



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – AGRICULTURA TROPICAL

BRUNO KARVAND FERREIRA SOARES

QUALIDADE FÍSICA DE EM UM LATOSSOLO AMARELO SOB PLANTIO
DIRETO APÓS ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA

TERESINA – PI

2018

BRUNO KARVAND FERREIRA SOARES

QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB PLANTIO DIRETO
APÓS ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – área de concentração: Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

TERESINA – PI

2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

S676 Soares, Bruno Karvand Ferreira

Qualidade física de um latossolo amarelo sob plantio direto após
escarificação mecânica. / Bruno Karvand Ferreira Soares - 2018.
48 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

1. Resistência a penetração do solo 2. Qualidade física 3. Cerrado
I. Título

CDD 631.4

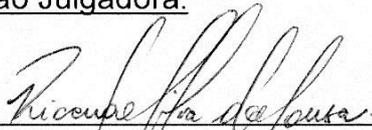
BRUNO KARVAND FERREIRA SOARES

**INDICADORES FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO
APÓS ESCARIFICAÇÃO.**

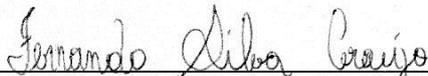
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADO em 31 de julho de 2018.

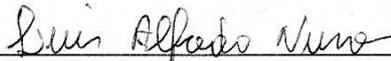
Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa – UFPI



Prof. Dr. Fernando Silva Araújo – UESPI



Prof. Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes – CCA/UFPI
(Orientador)

TERESINA-PI

2018

BIOGRAFIA DO AUTOR

Bruno Karvand Ferreira Soares, filho de Francisco das Chagas Coelho Soares e Francisca Ferreira Soares, irmão de Braúlio Spencer Ferreira Soares, casado com Tamires de Melo Pinheiro Soares, nasceu em 04 de agosto de 1987 em Teresina – PI. Ingressou na Universidade Estadual do Piauí (UESPI) em março de 2006 no curso de Engenharia Agrônômica, diplomando-se em dezembro de 2010. Em 2016.2 iniciou sua pós-graduação em Agronomia – Produção vegetal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Ministro Petrônio Portela - Teresina- PI.

A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmos sempre depois de cada queda.

Oliver Goldsmith

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

Á minha esposa, Tamires de Melo Pinheiro Soares por ser uma mulher de garra a qual tenho muito amor, respeito e carinho. A mesma sempre me deu apoio nas decisões tomadas. Ao meu filho Arthur Gabriel Pinheiro Soares, que me traz muita alegria e felicidade.

Aos meus pais, Francisco das Chagas Coelho Soares e Francisca Ferreira Soares, pelo amor incondicional, zelo, educação, exemplo de humildade e por me proporcionar um lar feliz.

Aos meus avós paternos e maternos e toda a família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, oportunidades concedidas e pela força e sabedoria para percorrer todo esse caminho.

Aos meus pais, Francisco das Chagas Coelho Soares e Francisca Ferreira Soares, pelo amor, pelo apoio constante e por estarem presentes em todos os momentos.

A minha esposa, Tamires de Melo Pinheiro Soares, pelo amor, por me ajudar nos momentos de maior dificuldade durante o dia-a-dia.

Ao meu filho que nasceu e me trouxe muita alegria.

A toda minha família pelo apoio e incentivo.

A Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) pela oportunidade da realização do mestrado.

A todos os professores do PPGA pelo conhecimento adquirido.

Ao meu orientador Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes pela orientação, amizade e oportunidades de crescimento.

Aos membros da banca examinadora, por participarem da banca e pelas críticas e sugestões, fundamentais para a melhoria deste trabalho.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Análise de Solos (LASO): Sandra Mara, Rafael e Hélio (*in memorian*), meu muito obrigado!

Ao meu caríssimo amigo Mestre em Solos e Nutrição de Plantas Leovânio Rodrigues Barbosa, pela amizade, incentivo e consideráveis ajudas nos momentos que precisei durante meu Mestrado.

Ao professor Dr. Ricardo Silva de Sousa pela contribuição neste trabalho.

A Fazenda Real Chapada Grande pela oportunidade de realização da pesquisa.

A minha turma de mestrado pela amizade e união nos momentos de alegria e tristeza.

Ao secretário Vicente, que partiu e deixou uma grande contribuição ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA)

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Potencialidades do cerrado piauiense	3
2.2. Manejo do solo	4
2.3 Indicadores de qualidade física do solo	7
2.4 Efeito da escarificação na qualidade física do solo	8
3. REFERÊNCIAS	10
CAPÍTULO II	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.1 Descrição e localização da área experimental.....	21
2.2 Análise granulométrica.....	22
2.3 Densidade do solo	22
2.4 Porosidade do solo (PT, Map, Mip).....	23
2.5 Estabilidade de agregados	23
2.6 Resistência à penetração do solo	24
2.7 Carbono orgânico total	25
2.8 Análise estatística	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4. CONCLUSÃO	32
5. REFERÊNCIAS	33

RESUMO GERAL

SOARES, BRUNO KARVAND FERREIRA. QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB PLANTIO DIRETO APÓS ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA. 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – área agricultura tropical), UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ.

A ausência do revolvimento do solo combinado ao tráfego de máquinas no sistema de plantio direto promove a formação de áreas compactadas sendo necessário o uso do escarificador para melhorar os atributos físicos do solo, com efeitos benéficos para o cultivo agrícola. Este trabalho objetivou, avaliar os efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos de um Latossolo Amarelo cultivado com soja no cerrado piauiense. Foram escolhidas áreas cultivadas com soja com dois anos (CS2) e dez (CS10) anos sem escarificação, e uma área cultivada com soja a dez (ESC) anos escarificada, além de uma área de mata nativa de cerrado (VN) usada como controle. Em cada área foram demarcadas parcelas de 50 x 50 m, para a realização da coleta de solo nas camadas de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, e avaliação dos indicadores físicos de qualidade do solo. A escarificação diminuiu a densidade do solo (D_s) na área ESC em relação a área CS10. Para a porosidade total (Pt), as áreas VN e CS2, mostraram os maiores valores 62,79 e 63,06 %, respectivamente, em relação as demais áreas. Os menores valores de resistência a penetração do solo (RPS) foram encontrados nas áreas sob CS2 e VN. O maior valor de RPS foi de 3,81 (MPa) para CS10. A escarificação promoveu melhorias nos indicadores físicos na camada superficial do solo.

