Ao inverter as camadas do solo levou o K^+ depositado na superfície para as camadas mais profundas. É importante salientar que todos os tratamentos se mantiveram entre 1,6 e 3,0 $mmol_c dm^{-3}$, valor considerado médio de acordo com as recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Raij *et al.*, 1997), reforçando as vantagens da adoção do sistema plantio direto que se portou de modo superior nas primeiras camadas do solo.

Tabela 2 - Atributos químicos na camada de 0,10-0,20 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.

Sistemas de manejo	P mg dm^{-3}	MO g dm^{-3}	pH CaCl ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V% %	m% %
AA	20,0	17,3	5,0	20,0	16,0	2,6a	34,3	2,0	38,7	72,9	52,3	5,8
CM	23,3	17,0	5,0	21,0	17,0	2,3b	36,0	1,5	40,3	76,3	52,0	4,0
GP	31,0	17,7	4,9	22,3	17,5	2,6a	35,0	0,8	42,4	77,4	54,5	1,8
SPDC	29,3	16,0	4,6	16,8	13,8	1,9b	41,5	0,8	32,4	73,9	43,5	2,3
SPDiAA	21,8	15,7	4,9	21,0	15,3	2,1b	34,5	2,2	38,4	72,9	51,5	7,3
SPDiCM	35,5	16,3	4,8	23,0	17,3	2,2b	35,3	1,3	42,6	77,9	54,5	3,3
SPDiGP	25,0	17,0	4,7	16,8	14,0	2,0b	36,0	2,2	32,8	68,8	46,5	8,5
Prob > F	1,11 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,93 ^{ns}	3,31 [*]	1,41 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,29 ^{ns}
CV (%)	39,9	7,6	5,5	21,6	20,3	14,4	11,6	92,9	19,2	7,8	13,0	97,5

Nota: *(5%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio.

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao revolver o solo, uma das maiores vantagens é o condicionamento químico e estrutural nas camadas mais profundas, que auxilia no aprofundamento radicular e utilização de maior volume de recursos disponíveis nestas camadas, porém não houve diferença significativa entre as formas de manejo adotadas, comprovando que nenhum dos sistemas de manejo de preparo prejudicou de forma relevante o desenvolvimento e utilização de nutrientes pelas plantas de interesse econômico.

O mesmo comportamento observado na camada 0,10 – 0,20 m ocorreu na camada de 0,20-0,30 m (Tabela 3), como esperado devido ao manejo empregado, ou seja, a inversão das camadas do solo promoveu efeito significativo do K^+ quando utilizado AA e GP.

Tabela 3 - Atributos químicos na camada de 0,20-0,30 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.

Sistemas de manejo	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	K ⁺ mmol _c dm ⁻³	H+Al	Al ³⁺ -----	SB	CTC	V% -----	m% -----
AA	22,5	15,0	4,8	16,0	13,0	2,3a	35,0	0,3	31,3	66,3	45,7	0,8
CM	13,0	14,5	4,6	12,8	10,0	1,8b	39,0	0,5	24,6	63,6	38,2	2,0
GP	17,0	14,3	5,0	12,8	10,8	2,2a	32,5	1,5	25,7	58,2	44,7	6,3
SPDC	16,0	14,3	4,7	13,3	11,5	1,7b	35,8	1,8	26,5	62,2	42,2	5,5
SPDiAA	16,0	14,3	4,6	13,3	10,5	1,7b	38,5	1,5	25,5	64,0	39,7	5,5
SPDiCM	21,8	14,8	4,6	14,3	11,0	1,8b	39,5	0,8	27,1	66,6	41,0	2,8
SPDiGP	11,3	14,0	4,7	10,5	9,5	1,6b	37,8	3,0	21,7	59,4	36,0	15,2
Prob > F	1,48 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,64 ^{ns}	3,26 [*]	0,54 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,89 ^{ns}
CV (%)	40,7	7,4	7,5	27,1	26,0	15,0	18,8	165,7	24,4	12,9	19,4	186,6

Nota: * (5%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio.
Fonte: Dados da pesquisa.

A ocorrência de menor teor de K^+ no SPDC pode ser justificada em partes pela permanência de K^+ na palhada, que concomitante a ausência de revolvimento do solo no momento da amostragem a palhada presente na superfície do solo não é levada em consideração (FALLEIRO *et al.*, 2003).

Com relação à RP, constatou-se que ocorreu diferença estatística entre os tratamentos nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m (Tabela 4). Na camada de 0,00-0,10, o tratamento SPDiGP apresentou o maior valor de RP (3,74 MPa) e diferiu-se dos tratamentos AA (2,55 MPa), GP (2,62 MPa), CM (2,92 MPa) e SPDiCM (3,00 MPa).

Tabela 4 - Atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura da soja.

Sistemas de manejo	RP	UG	RP	UG	RP	UG
	0,00-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,30 m	
AA	2,55b	0,13	2,32	0,12	2,66a	0,13
CM	2,92b	0,13	2,16	0,13	1,93b	0,13
GP	2,62b	0,15	2,73a	0,15	3,01a	0,13
SPDC	3,64a	0,12	2,71	0,13	2,56a	0,13
SPDiAA	3,68a	0,12	2,52	0,13	2,39a	0,13
SPDiCM	3,00b	0,13	2,28	0,13	2,02b	0,13
SPDiGP	3,74a	0,13	2,75	0,14	2,37a	0,13
Prob > F	2,49*	2,33 ^{ns}	1,86 ^{ns}	2,16 ^{ns}	3,88*	1,30 ^{ns}
CV (%)	20,6	8,2	14,4	7,2	15,6	6,8

Nota: *(5%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. RP – Resistência do solo à penetração (MPa) e UG – Umidade gravimétrica do solo (kg kg⁻¹).

Fonte: Dados da pesquisa.

Como área de estudo recebeu irrigação com base no balanço hídrico, em conjunto com a não cobertura do solo, mostrou que os tratamentos submetidos ao revolvimento do solo sofreram impacto da gota da água, provocando o selamento superficial, explicando assim o fato de ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos.

O alto valor de RP nesses tratamentos é explicado pelo fato do rearranjo das partículas do solo após o preparo do solo e na sequência a retomada do SPDC, causando um selamento superficial das partículas.

Já o tratamento SPDiCM, por ter sido realizada uma escarificação após 17 anos de plantio direto e na sequência retomado o plantio direto, a escarificação provocou a quebra das estruturas do solo em torrões maiores até a profundidade de 0,35m, dessa forma, o rearranjo das partículas de solo demora um período maior de tempo para ocorrer, portanto, o solo permaneceu aerado por mais tempo, reduzindo o efeito de selamento superficial.

Reichert *et al.* (2003) afirmaram que o valor crítico de resistência à penetração para a cultura da soja é de 2 MPa, reafirmando que o limite crítico de resistência à penetração para as culturas é acima de 2 MPa (TORMENA *et al.*, 1998); além disso, Beutler *et al.* (2006), ao estudarem um LATOSSOLO com 330 g

kg⁻¹ de argila, relatam que houve diminuição de 32% na produtividade de soja a partir de uma resistência à penetração de 2,25 MPa.

Os valores de RP encontrados nesse estudo estão próximos de 3 MPa, assim, corroboram com o que Beutler; Centurion e Silva, 2004), afirmam que o valor crítico de resistência à penetração pode ser influenciado pelo sistema de manejo, rotação de cultura e tipo de solo, afirmação essa que explica o que ocorreu no estudo.