Palavras-chave: resistência a penetração do solo, qualidade física, cerrado

GENERAL ABSTRACT

SOARES, BRUNO KARVAND FERREIRA. PHYSICAL QUALITY OF A YELLOW LATOSOL UNDER NO-TILLAGE AFTER MECHANICAL SCARIFICATION. 2018. 49 f. Dissertation (Master in Agronomy - tropical agriculture area), FEDERAL UNIVERSIT OF PIAUÍ.

The absence of soil revolving combined with the machine traffic in the no-tillage system promotes the formation of compacted areas and it is necessary to use the scarifier to improve the physical attributes of the soil, with beneficial effects for agricultural cultivation. This work aimed to evaluate the effects of mechanical scarification on the physical attributes of a Yellow Latosol cultivated with soybean in the PiauÍ cerrado. Two cultivated areas with two years (CS2) and ten (CS10) years without chiseling were selected, and an area planted with soybean at ten (ESC) years scarified, as well as an area of native forest of cerrado (VN) used as control. In each area, plots of 50 x 50 m were demarcated to perform the soil collection in the layers of 0.0 - 0.20 m and 0.20 - 0.40 m, and evaluation of the physical indicators of soil quality. Scarification decreased the soil density (Ds) in the ESC area in relation to the CS10 area. For the total porosity (Pt), the areas VN and CS2, showed the highest values 62.79 and 63.06%, respectively, in relation to the other areas. The lowest values of soil penetration resistance (RPS) were found in areas under CS2 and VN. The highest RPS value was 3.81 (MPa) for CS10. Scarification promoted improvements in physical indicators in the topsoil.

Keywords: resistance to soil penetration, physical quality, cerrado.

Adviser: Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – UFPI.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Dados históricos de produção e produtividade da soja para o Estado do Piauí entre os anos de 2010 a 201.....	3
---	---

Capítulo 2

Tabela 1. Composição granulométrica dos solos nos sistemas de manejo estudados....	21
---	----

Tabela 2. Histórico e descrição dos sistemas estudados.....	22
--	----

Tabela 3. Umidade Gravimétrica de um Latossolo Amarelo sobre diferentes sistemas de manejo.....	24
--	----

Tabela 4. Classe de resistência a penetração do solo	25
---	----

Tabela 5. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA), carbono orgânico total (COT) e resistência a penetração do solo (RPS) em duas profundidades de um Latossolo Amarelo, nos sistemas de manejo estudados.....	26
--	----

Figura 1. Resistência do solo à penetração vertical em um Latossolo Amarelo nos sistemas de manejo estudados.....	30
--	----

Figura 2. Componentes principais (CP1 e CP2) com base nas variáveis do solo das diferentes áreas estudadas em duas profundidades (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m).....	31
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

COT - Carbono orgânico total

Ds - Densidade do solo

Dp - Densidade de partícula

DMP – Diâmetro médio de ponderado

IEA - Índice de estabilidade de agregados

Map - Macroporosidade

Mip - Microporosidade

PT- Porosidade total

RPS- Resistência à penetração do solo

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cerrado piauiense ocupa uma área de aproximadamente 12 milhões de hectares e está inserida na atual fronteira agrícola brasileira, denominada de MATOPIBA, sigla do conjunto de áreas de cerrado dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Na região do cerrado piauiense, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), o ano agrícola 2017/2018 teve uma safra de grãos recorde, atingindo mais de 4 mil t, o que corresponde à 12% a mais do que ano agrícola 2016/2017.

No cerrado, os Latossolos são a classe de solos predominante, e por possuir características físicas favoráveis como boa estruturação, ser bem drenável, profundos (acima de 200 cm) e estarem presentes em topografia plana ou suavemente ondulados (SBCS, 2013), são considerados solos ideais para exploração agrícola de larga escala.

Nos últimos anos a agricultura realizada na região do cerrado piauiense vêm adotando o sistema de plantio direto motivada pelo aumento de ganho de produção e pela conscientização por parte dos produtores do efeito degradante ao solo provocado pelo manejo convencional. Barbosa et al. (2016) ao estudarem os atributos físicos do solo em áreas sob manejo convencional no cerrado piauiense, concluíram que com o passar dos anos, áreas sob manejo convencional perdem sua qualidade física.

Entretanto, no plantio direto apesar da reduzida movimentação do solo, o tráfego de máquinas e implementos agrícolas acabam formando camadas compactadas nos pontos de pressão exercidas sobre a superfície do solo (FRANCHINI et al., 2009). Rosim et al. (2012) revela que a compactação do solo em superfície é a pontada como um dos principais problemas do sistema de plantio direto o qual, tem estimulado o abandono desse sistema de produção, mesmo que de forma temporária.

Assim, o entendimento do processo de compactação do solo e a busca por alternativas para mitigar seus efeitos têm motivado a realização de estudos em escala global, uma vez que a compactação é considerada uma das principais ameaças à manutenção da qualidade do solo em áreas agrícolas (SCHJONNING et al., 2009; KELLER et al., 2013).

No primeiro capítulo, consta-se uma breve revisão de literatura sobre: potencialidades do solo no cerrado piauiense, manejo do solo, indicadores de qualidade

física do solo e efeito da escarificação na qualidade do solo. No segundo capítulo, apresenta-se o manuscrito sobre Qualidade física de um Latossolo Amarelo sob plantio direto após escarificação mecânica.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as melhorias na propriedade física de um Latossolo Amarelo pelo efeito da escarificação do solo, manejado sob plantio direto no cerrado piauiense em comparação com área de referência (mata nativa de Cerrado).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Potencialidades do cerrado piauiense

O Cerrado piauiense ocupa uma área de aproximadamente 12 milhões de hectares, o que corresponde a 46% do Estado, estando presente em toda a região Sudoeste e parte do extremo Sul do Estado, com solos predominantemente da classe dos Latossolos, de fácil correção química, pelo uso de adubação e a aplicação de calcário (AGUIAR; MONTEIRO, 2005; CEPRO, 1999; JACOMINE et al., 1986).

A ocupação do cerrado piauiense, intensificou-se a partir da década de 90, através do modelo agrícola modernizado para o cultivo da soja, com o uso da mecanização e da adubação química, incentivados por programas governamentais de desenvolvimento do cerrado que se baseava no uso de tecnologias, capital para investimentos e correção do solo (MAGALHÃES, 2013).

Nas últimas três décadas, tem-se observado aumento das atividades agrícolas e florestais em áreas do Cerrado, com intensa substituição da vegetação nativa por áreas cultivadas, especialmente para produção de alimentos, fibra e energia (FERREIRA et al., 2007).

Segundo Pacheco et al. (2016) a região do Cerrado piauiense apresenta condições edafoclimáticas adequadas para a produção de grãos. De acordo com a Conab (2018) dados históricos revelam que o Cerrado piauiense vem apresentando crescente aumento em produção (Tabela 1).

Tabela 1. Dados históricos de produção e produtividade da soja para o Estado do Piauí entre os anos de 2010 – 2018.

Anos	<u>Produção mil toneladas</u>								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	868,4	1.144,3	1.263,1	916,9	1.489,2	1.833,8	645,8	2.048,1	2.401,5
	<u>Produtividade kg/ha</u>								
	2.531	2.983	2.841	1.678	2.374	2.722	1.143	2.952	3.380

Contudo, embora os visíveis ganhos, a ocupação agrícola dessa região assentada na monocultura em grandes extensões de terras, sob mecanização e adubação química,

provocou impactos ambientais, como o desmatamento e degradação dos solos promovendo a aceleração das taxas de erosão (DANTAS et al. 2010).

Dessa forma, considerando o potencial do cerrado piauiense para produção agrícola, sistemas de manejo com caráter conservacionistas devem ser adotados afim de manter a sustentabilidade dos recursos naturais e aumento de produção.

Entretanto, as tecnologias adotadas nos sistemas conservacionistas como o plantio direto, ainda não estão bem adaptadas às condições edafoclimáticas do cerrado piauiense. Assim, estudos que possam identificar técnicas de introdução de plantas de cobertura capazes de promover elevada produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e taxa de cobertura do solo podem favorecer a expansão do sistema de plantio direto, no cerrado do Piauí (PACHECO et al., 2013).

2.2. Manejo do solo

Na região do cerrado piauiense, por cerca de três décadas, a exploração agrícola do solo foi predominantemente realizada pelo manejo convencional, onde após a derrubada da vegetação, cultivava-se sucessivamente culturas anuais (soja e milho) através do preparo convencional. Matias et al. (2009) estudando solos do cerrado piauiense sob diferentes manejos, relataram que para aquela época o manejo convencional já vinha sendo praticado a 20 anos e que áreas com plantio direto só teve início no ano agrícola 2002/2003.

De acordo com Pragna et al. (2012) na região do cerrado piauiense o sistema de preparo convencional do solo ainda é uma prática bastante utilizada por produtores de grãos dessa região, o que tem ocasionado a degradação do solo e perdas na produtividade.

A adoção desse tipo de sistema de manejo, traz como benefícios, o aumento do volume de poros dentro da camada preparada, da permeabilidade de água, da aeração e facilidade do crescimento das raízes das plantas na camada preparada (BERTOL et al., 2004; BRAUNACK; DEXTER, 1989).

Entretanto, os estudos evidenciam que no sistema convencional, o preparo do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, rompe os agregados e reduz sua estabilidade nas camadas manejadas, além de favorecer o aumento da densidade do solo e a resistência à penetração em subsuperfície (ARATANI et al., 2009).

Ademais, o uso sucessivo do preparo convencional do solo sem um adequado plano de rotação de culturas e uma manutenção da cobertura morta sobre o solo em áreas de produção agrícola modifica os seus atributos físicos (ROSSETTI ; CENTURION, 2013), pois as principais alterações ocorrem na estrutura do solo associadas à formação de camadas compactadas com diminuição do volume de macroporos, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água e aumento da sua resistência do solo à penetração e densidade (SOUZA et al., 2006; HOU et al., 2012; SOUZA et al., 2014).

Pesquisas realizadas no Cerrado piauiense, revelam que o manejo convencional contribui para a degradação físicas do solo da região devido aos efeitos observado nos seguintes indicadores físicos: aumento de densidade e da resistência a penetração, diminuição da porosidade do solo e da taxa de infiltração de água e menor agregação em solos com manejo convencional em relação à mata nativa (BARBOSA, et al., 2016; MATIAS et al., 2015; ARAÚJO et al., 2010; FONTENELE et al., 2009).

Gennaro et al. (2015) estudando os atributos físicos do solo sob sistema de manejo convencional e plantio direto, concluíram através da análise de imagens digitalizadas em 2-D o efeito que os sistemas de manejo convencional provoca nos indicadores físicos: tamanho, forma e porosidade total na camada superficial e subsuperficial do solo.

Por outro lado, o sistema de plantio direto (PD) devido à ausência do preparo do solo e a permanência de resíduos agrícolas em cobertura, contribui significativamente para o incremento da matéria orgânica e para a melhoria da qualidade do solo (BAYER et al., 2004). Segundo Vezzani e Mielniczuk (2011) o emprego de sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, resulta em melhorias significativas da qualidade física, química e biológica do solo.

Dessa forma, pela redução no preparo sucessivo do solo associada à semeadura direta e ao acúmulo de resíduos orgânicos na sua superfície podem minimizar ou reverter o seu depauperamento, contribuindo para a sua conservação nos agroecossistemas (MOREIRA et al., 2014).

De acordo com Lira et al. (2013) com a introdução do sistema de plantio direto nas áreas agrícolas tem-se observado a alteração da qualidade estrutural do solo à medida que os cultivos se sucedem, devido ao contínuo aporte de material orgânico, a ação das raízes das plantas e a proteção à superfície do solo pelos resíduos vegetais.

Entretanto, apesar dos benefícios, devido à ausência do revolvimento do solo e o tráfego de máquinas, é comum a ocorrência do aumento da densidade do solo e da

resistência a penetração e redução da macroporosidade na camada superficial do solo em sistema de plantio direto (GOZUBUYUK et al., 2014).

Conforme Castro et al. (2009) no sistema PD em geral, os solos apresentam, na camada superficial compactada, após três a quatro anos de adoção devido aos maiores valores de densidade e microporosidade, e menores valores de macroporosidade, decorrente, do arranjo das partículas do solo, provocado pela pressão do trânsito de máquinas e implementos agrícolas, em particular quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade. Celik et al. (2011) afirmam que a ocorrência e a intensidade da compactação dependem da sequência de culturas, do sistema de manejo e da umidade do solo por ocasião do tráfego.