Devido ao revolvimento do solo até a camada de 0,25 m, ao utilizar a grade pesada, houve um acúmulo de cargas do implemento utilizado no manejo do solo, podendo ter ocorrido o “pé de grade”; corroborando com Vogel e Fey (2016), ao afirmarem que o uso de grade no preparo inicial do solo causa uma maior compactação a partir dos 0,20 m de profundidade.

Na camada de 0,20-0,30m, os menores valores de RP foram encontrados nos tratamentos CM (1,93 MPa), pois faz uso de escarificador em todas as safras, já no tratamento SPDiCM, que após 17 anos de plantio direto fez-se uma escarificação; concordando que uma escarificação eventual em solos sob plantio direto proporciona condições físico-hídrico e mecânicas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, com ênfase a resistência à penetração do solo. Além disso, afirmam que a resistência à penetração de 2 MPa não é impeditiva ao desenvolvimento das raízes da cultura da soja (KLEIN; CAMARA, 2007). Para Girardello *et al* (2014), ao estudarem a eficiência do uso de escarificador mecânico em um LATOSSOLO VERMELHO manejado sob plantio direto a longo prazo, relataram que para a produção de soja o valor crítico de resistência à penetração foi de 3 MPa.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados em nenhuma das profundidades estudadas para o atributo UG (Tabela 4). Isso ocorreu pelo fato de que na ausência de chuvas e conforme necessário, a área era irrigada por aspersão por meio de pivô central .

De maneira geral, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejos do solo e os parâmetros agronômicos de plantas de soja (Tabela 5). Houve apenas diferença estatística para altura de inserção de 1ª vagem, onde o tratamento GP apresentou a maior altura (13,58 cm), diferindo estatisticamente dos tratamentos AA (9,02 cm), CM (9,52 cm), SPDiCM (9,07 cm), fato esse que pode ser atribuído à profundidade da semente na semeadura. Devido ao solo ter sido gradeado, ocorreu

o destorroamento das partículas quebrando a estrutura do solo, afundando mais a semente.

Tabela 5 - Parâmetros fitotécnicos de plantas de soja cultivada em LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistemas manejo	Inserção 1ª vagem	Altura plantas	Diâmetro do caule	Nº de grãos por vagem	Massa de 1000 grãos	Massa seca de plantas	Prod.	Stand inicial	Stand final
	----- cm -----			---- n ----	---- g ----	----- Mg ha ⁻¹ -----		----- n -----	
AA	9,02b	68,75	8,20	83,15	101,98	4,38	3,32	267775	222960
CM	9,52b	71,45	9,28	97,25	103,90	3,88	3,27	244442	244442
GP	13,57a	76,22	9,00	81,47	107,78	4,28	3,43	244442	244441
SPDC	9,96b	70,32	8,60	88,60	104,80	3,69	3,76	265183	265183
SPDiAA	10,30b	71,80	8,31	84,60	104,08	4,27	3,47	275553	275553
SPDiCM	9,07b	67,97	8,79	92,42	103,37	4,27	3,57	255183	267775
SPDiGP	10,45b	69,22	8,32	74,95	101,57	4,14	2,82	222961	255183
Prob > F	4,08*	2,36 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,80 ^{ns}
CV (%)	15,02	5,07	8,26	16,39	3,27	16,01	18,03	10,51	10,51

Nota: *(5%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto.

Fonte: Dados da pesquisa.

A importância da avaliação da altura da inserção de primeira vagem restringe-se ao fato do atributo poder ou não provocar perdas durante a colheita devido a barra de corte da colhedora (CRUZ *et al.*, 2006), assim, para não ocorrer perdas durante a colheita, a altura mínima da primeira vagem deve estar entre 0,10 a 0,12 m, em solos de topografia plana e 0,15 m em terrenos mais inclinados (SEDIYAMA, 1999), fato esse que ocorreu apenas nos tratamentos GP, SPDiAA, SPDiGP, onde as alturas de inserção de 1ª vagem foram superiores a 0,10 m.

De acordo com Souza (2017), a altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante no processo de colheita mecânica dos grãos, sendo assim, esse atributo deve ser de no mínimo 13 cm, para que se reduza as perdas durante a colheita (QUEIROZ *et al.*, 1981), essa altura mínima ocorreu apenas para o tratamento GP.

Amorim *et al.* (2011) relataram que a altura de inserção da primeira vagem e a altura de planta, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja,

diferenciaram-se entre as combinações de manejo de solo, fato esse que difere do que foi observado na Tabela 5. Os valores de inserção de primeira vagem ficaram entre 9 e 13 cm, valores esses, abaixo do que foi observado em estudo feito por de Souza *et al.* (2010), que ao pesquisarem sistema de plantio direto e convencional, constataram que a altura de inserção da primeira vagem variou entre 26 e 27 cm.

Miranda *et al.* (2005), avaliando o SPD e o convencional de soja e milho em um LATOSSOLO VERMELHO, não observaram diferenças significativas entre os manejos do solo na produtividade, corroborando com o presente estudo. A população final de plantas de soja recomendada para a variedade BMX potência RR para região do cerrado é de 250 a 300 mil plantas ha⁻¹. Para os tratamentos AA, GP e CM, o número de plantas de soja ficou pouco abaixo do recomendado.

3.4 CONCLUSÕES

O sistema plantio direto consolidado mostrou-se superior aos demais na camada de 0,00-0,10 m, quando observado os atributos químicos MO, Ca²⁺, CTC e V%.

Os sistemas que utilizaram o revolvimento do solo proporcionaram maior acúmulo de K⁺ (2,6 e 2,3 mmol_c dm⁻³) nas camadas de 0,10-0,20 m e de 0,20-0,30 m.

Na camada de 0,00-0,10 m a RP foi menor nos tratamentos AA, CM e GP.

O tratamento CM apresentou a menor RP (1,93 MPa) e não se diferiu do tratamento SPDC na camada de 0,20-0,30 m.

A altura de inserção de primeira vagem foi maior (13,57 cm) no tratamento GP, mas os sistemas de manejo estudados não diferiram na produtividade da soja.

4 ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMAS DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SORGO

Resumo

O uso intensivo e inadequado do solo vem provocando degradação do mesmo. Neste sentido, objetivou-se avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da cultura do sorgo em diferentes sistemas de manejo. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Ilha Solteira. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições, sendo: arado de aiveca, cultivo mínimo, grade pesada, plantio direto consolidado, plantio direto implantado sobre arado de aiveca, plantio direto implantado sobre cultivo mínimo e plantio direto implantado sobre grade pesada. Realizaram-se análises dos atributos químicos e físicos do solo, altura de planta e da panícula, comprimento e diâmetro da panícula, massa seca de plantas, produtividade de grãos e stand inicial e final para a cultura do sorgo. Não houve diferença estatística para os atributos químicos avaliados. O tratamento cultivo mínimo apresentou-se como o melhor sistema de manejo ao avaliar resistência à penetração em profundidade. Os parâmetros fitotécnicos avaliados na cultura do sorgo não diferiram para os sistemas de manejo estudados.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L. Resistência à penetração. Manejo do solo. Uso do solo.

CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF A RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF SORGHUM

Abstract

Intensive and inappropriate use of the soil has been causing soil degradation. In this sense, the objective was to evaluate the soil quality by means of the physical and chemical attributes of a Oxisol with a clay texture, in addition to the phytotechnical parameters of the sorghum culture in different management systems. The experiment was carried out at the UNESP Education, Research and Extension Farm, campus of Ilha Solteira. The experimental design was in randomized blocks, with 7 treatments and 4 repetitions, being: moldboard plow, minimum cultivation, heavy harrow, consolidated no-till, no-till implanted over moldboard plow, no-till implanted over no-till and no-till planting over heavy grid. Analyses of the chemical and physical attributes of the soil, height of the plant and panicle, length and diameter of the panicle, dry mass of plants, grain yield and initial and final stand for the cultivation of sorghum were carried out. There was no statistical difference for the chemical attributes evaluated. The minimum cultivation treatment presented itself as the best management system when evaluating resistance to penetration in depth. The phytotechnical parameters evaluated in the sorghum culture did not differ for the management systems studied.

Key-words: *Sorghum bicolor*. Resistance to penetration. Soil management. Use of the soil.

4.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) no Brasil, alcança 732,3 mil hectares e produtividade média de 2.973 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020), apresenta uma expansão expressiva, que pode ser explicado, principalmente, pelo elevado potencial de produção de grãos e matéria seca da cultura, além da sua capacidade de tolerar as adversidades ambientais (RODRIGUES, 2015), destacando também seu potencial energético, que apresenta ampla adaptação edafoclimática e alta eficiência no uso da água (MASSON, 2013).

Os sistemas de manejo do solo podem provocar alterações dos seus atributos físicos como, por exemplo, a formação de camadas compactadas. Um dos atributos físicos mais utilizados como indicativo da compactação do solo é a resistência do solo à penetração, pelo fato de interferir diretamente no crescimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação do solo (VALENTE *et al.*, 2019).

Segundo Ferreira *et al.* (2010) e Romero *et al.* (2016), a adoção de práticas de manejo com preparo intensivo do solo com auxílio de arados, grades e subsoladores são os principais responsáveis pela degradação acelerada do solo. Além disso, o preparo convencional do solo, é um dos fatores responsáveis pelo aumento dos processos erosivos, o que pode resultar na condução da cultura de forma inviável (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

O manejo inadequado do solo é uma das principais causas que levam a sua degradação e queda na produtividade, sendo assim, é de extrema importância avaliar os impactos nos atributos físicos e químicos em sistemas de manejo, tais como o plantio direto e convencional (SANTANA *et al.*, 2018). Os atributos químicos e físicos do solo juntamente com a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como indicador ambiental da qualidade física e química do solo (FREITAS *et al.*, 2017).

Visando a sustentabilidade ambiental e econômica do sistema produtivo, o manejo do solo deve contribuir para a conservação dos atributos físicos em condições parecidas às que se encontravam na natureza, porém, a adoção de sistemas de manejo de maneira inadequada interfere na resistência à penetração, dificultando ou até mesmo impedindo o cultivo nessas áreas (COLOMBO *et al.*, 2017).

Dessa maneira, segundo Rós, Hirata e Natira (2013), a utilização de sistemas de preparo do solo que possibilitem o menor revolvimento, auxiliam na redução de perdas de solo e favorecem a manutenção da umidade do solo no sistema.

Ao estudarem dois sistemas de manejo, preparo convencional e plantio direto em um ARGISSOLO AMARELO, em dois anos de utilização do sistema plantio direto, houve acúmulo de matéria orgânica no solo e armazenamento de água, além de proporcionar incrementos nos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e

matéria orgânica em relação ao sistema plantio convencional (SANTANA *et al.*, 2018).

Ao avaliarem os atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico sob sistemas de manejo (Sistema de Plantio Direto, instalado há três anos e Pastagem degradada, cultivada há mais de 10 anos), observaram que a resistência do solo à penetração foi influenciada pelos sistemas de manejo do solo, e variaram de acordo com a profundidade, sendo observado nas camadas superficiais os menores valores de resistência à penetração na área sob Sistema de Plantio Direto, entretanto, nas camadas subsuperficiais, foram obtidos valores críticos de resistência à penetração nos dois sistemas de manejo (COLOMBO *et al.*, 2017).

Diante do exposto, os diferentes sistemas de manejo de solo adotados e as diversas alterações que estes podem promover, justifica-se a necessidade de identificar o sistema de manejo de solo mais adequado para a cultura do sorgo. Sendo assim, objetivou-se avaliar a qualidade do solo por meio dos atributos físicos e químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura argilosa, além dos parâmetros fitotécnicos da cultura do sorgo em diferentes sistemas de manejo.

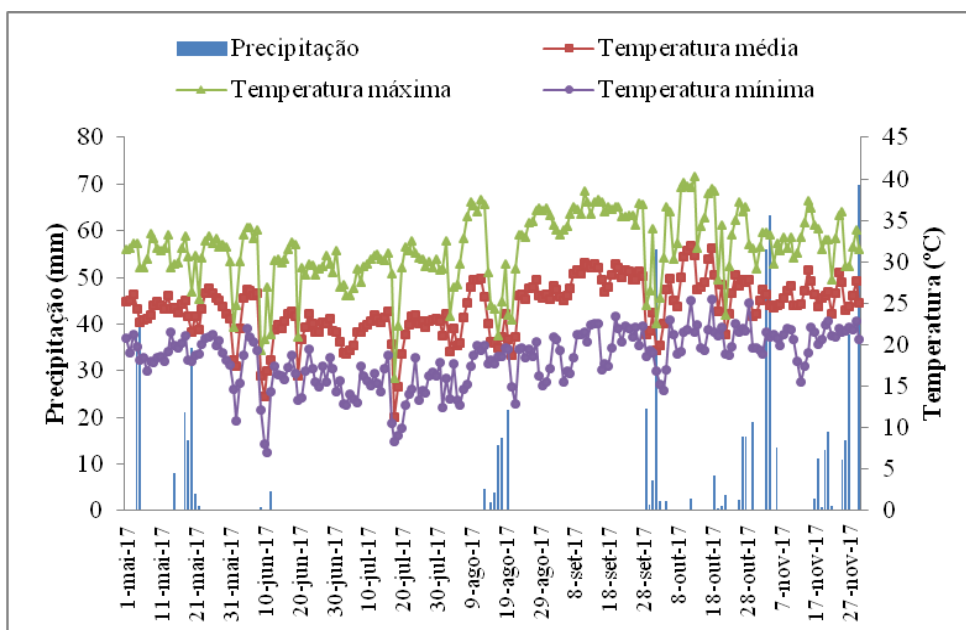
4.2 MATERIAL E METODOS

4.2.1 Localização e histórico da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE da UNESP “Júlio Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, localizada no município Selvíria (MS), sob coordenadas geográficas 20°20'46" S latitude e 51°24'28" W longitude. Segundo Köppen, o clima é classificado como Aw, clima Tropical (ALVARES *et al.*, 2013), apresentando baixa disponibilidade hídrica no inverno e alta no verão, altitude média de 335 m e declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹. O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura argilosa (DEMATTE, 1980 atualizado de acordo SANTOS *et al.*, 2018).