Contudo, para o sucesso do PD, é necessária a rotação de culturas entre gramíneas e leguminosas, uma vez que as espécies vegetais diferem entre si no que se refere a morfologia, quantidade e qualidade de resíduos remanescentes da colheita e exploração de diferentes profundidades de solo pelo sistema radicular (SANTOS et al., 2009). Silva et al. (2018) ao realizar uma análise conjunta de atributos físicos do solo sob sistema de plantio direto no cerrado, constataram efeitos benéficos na qualidade física do solo ao utilizar rotação de cultura.

Segundo Spera et al. (2009), os sistemas de manejo solo sob rotação de culturas agem no sentido de restaurar a estrutura do solo. Pois o uso de plantas de cobertura, com elevada produção de fitomassa e sistema radicular abundante, são capazes de romper camadas compactadas (SILVA; ROSOLEM, 2001).

Neste sentido, a adoção de sistemas de manejo do solo considerados conservacionistas, como o plantio direto (PD) a utilização da rotação de culturas, tem-se apresentado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo (BAYER et al., 2004).

Entretanto, dado a dificuldade do pleno desenvolvimento do sistema de plantio direto com culturas de cobertura, devido a curta janela agrícola impostas pelas condições climáticas no cerrado piauiense, uma das maneiras de corrigir o efeito da compactação provocada pelo tráfego de máquinas se dá através de métodos mecânicos de recuperação da qualidade física do solo.

A descompactação do solo utilizando implementos de hastes, como escarificadores e subsoladores, tem por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a

densidade e ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (DENARDIN et al., 2011).

2.3 Indicadores de qualidade física do solo

A qualidade física do solo é um importante parâmetro, já que as propriedades físicas do solo, estão envolvidos no suporte ao suprimento de água e nutrientes as plantas, trocas gasosas, crescimento radicular e atividade biológica (ARSHAD et al., 1996). Nesse sentido, manter a qualidade física do solo torna-se imprescindível para o sucesso no cultivo das culturas (OLIVEIRA et al., 2012).

Os indicadores físicos da qualidade do solo têm sido investigados nas diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (RAMOS et al., 2011; CAVALIERI et al., 2011). Comumente, os atributos físicos utilizados como indicadores de qualidade física, são: a densidade, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, intervalo hídrico ótimo, a condutividade hidráulica, a estabilidade de agregados e a resistência do solo à penetração (CAMPOS et al., 1995; STEFANOSKI et al., 2013). Esses indicadores são utilizados na avaliação da qualidade física do solo por atenderem os critérios de sensibilidade, sujeitos às maiores alterações em função dos sistemas de uso e manejo dos solos (DORAN; PARCK, 1994).

A densidade do solo (D_s) é considerada uma propriedade física bastante alterada pelo cultivo, pela compressão de máquinas agrícolas e pelo pisoteio de animais (ARSHAD et al., 1996), e é utilizada como um indicador físico para avaliação do grau de compactação do solo. Porém embora de fácil alteração, os valores de D_s deve ser baseada nos limites críticos que dependem da classe textural do solo. Segundo Reichert et al. (2003) a densidade do solo crítica para algumas classes texturais são: 1,30 a 1,40 $Mg\ m^{-3}$ para solos argilosos, 1,40 a 1,50 $Mg\ m^{-3}$ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 $Mg\ m^{-3}$ para os arenosos.

De acordo com Klein (2008), os valores de densidade dos solos (D_s) agrícolas variam de 0,9 a 1,8 $g\ cm^{-3}$, entretanto o valor desse indicador é dependente da textura e do teor de matéria orgânica do solo. De maneira geral, quanto mais elevada for a D_s pior será sua estruturação e menor a sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (KIEHL, 1979).

A porosidade do solo é um indicador relacionado a capacidade do solo em realizar trocas gasosas e armazenamento de água. Os macroporos são responsáveis pelo livre movimento do ar, da água e do crescimento radicular, enquanto os microporos como reservatório de água (REICHARDT, 1990). Para Kiehl (1979), um solo em condições ideais para o desenvolvimento vegetal deve apresentar 1/3 da porosidade total formada por macroporos e os 2/3 restantes por microporos.

O tamanho do agregado determina sua suscetibilidade à movimentação pelo vento e pela água, o espaço poroso e o seu arranjo, interferindo na movimentação da água, transferência de calor, aeração e porosidade (KLEIN, 2005). Solos que apresentam boa agregação possuem diâmetro maior em seus agregados, o que facilita a proteção da matéria orgânica e o melhor fluxo e armazenamento de água no solo.

A resistência do solo à penetração é um atributo físico que indica a limitação do crescimento das raízes, sendo um atributo útil na avaliação da qualidade física do solo, por apresentar melhores correlações com os demais atributos físicos além de permitir identificar áreas potencialmente compactadas limitantes ao crescimento das raízes das culturas agrícolas (LETEY, 1985), sendo restritiva ao crescimento das raízes de plantas cultivadas quando o valor encontrado for acima de 2,0 MPa. Segundo o Soil Survey Staff (1993), a resistência a penetração é classificada em: muito baixa (0,01 – 0,1 MPa); baixa (0,1 – 1,0 MPa); moderada (1,0 – 2,0 MPa); alta (2,0 – 4,0 MPa); e muito alta (4,0 – 8,0).

Entretanto, pesquisadores divergem sobre o limite crítico. Sene et al. (1985), consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos. Já Grant e Lanfond, (1993) afirmam que o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição com valores de RPS acima de 1,5 a 3,0 Mpa. Por sua vez, Camargo e Alleoni (1997) comentam que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas, enquanto que Moraes et al. (2014) sugerem aumentar o limite de RPS de 2,0 para 3,5 MPa em solos de textura mais argilosa cultivados em plantio direto.

2.4 Efeito da escarificação na qualidade física do solo

A escarificação vem sendo adotada para minimizar a compactação de solos manejados sob plantio direto (CAMARA; KLEIN, 2005; COLLARES et al., 2008) a técnica reduz a densidade do solo e a sua resistência à penetração, e aumenta a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água no solo. A persistência desses

efeitos, porém, tem sido questionada (PRANDO et al., 2010; SILVA et al., 2012), especialmente porque ainda são escassos os estudos com mais de um ano de duração que avaliem a persistência do efeito da escarificação sobre o desenvolvimento das plantas e atributos físicos do solo.