Os dados pluviométricos e as temperaturas médias foram mensurados no período em que foi implantada a cultura do sorgo, de maio a novembro de 2017. No total, foram 698,3 mm de precipitações pluviais, distribuídos mensalmente (Figura 2).

Figura 2 - Valores diários de precipitação pluvial e temperaturas do ar no período de maio a novembro de 2017, durante o período de cultivo do sorgo.



Fonte: Dados da pesquisa.

A irrigação complementar por aspersão foi efetuada por meio de pivô central foi utilizada durante o ano agrícola de 2017, com base no balanço hídrico. A área apresenta como histórico uma sucessão de culturas soja e milho (verão) e feijão e sorgo (inverno) há pelo menos 13 anos em sistema de plantio direto.

Em dezembro de 2016, a área total do experimento recebeu adubação de acordo com as recomendações do Boletim Técnico 100 (RAIJ *et al.*, 1997) na linha de semeadura com 150 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16, além da adubação de cobertura com 200 kg ha^{-1} de Ureia (45% N), realizada em agosto de 2017. Houve duas dessecações das áreas, uma em maio e outra em junho de 2017, dos tratamentos Sistema Plantio Direto Contínuo e Cultivo mínimo com os herbicidas glyphosate ($792,5 \text{ g kg}^{-1}$), na dose de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$, 2,4-D (806 g L^{-1}), na dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ e Paraquat (200 g L^{-1}), na dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$.

Na sequência, antes da semeadura que foi realizada no dia 18 de julho de 2017, o tratamento das sementes de híbrido de sorgo ranchero (SEMEALLI 333.330 sementes ha^{-1}) com Piraclostrobina (25 g L^{-1}) e Tiofanato metílico (225 g L^{-1}) na dose de $150 \text{ mL para } 100 \text{ kg de sementes}^{-1}$ (inseticida).

Foram efetuadas pulverizações, conforme necessário, em área total com os inseticidas e suas respectivas doses, Tiametoxan (141 g L^{-1}), $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ e Lambda-

cialotrina (106 g L^{-1}), $1,0 \text{ L ha}^{-1}$; além do herbicida Atrazina (500 g L^{-1}), na dose de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$.

4.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 7 tratamentos e 4 repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 21 linhas, espaçadas por 0,45 m, com 20 m de comprimento, totalizando uma área de 189 m^2 , e carregadores de 10 m, para manobras de máquinas e equipamentos.

Tratamentos:

1. Arado de Aiveca (AA): Mobilização do solo com arado de aiveca, em área total da parcela experimental, mantendo uma profundidade média de rompimento do solo de 0,30 m. A partir do ano de 2014 (safra/safrinha) vem sendo realizada o preparo convencional do solo. Anteriormente (13 anos atrás), o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema plantio direto.
2. Cultivo Mínimo (CM): Mobilização do solo realizada com escarificador, em área total da parcela, mantendo uma profundidade média de trabalho de 0,35 m. após 20 anos de plantio direto. A partir do ano de 2014 (safra/safrinha) vem sendo realizada a escarificação. Anteriormente (13 anos atrás), o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema plantio direto.
3. Gradagem pesada (GP): Mobilização do solo realizada com grade pesada, em área total da parcela, mantendo uma profundidade média de corte do solo de 0,25 m. A partir do ano de 2014 (safra/safrinha) vem sendo realizada o plantio convencional do solo. Anteriormente (13 anos atrás), o sistema de manejo utilizado nessa área era sistema plantio direto.
4. Sistema Plantio Direto Consolidado (SPDC): Semeadura com mobilização do solo apenas na linha de semeadura por mais de 10 anos, realizada pelo mecanismo sulcador tipo haste da semeadora/adubadora, com profundidade média de trabalho de 0,15 m.
5. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Arado Aiveca (SPDiAA): Mobilização do solo realizada com arado de aiveca sobre plantio direto, ou seja, no ano de 2014, foi realizada uma aração na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014, o manejo utilizado na área foi plantio direto).

6. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Cultivo Mínimo (SPDiCM): Semeadura direta em área onde realizou escarificação. Após 10 anos de plantio direto, ou seja, no ano de 2014, realizou-se escarificação na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014, o manejo utilizado na área foi plantio direto).

7. Sistema de Plantio Direto implantado sobre Grade Pesada (SPDiGP): Mobilização do solo realizada com grade pesada sobre plantio direto. Após 10 anos de plantio direto, ou seja, no ano de 2014, realizou-se uma gradagem na safra, já na safrinha do mesmo ano voltou a ser utilizado o sistema de plantio direto (entre os anos de 2004 a 2014, o manejo utilizado na área foi plantio direto).

4.2.3 Amostragens e atributos do solo avaliados

As análises dos atributos físicos e químicos do solo foram realizadas após a colheita do sorgo (segundo semestre de 2017). Em todas as parcelas experimentais coletaram-se amostras com estrutura deformada, para determinação dos atributos químicos do solo nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, e amostras para determinação da umidade gravimétrica, apresentando 4 repetições por parcela, tendo sido coletadas amostras aleatoriamente.

As amostras foram coletadas com trado holandês e utilizadas para determinar a) teor de fósforo disponível (P) mg dm^{-3} , b) teor de potássio trocável (K^+) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, c) teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, d) teor de magnésio trocável (Mg^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e) soma de bases (SB) %, f) potencial hidrogeniônico (pH) CaCl_2 , g) alumínio trocável (Al^{3+}) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, h) acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, i) capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), j) saturação por bases (V%), k) saturação por alumínio (m%) e l) teor de matéria orgânica (MO) g dm^{-3} , conforme metodologia descrita por Raij *et al.* (2001).

A resistência mecânica do solo à penetração das raízes foi determinada pelo penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, descrito por Stolf (1991), com um ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi obtida pela fórmula dos holandeses (Equação 1), segundo Stolf (1991), onde os valores de resistência à penetração (RP) (kgf cm^{-2}) serão multiplicados pelo fator 0,0980665, para a obtenção da RMSP em MPa, nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20;

0,20-0,30

m.

$$RP = \left[5,581 + 6,891 \cdot \left(\frac{N}{P-A} \cdot 10 \right) \right] \cdot 0,0981 \quad (1)$$

Onde: RP é a resistência mecânica do solo à penetração (MPa); N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; A e P as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

A umidade gravimétrica foi realizada de acordo com a metodologia da Embrapa (2002), onde, pesou-se 20 g de solo, levou para a estufa a 165° C por 24 horas, em seguida pesou-se o solo novamente e calculou-se a umidade gravimétrica por meio da equação:

$$UG = \frac{P_u - P_s}{P_s}$$

Onde: UG é a umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); Pu é o peso úmido da amostra de solo (g) e Ps é o peso seco em estufa da amostra de solo (g).

4.2.4 Avaliações fitotécnicas e componentes de produção do sorgo

Foram avaliados os parâmetros Altura de planta (cm), Altura de panícula (cm), Comprimento de panícula (cm), Diâmetro da panícula (cm), Massa seca de plantas (Mg ha⁻¹), Produtividade de grãos (Mg ha⁻¹) e Stand inicial e final de plantas (CHIODEROLI, 2010).

Análises estatísticas

Para cada atributo foi realizada análise descritiva dos dados com auxílio da estatística clássica, utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997), sendo inicialmente aplicada análise de variância pelo teste F, seguido da comparação de médias duas a duas pelo teste de Scott Knott a 1% de significância.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os atributos químicos do solo estudados (P, MO, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺+Al³⁺, SB, CTC, V% e m%), nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (Tabelas 6, 7 e 8) não houve diferença estatística para os tratamentos.

Tabela 6 - Atributos químicos na camada de 0,00-0,10 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.

Sistemas de manejo	P	MO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V%	m%
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----				
AA	19,5	20,2	5,0	19,7	15,0	1,7	31,7	1,2	36,5	68,2	53,7	3,2
CM	27,2	23,2	5,0	23,7	16,0	1,9	33,5	1,0	41,7	75,2	55,2	2,2
GP	25,2	22,7	5,2	23,2	17,0	1,9	31,7	0,25	42,2	73,9	57,0	0,7
SPDC	24,2	24,5	5,1	25,5	18,0	1,9	34,7	0,25	43,4	80,1	57,2	0,5
SPDiAA	19,2	21,25	4,9	19,7	14,5	1,8	33,2	1,2	36,0	69,3	51,5	4,0
SPDiCM	27,5	22,7	5,4	33,5	24,2	1,7	27,7	0,25	59,5	87,2	67,0	0,5
SPDiGP	30,0	22,5	5,2	28,7	21,5	1,8	28,7	0,50	52,0	80,8	64,0	1,0
Prob > F	0,54 ^{ns}	4,03 ^{ns}	1,85 ^{ns}	4,09 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,80 ^{ns}	3,42 ^{ns}	3,05 ^{ns}	2,87 ^{ns}	2,50 ^{ns}
CV (%)	44,9	6,1	4,5	19,6	25,4	18,7	16,2	103,8	20,5	10,2	11,3	103,2

Nota: ** (1%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 7 - Atributos químicos na camada de 0,10-0,20 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.

Sistemas de manejo	P	MO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V%	m%
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----				
AA	16,5	19,2	4,9	17,7	14,5	1,6	33,2	1,5	33,8	67,1	50,2	4,7
CM	27,2	21,2	4,9	22,0	16,5	1,8	35,2	1,7	40,3	75,6	53,0	4,0
GP	17,5	20,8	4,9	17,2	14,2	1,7	33,5	1,7	33,2	66,7	49,7	5,2
SPDC	19,7	20,8	4,8	18,7	14,5	1,7	38,7	1,7	34,9	73,7	48,0	4,7
SPDiAA	16,5	18,5	4,7	15,0	11,7	1,6	37,2	2,2	28,3	65,6	42,7	8,5
SPDiCM	26,5	19,2	4,8	18,5	14,2	1,6	36,2	2,0	34,3	70,6	48,7	5,5
SPDiGP	24,0	19,8	4,8	20,0	16,0	1,6	34,0	2,0	37,6	71,6	52,0	5,5
Prob > F	0,77 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,85 ^{ns}
CV (%)	50,7	7,06	3,6	19,94	19,0	15,6	11,5	40,7	18,2	7,8	13,1	57,2

Nota: ** (1%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 8 - Atributos químicos na camada de 0,20-0,30 m de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.

Sistemas de manejo	P	MO	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V%	m%
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----			----- % -----					
AA	11,7	17,5	4,7	9,5	11,2	1,5	34,0	2,5	22,2	56,2	39,2	10,5
CM	13,7	17,5	4,6	13,5	10,7	1,5	37,2	2,2	25,2	63,0	41,2	7,7
GP	11,5	18,0	4,8	14,5	12,0	1,5	35,2	2,0	28,0	63,3	44,5	6,7
SPDC	12,2	17,0	4,6	12,2	10,2	1,6	38,5	2,2	24,1	62,6	39,0	8,7
SPDiAA	9,5	16,5	4,5	10,5	9,0	1,5	36,2	2,5	20,1	57,2	36,5	11,0
SPDiCM	11,2	16,7	4,5	11,2	9,5	1,3	38,2	2,5	22,0	60,3	36,2	10,2
SPDiGP	13,2	16,5	4,6	13,0	10,7	1,4	36,0	2,7	25,2	61,2	40,2	11,7
Prob > F	0,32 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,83 ^{ns}
CV (%)	40,8	9,8	3,9	26,7	19,2	9,9	12,2	32,5	18,7	10,0	14,7	42,0

Nota: ** (1%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. P - fósforo disponível, MO - teor de matéria orgânica, pH - potencial hidrogeniônico, Ca²⁺ - cálcio trocável, Mg²⁺ - magnésio trocável, K⁺ - potássio trocável, H+Al - acidez potencial, Al³⁺ - alumínio trocável, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7, V% - saturação por bases, m% - saturação por alumínio.

Fonte: Dados da pesquisa.

Em superfície, ou seja, na camada de 0,00-0,10 m, ainda que sem diferença estatística, os sistemas de manejo interferiram no teor de matéria orgânica do solo, sendo que o sistema de plantio direto apresentou maior teor de matéria orgânica (24,5 g dm⁻³) e o menor teor no sistema convencional (20,2 g dm⁻³) como esperado com base na literatura.

Quando do cultivo da soja sob plantio direto e convencional em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, o sistema plantio direto promoveu maior teor de carbono orgânico total e os solos onde utilizou-se o plantio convencional apresentaram redução nos valores de carbono orgânico total, devido ao revolvimento do solo (FEITOSA JÚNIOR *et al.*, 2019), fato esse corroborado por Corrêa (2002), que ao avaliarem o efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, textura média, afirmam que o revolvimento do solo favoreceu uma maior taxa de oxidação do carbono orgânico resultando na diminuição do teor de carbono no solo, uma vez que no

sistema plantio direto a quantidade de resíduos vegetais que retorna ao solo é maior que em sistemas que envolvem o revolvimento do solo.

Gazolla *et al.* (2015), ao avaliarem carbono orgânico total em um LATOSSOLO VERMELHO em sistemas de manejo (plantio direto, integração lavoura-pecuária, Cerrado natural e pastagem), observaram que solos onde há o revolvimento têm menor conteúdo de carbono, quando comparados com áreas não manejadas, afirmando o que foi apresentando na Tabela 6, onde os tratamentos que receberam aração em algum momento (AA e SPDIAA) apresentaram os menores teores de MO ($20,5 \text{ g dm}^{-3}$ e $21,25 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente).

Os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} foram maiores no sistema SPDICM ($33,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $24,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) devido não ter ocorrido o revolvimento do solo nesse sistema, não houve a inversão das camadas do solo, assim, as aplicações de calcário acumularam-se nas primeiras camadas do solo, justificando grande acúmulo de cálcio e magnésio na camada de 0,00-0,10 m. Onde houve grande revolvimento e inversão de camadas de solo, como o tratamento AA, a incorporação do calcário faz com que estes nutrientes se distribuam ao longo do perfil do solo.

Ao adotar o sistemas de plantio convencional do solo, ocorre o revolvimento do mesmo, e uma das maiores vantagens desses sistemas é o condicionamento químico e estrutural do solo nas camadas mais profundas, pelo fato de auxiliar no aprofundamento radicular e utilização de um maior volume de recursos disponíveis nestas camadas, fato este que não foi observado nesse estudo, evidenciando que nenhum dos sistemas de manejo interferiu de maneira relevante no desenvolvimento e utilização de nutrientes pelas plantas de sorgo.