A escarificação resulta em preparo do solo com baixo revolvimento e, portanto menor incorporação da palha, restando sobre a superfície uma maior cobertura para proteção do solo (CARVALHO FILHO et al., 2007). Porém a longevidade dos efeitos da escarificação é muito variável, desde poucos meses (CAMARA, KLEIN, 2005; NICOLOSO et al., 2008; RALISCH et al., 2001; REICHERT et al., 2009) até alguns anos (BOTTA et al., 2006; DRESCHER et al., 2011; ROSA et al., 2008), de acordo com as características e as propriedades do solo, e com as práticas de manejo a serem utilizadas subsequentemente à escarificação (BUSSCHER et al. 2002).

Além das características do solo e das práticas de manejo, as divergências na duração dos benefícios da escarificação também se relacionam às propriedades do solo. Em trabalhos com variáveis indicadoras do estado estrutural do solo, como densidade e porosidade, observou-se duração inferior a 1 ano (DRESCHER et al, 2012; SILVA et al., 2012), mas, em avaliações das propriedades físico-hídricas, diretamente relacionadas a processos do solo, como condutividade hidráulica, verificou-se a manutenção dos efeitos da escarificação por aproximadamente 24 meses (VIEIRA, KLEIN, 2007).

Ademais, a escarificação pode aumentar a produtividade das culturas como o observado por Klein et al. (2008) onde os autores relataram que essa prática proporcionou o aumento de mais de 600 kg ha⁻¹ na produtividade do trigo sob Latossolo Vermelho. Entretanto, Secco et al. (2009) reportaram que mesmo sob diferentes níveis de compactação a escarificação mecânica não resultou no incremento da produtividade da soja em um Latossolo Vermelho distroférico. Nicoloso et al. (2008) reportaram que a escarificação mecânica só foi eficiente no incremento da produtividade de culturas de grãos (soja, milho e trigo), quando associada ao uso de culturas de cobertura no inverno. Ainda, esses autores notaram que quando usada de forma isolada, antes da implantação da cultura de grãos, teve efeito na melhoria da qualidade física do solo, praticamente desaparecendo os benefícios quando as culturas atingiram o estágio reprodutivo, considerado o mais crítico para a produtividade de grãos. Portanto, embora a ocorrência de compactação nas lavouras mecanizadas seja frequentemente reportada na literatura

nacional, ainda existem dúvidas sobre a eficiência da escarificação em áreas manejadas sob sistema de plantio direto de longa duração.

3. REFERÊNCIAS

AGUIAR, T.J.A.; MONTEIRO, M.S.L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e sociedade**, v.8, p.1-18, 2005.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, F.S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.717-723, 2010.

ARSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America, p.123- 141, 1996. (Special publication, 49).

BARBOSA, L. R.; NUNES, L.F.P.L; ARAÚJO, A.S.F; SILVA, F.R; IBIAPINA, T.V. Penetration resistance and density of a yellow oxissol under conventional management at different ages. **Bioscience Journal**, v.32, p.115-122, 2016.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.677-683, 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERTOLINI, E.V.; GAMERO, C.A. Demanda energética e produtividade da cultura do milho com adubação de présemeadura em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Energia na Agricultura**, v.25, p.1-23, 2010.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, v.91, p.164-172, 2006.

BRAUNACK, M.V.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil Tillage Research**, v.14, p.259-279, 1989.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, p. 49-57, 2002.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.789-796, 2005.

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

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

CARVALHO FILHO, A. CENTURION, J.F.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; Carvalho, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 229-237, 2007.

CASTRO, M.M.T.; ALVES, M.C.; NASCIMENTO, V.; CASTRO, M.T.T. Revegetation on a removed topsoil: Effect on aggregate stability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, p.771-786, 2009.

CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C. A. QUALIDADE FÍSICA DE TRÊS SOLOS SOB COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1541-1549, 2011.

CELIK, A.; BOYDAS, M. G.; ALTIKAT, S. A comparison of an experimental plow with a moldboard and a disk plow on the soil physical properties. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 27, p. 185-192, 2011.

CEPRO - FUNDAÇÃO CEPRO. **Cerrados Piauiense**. Teresina, 1999.

COLOMBO, G.A.; LOPES, M.B.S.; CRISTINA DOTTO, M.C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S.O. ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO TOCANTINENSE. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v.12, p.21-29,2017.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.5 - Safra 2017/2018, n.8 – Oitavo Levantamento, p. 1-145, maio. 2018.

DANTAS, K.P.; MONTEIRO, M.S.L.. Valoração econômica dos efeitos internos da erosão: impactos da produção de soja no cerrado piauiense. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 48, p. 619-633, 2010.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. 15 de abril dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.10-15, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, v.35, p.1-20, 1994.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1836-1844, 2012.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1713-1722, 2011.

FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C., RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, p.1625-1635, 2007.

FONTENELE, W, SALVIANO, A.A.C.; MOUSINHO, F.F.P. Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 194-202, 2009.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crop Research**, v.137, p.178-185, 2009.

GENNARO, L.A.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.F.S.; COOPER, M.; CAMPOS, M.C.C. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.608-614, 2015.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.

GOZUBUYUK, Z. Sahin, U.; Ozturk, I.; Celik, A.; Adiguzel, M. C. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semiarid region with a cool climate. **Catena**, v.118, p.195-205, 2014.

GRANT, C. A.; LANFOND, G. O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clayey soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v.73, p.223-232, 1993.

HOU XQ, LI R, JIA ZK, HAN QF, YANG BP, NIE JF. Effects of rotational tillage practices on soil structure, organic carbon concentration and crop yields in semi-arid areas of northwest China. **Soil Use Manage**, v.28, p.55-81. 2012.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R.; LOPES, O. F.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Piauí**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986. 782p.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; PETH, S.; BERLI, M.; DELENNE, J.Y.; BAUMGARTEN, W.; RABELL, 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**, v.128, p.61-80, 2013.

KIEHL J. **Manual de edafologia - Relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres; 1979.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2005. 240p.

KLEIN, V.A.; VIEIRA, M.L; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.38, p.365-371, 2008.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

LIRA, R.B.; DIAS, N.S.; ALVES, S.M.C.; BRITO, R.F.; SOUSA NETO, O.N. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v.25, p.18-24, 2013.

MAGALHÃES, F.A.C.A OCUPAÇÃO DO CERRADO PIAUIENSE COMO EXPRESSÃO DA QUESTÃO SOCIAL.VI **Jornada Internacional de Políticas Públicas**, São Luís – MA, 2013.

MATIAS, S.S.R.; BAPTISTEL, A. C.; NÓBREGA, J.C.A.; ANDRADE, F.R.; SILVA, J.B.L. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista Ciências Agrárias**, v.58, p. 217-227, 2015.