Em sub superfície, como mencionado anteriormente, nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (Tabelas 7 e 8), não houve diferença estatística para nenhum dos atributos químicos avaliados. Santos *et al.* (2017), ao estudarem os atributos químicos de um LATOSSOLO sob sistemas de manejo encontraram que, pelo fato da SB e a V% serem dependentes das bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , apresentam o mesmo comportamento na sub superfície do solo tendendo a apresentar maiores concentrações nas primeiras camadas quando não há revolvimento, o que corrobora com os resultados observados nesse estudo.

Ao avaliar os atributos físicos do solo, nota-se diferença entre os tratamentos estudados para Resistência à Penetração nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Em ambas as camadas, o tratamento SPDIGP (4,37 e 5,15 MPa) apresentou os

maiores valores de RP, bem como o CM (3,01 e 3,53 MPa) os menores valores para este atributo (Tabela 9).

Tabela 9 - Atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO cultivado em diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.

Sistemas de manejo	RP	UG	RP	UG	RP	UG
	0,00-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,30 m	
AA	3,98	0,16	3,82a	0,18	3,95a	0,18
CM	3,62	0,14	3,01b	0,18	3,53a	0,19
GP	4,05	0,17	4,02a	0,15	4,05a	0,17
SPDC	4,91	0,16	3,79a	0,17	3,97a	0,18
SPDiAA	5,75	0,16	4,12a	0,17	3,81a	0,18
SPDiCM	4,52	0,17	4,18a	0,17	4,30a	0,18
SPDiGP	5,04	0,16	4,37a	0,18	5,15b	0,19
Prob > F	1,88 ^{ns}	1,74 ^{ns}	6,29 ^{**}	3,31 ^{ns}	2,68 ^{**}	0,72 ^{ns}
CV (%)	26,6	9,9	9,0	7,1	15,3	6,4

Nota: ** (1%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto. RP – Resistência do solo à penetração (MPa) e UG – Umidade gravimétrica do solo (kg kg⁻¹).

Fonte: Dados da pesquisa.

Na camada de 0,10-0,20m, o tratamento CM diferiu dos demais, com menor valor de RP (3,01 MPa), enquanto que na camada de 0,20-0,30 m o tratamento SPDiGP diferiu dos demais, com o maior valor de RP (5,15 MPa). Este comportamento evidencia a influência dos sistemas de manejo em profundidade, onde os efeitos das atividades mecanizadas são intensos e provocam pé de grade/arado nas camadas abaixo de onde houve ação destes implementos (grade e arado), enquanto que onde se utiliza manejo conservacionista ocorre benefícios em profundidade.

Cortez *et al.* (2011), ao avaliarem resistência mecânica à penetração em um ARGISSOLO AMARELO, após preparo com quatro implementos agrícolas (escarificador, grade leve em tandem, grade leve off-set com discos de 0,56 m e grade leve off-set com discos de 0,61 m), afirmaram que a RP apresentou valores adequados na profundidade de trabalho de cada equipamento, porém foi maior nas camadas situadas abaixo, exceto no preparo do solo com escarificador, que

inclusive rompeu camadas compactadas subsuperficiais, fato este que também observado na Tabela 9.

É importante destacar que a compactação do solo limita o crescimento radicular das plantas, além de diminuir a disponibilidade de água e oxigênio no solo (BROCH; ROSCOE, 2010); diante do exposto, alguns autores afirmaram que o limite crítico de resistência à penetração para as culturas é acima de 2 MPa (TORMENA *et al.*, 1998),

Todavia, outros autores, ao estudarem os impactos do manejo do solo sobre os atributos físicos de monocultivos de soja e eucalipto, observaram que os maiores valores de resistência à penetração foram em sistemas com preparo convencional e cultivado com soja a partir da profundidade 0,10 m, alcançando o valor 6,0 MPa, classificado como muito alto (IBIAPINA *et al.*, 2014). Beutler; Centurion e Silva, 2004), ao avaliarem o intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em LATOSSOLOS, enfatizam que o valor crítico de resistência à penetração pode ser influenciado pelo sistema de manejo, rotação de cultura e tipo de solo, conforme os resultados observados na Tabela 9.

Ao avaliarem sobre a resistência mecânica do solo à penetração também em LATOSSOLO VERMELHO sob sistema de plantio direto a longo prazo, avaliou-se a variabilidade espacial da RP, e a eficiência de escarificadores mecânicos e o seu efeito na produtividade da soja, obtiveram predominância de valores entre 3,0 e 5,0 MPa, além de uma redução de até 38% na produtividade da soja (GIRARDELLO *et al.*, 2014).

Não houve diferença entre os tratamentos avaliados em nenhuma das profundidades estudadas para o atributo UG (Tabela 9). Os valores de UG não apresentaram diferença, pois na ausência de chuvas e conforme necessário, foi realizado o uso da irrigação.

Para os atributos fitotécnicos de plantas de sorgo avaliados, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 10). Contudo, do ponto de vista econômico, o CM apresentou maior produtividade ($6,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), devido provavelmente a utilização de escarificador e ao não revolvimento do solo, práticas estas que implicam diretamente em elevação do custo de produção.

Tabela 10 - Parâmetros fitotécnicos de plantas de sorgo cultivada em LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas de manejo do solo com a cultura do sorgo.

Sistemas manejo	Alt. plantas	Alt. panícula	Compr. panícula	Diâmetro panícula	Massa seca de plantas	Prod.	Stand inicial	Stand final
	cm			n	Mg ha ⁻¹		n	
AA	88,0	109,0	28,0	1,3	7,3	5,5	11,5	10,2
CM	91,8	111,6	28,0	1,4	8,0	6,8	12,0	11,2
GP	87,4	107,2	27,7	1,2	8,1	6,4	10,7	10,5
SPDC	89,8	108,8	28,3	1,4	8,3	5,6	11,4	10,2
SPDiAA	87,7	103,2	27,7	1,4	8,9	6,6	11,1	10,5
SPDiCM	92,6	109,6	28,2	1,4	8,2	6,5	10,3	10,9
SPDiGP	88,6	109,5	28,4	1,3	8,4	6,1	11,2	9,7
Prob > F	0,99 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,87 ^{ns}
CV (%)	4,6	5,7	6,9	9,1	12,9	12,7	7,5	6,5

Nota: ** (1%); ^{ns} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. AA - Preparo convencional com arado de aiveca, CM - Cultivo mínimo, GP - Preparo convencional com grade pesada, SPDC - Sistema de plantio direto consolidado, SPDiAA - Arado de aiveca seguido de sistema de plantio direto, SPDiCM - Cultivo mínimo seguido de sistema de plantio direto, SPDiGP - Grade pesada seguida de sistema de plantio direto; Alt. plantas - altura de plantas, Alt. panícula - altura de panícula, Compr. panícula - comprimento de panícula.

Fonte: Dados da pesquisa.

Assim, o tratamento CM se destacou como o sistema de manejo mais adequado para o cultivo do sorgo, mesmo não apresentando diferença entre os demais sistemas de manejos do solo.

Conforme exibido na Tabela 10, a manutenção do maior stand final de plantas no tratamento cultivo mínimo proporcionou aumento no número de panículas e, conseqüentemente, maior produtividade.