MATIAS, M. C.B.S.; SALVIANO A.A.C.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí.**Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.517-521, 2009.

MOREIRA FR, DECHEN SCF, SILVA AP, FIGUEIREDO GC, De MARIA IC, PESSONI PT. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.38, p.118-27, 2014.

NICOLOSO, R. DA S.; AMADO, T. J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZONOVA, M.E.; GIRADELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.

PACHECO, L.P.; PETTER, F.A.; SOARES, L.S.; SILVA, R.F.; OLIVEIRA, J.B.S. Sistemas de produção no controle de plantas daninhas em culturas anuais no Cerrado Piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 500-508, 2016.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M. M. S.; SILVA, R.F.; SOARES, L.S.; FONSECA, W. L.; PETTER, F. A.; ALCANTARA NETO, F.; NOBREGA, J. C. A.; OSASIMA, J. A. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no Cerrado piauiense, **Bragantia**, v.72, p. 237-246, 2013.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; JÚNIOR, L. S. B.; ROSSETTI, K. V. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Cultivado com Soja Submetido a Níveis de Compactação e de Irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.587-597, 2012.

PRAGANA, R.B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J.C.A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; COSTA, J.A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.

PRANDO, M.B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A.P.E.; ROSOLEM, C.A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.693-700, 2010.

RALISCH, R. et al. Avaliação em um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

RAMOS, F.T.; NUNES, M.C.M.; CAMPOS, D.T.S.; RAMOS, D.T.; MAIA, J.C.S. Atributos físicos e microbiológicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, p.79-91, 2011.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.310-319, 2009.

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

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Temporal variation in structural stability induced by tillage. In: EASTERN CANADA SOIL STRUCUTRE WORKSHOP, 1990, Guelph, Ontario. **Proceedings**. Windsor, Ontario: Canadian Society of Soil Science, 1990. v.1, 236 p. p.63-72.

ROSA, D.P.; REICHERT, J.M.; SATTLER, A.; REICHERT, D.J.; MENTGES, M.I.; VIEIRA, D.A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.395-400, 2008.

ROSIM, D.C.; DE MARIA, I.C.; SILVA, R.L.; SILVA, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, v.71, p.502-508, 2012.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.472-479, 2013.

SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.719-727, 2009.

SBCS, **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 3 eds. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013.

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. 121p. (DJF Report Plant Science, 143).

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**, v.39, p.58-64, 2009.

SILVA, R. F.; PORTILHO, I. I. R.; de AQUINO, A. M.; OTSUBO, A. A.; GALLO, A. de S.; GUIMARÃES, M. F. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema plantio direto no Cerrado. **Acta Iguazu**, v.7, p.60-74, 2018.

SILVA, S.G.C.; SILVA, Á.P.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; SÁ, J.C. de M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.547-555, 2012.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.253-260, 2001.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. (Handbook, 18), 437p.

SOUZA G.S.; SOUZA Z.M.; SILVA, R.B.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F.S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.135-46, 2014.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob

cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, p.323-329, 2006.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. C. S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no Cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1817-1824, 2009.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. C.; MARCHÃO, L. R.; 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**, v.17, p.1301-1309, 2013.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271-1280, 2007.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

CAPÍTULO II

RESUMO

SOARES, BRUNO KARVAND FERREIRA. QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB PLANTIO DIRETO APÓS ESCARIFICAÇÃO MECÂNICA. 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – área agricultura tropical), UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ.

A escarificação do solo revolve as camadas compactadas, melhora as condições físicas do solo, resultando na melhoria do crescimento radicular das plantas. Objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos de um Latossolo Amarelo cultivado com soja em plantio direto no cerrado piauiense. Foram escolhidas áreas cultivadas com a cultura da soja com idades de 10 e 2 anos trabalhadas sob plantio direto, uma área cultivada com soja com 10 anos sob plantio direto que foi escarificada no nono ano, além de uma mata nativa de cerrado preservada, que foi usada como controle. A área cultivada com soja há dez anos apresentou resultados de indicadores físicos que mostra uma compactação no perfil. A escarificação foi eficiente em melhorar os valores de densidade do solo, porosidade total e resistência do solo a penetração na camada de 0,00 a 0,20 m. Por meio das técnicas de análise multivariadas, foi possível identificar quais variáveis físicas estudadas se correlacionaram com cada tipo de manejo do solo adotado e os efeitos desses manejos sob as características físicas do solo estudados

Palavras-chave: compactação do solo, soja, cerrado.

Orientador: Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes - UFPI

ABSTRACT

SOARES, BRUNO KARVAND FERREIRA. PHYSICAL QUALITY OF A YELLOW LATOSOL UNDER NO-TILLAGE AFTER MECHANICAL SCARIFICATION. 2018. 49 f. Dissertation (Master in Agronomy - tropical agriculture area), FEDERAL UNIVERSIT OF PIAUÍ.

The scarification of the soil revolves the compacted layers, improves the physical conditions of the soil, resulting in the improvement of the root growth of the plants. The objective of this work was to evaluate the effects of mechanical scarification on the physical attributes of a Yellow Latosol cultivated with soybean under no-tillage in the Piauí cerrado. Areas cultivated with 10 and 2 year old soybean cultivated under no-tillage were selected, an area planted with soybean with 10 years under no-tillage that was scarified in the ninth year, and a native forest of preserved cerrado, which was used as control. The area planted with soy for ten years showed results of physical indicators showing a compaction in the profile. The scarification was efficient in improving the values of soil density, total porosity and soil resistance to penetration in the layer of 0.00 to 0.20 m. By means of multivariate analysis techniques, it was possible to identify which physical variables studied correlated with each type of soil management adopted and the effects of these managements under the physical characteristics of the soil studied

Keywords: resistance to soil penetration, physical quality, cerrado.

Adviser: Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – UFPI.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Piauí, considerado a última fronteira agrícola no Brasil, foi incluído no cenário agroeconômico do país devido à crescente demanda por produção de alimentos e ao potencial agrícola do estado. No entanto, a substituição da vegetação nativa por sistemas de produção de grãos no Cerrado do Piauí, promove mudanças na estrutura física do solo em relação à condição natural do Cerrado.