A menor produtividade nos sistemas convencionais de preparo de solo pode ser atribuída ao maior revolvimento de solo, que promoveu maior resistência à penetração em sub superfície, proporcionando condições restritivas ao desenvolvimento das plantas, como baixa aeração e retenção de água. Autores relataram que a produtividade de massa seca de plantas e grãos de sorgo são maiores no sistema de plantio direto quando comparados a sistemas de manejo convencionais, isso devido à maior cobertura do solo por restos de culturas que proporcionam maior retenção de água (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

4.4 CONCLUSÕES

O cultivo mínimo foi o mais adequado para a cultura do sorgo irrigado, cultivado em cerrado de baixa altitude.

A resistência à penetração demonstrou ser um bom indicador de qualidade do solo em profundidade.

Os atributos químicos não foram influenciados pelos sistemas de manejo estudados.

Os parâmetros fitotécnicos do sorgo não apresentaram interferência significativa nos sistemas de manejo adotados.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A.; UCHÔA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.
- AL-KAISI, M. M.; YIN, X. H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 2, p. 437-445, 2005.
- ALMEIDA, V.; ALVES JUNIOR, J.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science And Technology**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 256-273, 2018.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2505-2516, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600027>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- AMORIM, F. A.; HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B.; LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, C. D. L. Época de semeadura no potencial produtivo de soja em Uberlândia-MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p.1793-1802, 2011.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 932-937, 2013.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 857-865, 2000.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T.; GRIFFIS, T. J. Tillage and soil carbon sequestration-what do we really know? **Agriculture Ecosystem & Environment**, [s. l.], v. 118, n. 1, p. 1-5, 2007.
- BARIZON, R. R. M. **Calagem na superfície para a cultura da soja, em semeadura direta sobre (*Brachiaria brizantha*)**. 2001. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A. & SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 681-691, 2010.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 555-560, 2001.

BERTOL, I.; VASQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 245-252, 2010.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. S. Intervalo hídrico ótimo e a produção da soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, Botucatu, v. 9, p. 181-192, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 146-151, 2007.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 975-983, 2008.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. **Critical Reviews in Plant Sciences**, [s. l.], v. 28, p. 139–163, 2009.

BONINI, C. S. B. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos**. 2012. 167 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106189>. Acesso em: 20 out. 2020.

BORGHI, E.; MELLO, L. M. M. de; CRUSCIOL, C. A. C. Adubação por área e por planta, densidade populacional e desenvolvimento do milho em função do sistema de manejo do solo. **Acta Scientiarum**: Agronomy, Maringá, v. 26, p. 337-345, 2004.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. *In*: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: Crambe 2010. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, p. 22-36.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 3-12, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.06.006>.

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente On-line**, [Boa Vista], v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, 2016. 1819 p. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi_agua.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, 2002.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI AS, P. J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 274-89, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo de fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 661-669, 2004.

CHAN, K. Y.; OATES, A.; SWAN, A. D.; HAYES, R. C.; DEAR, B.S.; PEOPLES, M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 13-21, 2006.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots thorough compacted soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 331, p. 31-43, 2010.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes

sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 12, n. 1, p. 21-29, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: maio/2018 - oitavo levantamento. Brasília, DF: Conab, 2018. v. 5. 148 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: abril/2019 - sétimo levantamento. Brasília: Conab, 2019. v. 6. 119 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: fevereiro/2020 - quinto levantamento. Brasília, DF: Conab, 2020. v. 7. 114 p.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de uma Latossolo Vermelho Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 203-209, 2002.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

CHIODEROLI, A. C. **Consortiação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura-pecuária**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/98794>. Acesso em: 20 out. 2020.

CORONEL, D. A. **Fontes de crescimento e orientação regional das exportações brasileiras do complexo soja**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CRUZ, S. C. S.; SENA JUNIOR, D. G.; SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, p. 1-6, 2006.

DALLMEYER, A. U. **Eficiência energética e operacional de equipamentos conjugados de preparo de solo**. 1994. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do "Campus experimental de Ilha Solteira"**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1980. p. 11-31.

DEUBEL, A.; HOFMANN, B.; ORZESSEK, D. Long-term effects of tillage on stratification and plant availability of phosphate and potassium in a loess chernozem. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 85-92, 2011.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p. 159–116, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultura do algodão no cerrado**. Brasília, DF: Embrapa, 2003. Sistemas de produção, 2).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.-. **Agência Embrapa de Informações Técnicas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020a. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 27 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do sorgo**: ecofisiologia. Brasília, DF: Embrapa, 2020b. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3809&p_r_p_-996514994_topicId=3532. Acesso em: 10 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Histórico da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em: 13 jun. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Soja em números (safra 2018/19)**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 15 jun. 2020.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FEITOSA JÚNIOR, F. R.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; SANTOS, J. R. S.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Sistemas de manejo e parâmetros da matéria orgânica de um solo do cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracajú, v. 10, n. 3, p. 298-312, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0025

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G.. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.2, p.177-183, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200002>.

FERREIRA, B. G. C.; FREITAS, M. M. L.; MOREIRA, G. C. Custo operacional efetivo de produção de soja em sistema de plantio direto. **Revista IPecege**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 39-50, 2015.

FOLLONI, J. S.; SIMONETI, S. L. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n.1, p. 49-57, 2006.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

FREITAS, L. A. *et al.* Efeito dos sistemas conservacionistas do solo e residual do gesso sobre a cultura da soja. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v. 4, n. 6, p.375-379, nov. 2016. Disponível em: <https://goo.gl/8tcVgj>. Acesso em: 17 mar. 2020.

FREITAS, L. *et al.* Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 26, p. 1-18, 2017.

FREITAS, L. A.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; YANO, E. H.; SOARES, D. A., PEREIRA, D. S. Atributos físicos do solo e fenológicos da soja em diferentes sistemas de manejo e gesso. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [Recife], v. 12, p. 508-515, 2017. DOI: 10.5039/agraria.v12i4a5487

GAZZOLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; JUNIOR, K.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, p. 1234-1244, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020>

GOMES, S. C. M. P. **Produção de etanol utilizando mix de sorgo BRS 508 e cana-de-açúcar em processo de maturação**. 2014. 51 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/110642>. Acesso em: 20 out. 2020.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 909-920, 2012.

GUBIANI, P. I.; VAN, L. I. E. R.; QDE, J.; DRESCHER, M. S.; MEZZOMO, H. C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 100–108, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150317>

HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, p. 209-223, 1998.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Manejo e conservação de solos. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Milho**: informações técnicas. Dourados: Embrapa, CPAO, 1997. p. 39-67.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 1055-1061, 2012.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G.; SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Revista Científica**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 411-418, 2014.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JIN, H.; HONGWEN, L.; RABI G. RASAILY, R. G.; QINGJIE, W.; GUOHUA, C.; YANBO, S.; XIAODONG, Q.; LIJIN, L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, p. 48-54, 2011.

KARLEN, D. L.; KOVAR, J. L.; CAMBARDELLA, C. A.; COLVIN, T. S. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, p. 24-41, 2013.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; PETH, S.; BERLI, M.; DELENNE, J.-Y.; BAUMGARTEN, W.; RABEL, W.; RADJAÏ, F.; RAJCHENBACH, J.; SELVADURAI, A.P.S.; OR, D. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 128, p. 61-80, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.10.004.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KLEIN, V. A.; CAMARA R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 221-227, 2007.

LANA, R. M. Q.; BUCK, G. B.; LANA, A. M. Q.; PEREIRA, R. P. Doses de multifosfato magnesiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto: cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1654-1660, 2007.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.

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

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 64, p. 194-200, 2013.

LINHARES, J. M. S.; BASTOS, W. R.; JUNIOR, R. F. S.; OLIVEIRA, L. C. S. Variabilidade de atributos físico-químicos e dos estoques de carbono orgânico em Argissolo Vermelho sob sistemas agrofloretais no Assentamento Umari Sul do Amazonas. **Revista Geográfica Acadêmica**, [Paricarana], v. 10, n. 1, p. 2016.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 1-64.

LOPES, I. V. Uma liderança ameaçada. **Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 58, p. 40-41, 2004.

MASSON, I. S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

MALLARINO, A. P.; BORGES, R. Phosphorus and potassium distribution in soil following long-term deep-band fertilization in different tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 702-707, 2006.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

MARCHINI, T. C.; LING, M. C.; ALVES, S.; CRESTANA, S.; N. SOUTO FILHO, O. G. Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 574-580, 2015.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T.; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, [Recife], v. 7, p. 414-420, 2012.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no Estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 257-266, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.031>.

McBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 866-870, 1979.

McINTYRE, D.S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 185-189, 1958.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 563-572, 2005.

MONTANARI, R. **Atributos do solo e componentes produtivos da cultura da pupunha: uma abordagem linear, geoestatística e multivariada**. 2016. 106 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140270/000867298.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 out. 2020.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DLACHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009.

MONTEIRO, M. A. C.; ZOZ, A.; LIMEDE, A. C.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZOZ, T. Efeito do preparo do solo com diferentes implementos sobre a resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, p. 63-68, 2017.

MURAGE, E. W.; VORONEY, P. R.; KAY, B. D.; DEEN, B.; BEYAERT, R. P. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 4, p. 1363-1370, 2007.

NASCIMENTO, M. N. *et al.* Efeito de sistemas de manejo do solo e velocidade de semeadura no desenvolvimento do sorgo forrageiro. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 2, p. 332-337, 2014.

PEDRO VAZ, C. M.; PRIMAVESI, O.; PATIZZI, V. C.; LOSSI, M. F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2002. 5 p. Comunicado técnico, 51.

PEDROTTI, A.; SILVA, T. O. DA; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO FILHO, R. N. DE; HOLANDA, F. S. R. Atributos químicos do solo modificados por diferentes sistemas de cultivo associados a culturas antecessoras ao cultivo do milho, nos Tabuleiros Costeiros. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 27, p. 292-305, 2015.

PINHO, R. M. A.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. Sorghum cultivars of different purposes silage. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 298-303, 2015.

QUEIROZ, E. F.; NEUMAIER, N.; TORRES, E.; PEREIRA, L. A. G.; BIANCHETTI, A.; TERAZAWA, F.; PALHANO, J. B.; YAMASHITA, J. Recomendações técnicas para a colheita mecânica. In: MIYASAKA, S., MEDINA, J.C. (ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 701-10.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 929-938, 2000.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. Boletim Técnico, 100.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. p. 189-199.

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-135.

REIS, G.N. *et al.* Avaliação de desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasileira, DF, v. 51, p. 1623-1632, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900062

RIBAS, P. M. **Cultivo do sorgo**: importância econômica. Brasília, DF: Embrapa, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491783/4/Importanciaeconomica.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

RICHART, A. *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROBOREDO, D.; MAIA, J. C. de S.; OLIVEIRA, O. J.; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 307-314, 2010.

RODRIGUES, J. A. S. **Sistema de produção**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 30 p.

ROMERO, M. L. F.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; LOZANO-GARCÍA, B.; CLARK, J. M.; COLLINS, C. D.. Soil quality assessment based on carbon stratification index in different olive grove management practices in Mediterranean áreas. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 449-458, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.019>

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C.; NATIRA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 247-254, 2013.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 821-828, 1999.

ROSSETI, K. V.; CENTURION, J. F. Indicadores de qualidade em Latossolos compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho. **Revista Agro@mbiente On-line**, [Boa Vista], v. 11, p. 181-190. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v11i3.3845

SALEM, H. M.; SALEM, C. V.; MUÑOZ, M. A.; RODRÍGUEZ, M. G.; SILVA L. L. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. **Geoderma**, Amsterdam, v. 237–238, p. 60–70, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.014>

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; KOMATSU, R. S.; ARAÚJO DA SILVA, W.; RIBEIRO, M. I. D. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, p. 22-42, 2018.

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P.; CALDAS, M. B.; ROQUE C. G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, p. 36–42, 2017.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2018. 356 p.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery: Soil physical and mechanical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, p. 28-43, 2007.

SCHJØNNING, P.; HECKRATH, G.; CHRISTENSEN, B.T. **Threats to soil quality in Denmark**: a review of existing knowledge in the context of the EU Soil Thematic Strategy. Tjele: Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences, 2009. 121 p. DJF Report Plant Science, 143.

SCHLOTZHAUER, S.; LITTEL, R. C. **SAS System for Elementary Statistical Analysis**. 2. ed. Cary: SAS Institute, 1997. p. 183-279.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 487-533.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n. 4, p. 794-798, 2005.

SILVA, R. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Comparação entre os métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 1065-1068, 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 795-801, 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

SIQUEIRA, G. M.; MIGUEL, F. R. M.; GREGO, C. R.; XAVIER, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; VIEIRA, S. R. Compactación del suelo y desarrollo de raíces de caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.). In: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20., 2006, Salta-Jujuy. **Anais [...]** Salta-Jujuy: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2006.

SO, H. B.; GRABSKI, A.; DESBOROUGH, P. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. **Soil and tillage research**, Amsterdam, v. 104, p. 180-184, 2009.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. Cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, F. R.; ROSA, E. J. J.; FIETZ, C. R. Atributos físicos e desempenho agrônomo da cultura da soja em um latossolo vermelho distroférrico submetido a dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 1357-1364, 2010.

SOUZA, F. H. **Desempenho das culturas de soja e milho e atributos físicos do solo em diferentes sistemas de preparo e retomada do sistema de plantio direto**. 2017. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151916>. Acesso em: 20 out. 2020.

SOUZA, G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589- 596, 2008.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distroférrico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos

atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 533-542, 2004.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. S.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-309, 2013.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 229-235, 1991.

TABOADA, M. A.; ALVAREZ, C. R. Abundância de raízes de milho (*Zea mays* L.) em solos de Argentina sob preparo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 769-779, 2008.

THEODORO, G. F.; GOLIN, H. O.; SILVA, M. S.; REZENDE, R. P.; ABREU, V. L. S. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, p. 25-30, 2018.

THOMAS, G. A.; DALAL, R. C.; STANDLEY, J. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 295-304, 2007.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1609-1618, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Foreign Agricultural Service. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Crop explorer**: production briefs: Brazil. Agricultural Service. Brazil Soybeans: 2018/19 Production Forecast to Match Last Year's Record, May 2019. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropeexplorer/pecad_stories.aspx?regionid=br&ftype=prodbriefs. Acesso em: 02 maio 2020.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VALENTE, G. F.; SILVA, V. F. A.; SILVA, J. N.; PINTO, D. R. S.; GALVÃO, J.R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde**, [Erechim], v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019.
DOI: 10.18378/rvads.v14i1.5892

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, p. 21–26, 2016.