O cerrado piauiense ocupa aproximadamente 11,5 milhões de hectares, 46 % da área total do Estado. A unidade de mapeamento mais representativa é o Latossolo Amarelo, que apresenta elevado potencial para exploração agropecuária, e nos últimos anos vem sendo utilizada com o cultivo de culturas para a produção de grãos (AGUIAR & MONTEIRO, 2005).

A exploração agrícola dessas áreas com culturas anuais se deu inicialmente por meio de sistemas de manejo com intenso revolvimento do solo, provocando modificações drásticas em suas propriedades originais. O preparo convencional do solo rompe os agregados da camada preparada e acelera a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na infiltração e retenção de água, aeração, selamento e encrostamento superficial, o que tem levado à diminuição da produtividade do solo e à consequente degradação do solo (BEUTLER et al., 2001; SILVA et al., 2005).

Entretanto, nos últimos anos, o sistema conservacionista de plantio direto (SPD), vem crescendo nessa região. De acordo com Silva et al. (2008), esse sistema envolve o uso de técnicas que visam preservar a qualidade ambiental, fundamentando-se na ausência de preparo do solo e na presença de cobertura permanente sobre o terreno, por meio de rotação de culturas. Embora a adoção do sistema de plantio direto promova diversos benefícios entre eles o aumento de produção, sob o ponto de vista físico do solo, estudos revelam que a ausência do revolvimento e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas com o tempo provoca a formação de zonas compactadas reduzindo a qualidade física do solo na camada superficial (DRESCHER et al., 2012; FRANCHINI et al., 2009). Essas alterações englobam a redução das disponibilidades de oxigênio e de água e o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular (Debiasi et al, 2010).

A escarificação é uma das alternativas recomendadas frequentemente para reduzir a compactação dos solos, utilizando-se para essa atividade o escarificador, que, conforme Cortez et al. (2011), é um equipamento de preparo do solo em que o trabalho

ocorre por ação de hastes, sem a inversão da leiva, tornando-se menos agressivo à estrutura e com menor capacidade de reversão das camadas do solo, reduzindo a compactação de forma mais localizada. A operação de escarificação em áreas de plantio direto estão sendo recomendadas nos últimos anos visando reduzir a compactação dos solos (BELLÉ et al., 2014).

Pressupõe-se que o uso do escarificador em diferentes profundidades de trabalho poderá melhorar os atributos físicos do solo, com efeitos benéficos para o cultivo agrícola. Por essa razão, objetivou-se, avaliar os efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos de um LATOSSOLO amarelo cultivado com soja no cerrado piauiense.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição e localização da área experimental

O estudo foi realizado na fazenda Chapada Grande no município de Regeneração - PI (06° 14' 16" S, 42° 41' 18" O). A região apresenta temperatura do ar com média anual de 32 °C e precipitação média anual de 1350 mm com chuvas distribuídas de janeiro a maio (Regime Equatorial Continental, com isoietas anuais entre 800 a 1.400 mm). O clima, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo (AW). O solo, segundo Levantamento Exploratório de Reconhecimento do Solo do Estado do Piauí, é classificado como Latossolo Amarelo, com textura Franco-argilosa (Tabela 1).

Tabela 1. Composição granulométrica dos solos nos sistemas de manejo estudados.

Sistema	Granulometria (g kg ⁻¹)			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
Profundidade (0,00 - 0,20 m)				
CS2	380	200	420	Franco-argilosa
CS10	342	240	418	Franco-argilosa
ESC	315	235	450	Franco-argilosa
MN	430	210	360	Franco-argilosa
Profundidade (0,20 - 0,40 m)				
CS2	385	185	430	Franco-argilosa
CS10	334	206	460	Franco-argilosa
ESC	342	208	450	Franco-argilosa
MN	368	170	462	Franco-argilosa

CS2 = área de cultivo a dois anos, CS10 = área de cultivo a dez anos, ESC = área de cultivo a dez anos com escarificação, MN = área sob vegetação nativa de Cerrado.

Foram escolhidas quatro áreas sendo três cultivadas com soja e uma sob mata nativa preservada, que foi usada como controle (Tabela 2). Em cada área foram demarcadas quatro parcelas de 250 m² georreferenciada onde foram coletadas as amostras de solos para análises físicas e de carbono orgânico em janeiro de 2017.

Tabela 2. Histórico e descrição dos sistemas estudados.

Sistemas de manejo e uso do solo	Descrição
Área com 2 anos de cultivo (CS2)	Área no segundo ano de cultivo, primeiro ano cultivado com arroz e segundo ano com o cultivo de soja. Primeiro ano revolvido e segundo ano manejado sem revolvimento. Recebeu adubação e calagem com base na recomendação de análise do solo.
Área com 10 anos de cultivo (CS10)	Área no décimo ano de cultivo, primeiro ano com cultivo de arroz e demais anos sob cultivo de soja. Durante cinco anos sob manejo convencional e a partir do sexto ano sob sistema de plantio direto. Adubação e calagem idênticos ao CS2.
Área escarificada após 9 anos de cultivo (ESC)	Área com idade, manejo e adubação idênticos ao CS10 até o oitavo ano de exploração. Foi realizada uma escarificação a 0,18 cm de profundidade com o solo em consistência friável, com escarificador de cinco hastes espaçadas em 0,30 m e rolo destorroador.
Área de vegetação nativa (MN)	Área de mata nativa de Bioma Cerrado, com predominância das espécies: <i>Genipa americana</i> , <i>Hymenaea stigonocarpa</i> e <i>Caryocar brasiliense</i> .

2.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, que consiste na dispersão química de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) utilizando hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ e depois dispersão mecânica (DONAGEMA, 2011).

2.3 Densidade do solo

A densidade do solo (Ds) foi determinada através de amostras indeformadas por meio de anéis volumétricos. As amostras foram colocadas para secar em estufa a 105°C (BLAKE; HARTGE, 1986), e o valor de Ds pela seguinte expressão:

$$D_s = M_s / V_i \quad (1)$$

Onde:

D_s = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$)

M_s = massa de solo seco (g)

V_i = volume interno do anel (cm)

2.4 Porosidade do solo (PT, Map, Mip)

As amostras de solo para análise de porosidade foram retiradas com auxílio de anéis de volume conhecido, a porosidade total foi determinada segundo método descrito por Donagema et al. (2011).

A partir dos volumes conhecidos e das massas das amostras saturadas e depois de colocadas sob a mesa de tensão onde foi retirada a água dos macroporos (Map) (poros com diâmetro $> 0,05mm$) com a obtenção dos valores de massa antes e depois das amostras serem levadas à estufa foram obtidos os valores de macro e microporos (Mip).

2.5 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados, foi determinada pelo uso do peneiramento em água, após um pré-umedecimento lento por capilaridade, sobre papel filtro umedecido (EMBRAPA, 1997). Para a separação das classes de tamanho dos agregados foram utilizadas peneiras com malhas: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm. O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado usando a expressão:

$$DPM = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (2)$$

Onde:

DMP_u = diâmetro médio ponderado via úmida (mm)

DMP_s = diâmetro médio ponderado via seca (mm)

w_i = proporção de cada classe em relação ao total

x_i = diâmetro médio das classes (mm)

W_u = proporção de agregados > 2 mm estáveis em água.

Os valores de índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), e, somatório dos percentuais, a 2,00 mm foram determinados segundo as seguintes fórmulas:

$$IEA = (DPMu / DMPs) * 100 \quad (3)$$

2.6 Resistência à penetração do solo

A resistência à penetração do solo (RPS) foi determinada com umidade gravimétrica variando de 20 a 24% até a camada de 0,40 m (Tabela 3) utilizando um penetrômetro de impacto, modelo IAA / Planalsucar – Stolf, por meio da penetração de uma haste no solo a partir de impactos de um peso em queda livre a uma altura de 0,40 m. A equação resumida é a seguinte:

$$RPS \text{ (MPa)} = (5,6 + 6,89 \cdot N) \cdot 0,0980665 \quad (4)$$

Onde:

RPS – resistência do solo à penetração e MPa

N – número de impactos por decímetro de penetração

Tabela 3. Umidade Gravimétrica de um Latossolo Amarelo sobre diferentes sistemas de manejo

CAMADA	CS2	CS10	ESC	MN	Média
			%		
0-0,20m	24,45	24,10	24,25	24,80	24,4
0,20-0,40m	22,15	20,20	21,15	22,90	21,6

Os valores de resistência foram calculados a partir de 0,05 m de profundidade. A partir dos valores obtidos, as camadas foram discriminadas com relação ao seu grau de compactação conforme (USDA, 1993) que considera que o limite de 2 MPa como forte restrição ao crescimento radicular (Tabela 4).

Tabela 4 - Classes de resistência do solo à penetração do solo.

Classe	Resistência à penetração (MPa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

Fonte: USDA (1993)

2.7 Carbono orgânico total

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal (TEDESCO et al., 1995).

Com exceção da determinação da resistência a penetração do solo (RPS), as demais análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo (LASO) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina – PI.

2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e ao teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade, para a confirmação ou rejeição da hipótese estatística, utilizando o pacote estatístico Sisvar 5.6v (SISVAR, 2010).

Foram empregadas também técnicas multivariadas de análises de componentes principais (ACP) para o entendimento de como as variáveis interagiram ao mesmo tempo, utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (Ds) nas áreas estudadas variou entre 0,90 a 1,13 Mg m⁻³ para camada 0,0 – 0,20 m e de 0,96 a 1,27 Mg m⁻³ para camada 0,20 – 0,40 m (Tabela 5). Para solos de textura fina, Reynolds et al. (2007) sugeriram que o limite superior de densidade do solo para a aeração adequada da zona das raízes de culturas agrícolas varia de 1,25 a 1,30 Mg m⁻³ e o torna-se severamente restringida ao alongamento da raiz densidades variando de 1,40 a 1,60 g cm⁻³. Assim, os valores de densidade do solo encontram-se abaixo desse limite, dessa pode-se afirmar que para os valores encontrados de Ds observado na camada superficial não compromete o crescimento radicular dos vegetais. A escarificação diminuiu a Ds na camada 0,0 – 0,20 m na área ESC em relação a área CS10. Isso demonstra o efeito do uso do escarificador, na redução da Ds na camada superficial do solo. Por outro lado, o tráfego de máquinas na área, e a ausência do revolvimento, reduz o volume de vazios e eleva a densidade do solo em área sob plantio direto (ARATANI et al., 2009; GOZUBUYUK et al., 2014).

Tabela 5. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), Diâmetro médio ponderado (DMP), Índice de estabilidade de agregados (IEA), Carbono orgânico (CO), e Resistência do solo a penetração (RPS) em duas profundidades de um LATOSSOLO AMARELO, nos sistemas de manejo estudados.

Tratamento	Ds	Map	Mip	PT	DMP	IEA	CO	RPS
	Mg m ⁻³	-----	m ³ m ⁻³ -----		mm	%	g Kg ⁻¹	MPa
0,0 – 0,20 m								
CS2	0,90 c	0,25 b	0,39 a	0,64 a	1,00 b	0,67 b	25,6 a	1,59 a
CS10	1,13 a	0,17 c	0,37 a	0,54 c	0,72 b	0,49 b	24,5 a	2,56 a
ESC	1,04 b	0,19 c	0,39 a	0,58 b	1,02 b	0,64 b	21,8 ab	1,81 a
MN	0,91 c	0,34 a	0,30 b	0,64 a	1,56 a	1,04 a	20,0 b	1,70 a
0,20 – 0,40 m								
CS2	0,96 c	0,30 a	0,31 a	0,61 a	1,05 ab	0,71 b	15,0 b	1,97 b
CS10	1,27 a	0,25 a	0,23 ab	0,48 c	0,79 b	0,51 b	14,8 b	3,25 a
ESC	1,23 a	0,32 a	0,18 b	0,50 c	1,22 a	0,81 b	14,4 b	2,90 a
MN	1,06 b	0,33 a	0,24 ab	0,57 b	1,31 a	0,85 a	19,0 a	3,25 a

CS2: área com dois anos de cultivo; CS10 área com dez anos de cultivo há quatro sob sistema de plantio direto com cultivo de soja; ESC: área com dez anos e a dois escarificada; MN: mata nativa do Cerrado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A macroporosidade apresentou redução na camada superficial (0,20 m) nas áreas manejadas com soja, o maior valor de Map foi observado na área de vegetação nativa (0,34 m³ m⁻³) e menor em CS10 (0,17 m³ m⁻³). Já na camada de 0,20 – 0,40 m as áreas não

apresentaram diferenças estatísticas entre os valores de Map. De certa forma, essas áreas cultivadas foram trabalhadas sobre plantio convencional há alguns anos atrás, com isso os valores de Map diminuíram. A partir de 2014 o manejo do solo foi alterado para plantio direto, dessa forma não houve tempo adequado para melhorias dessa variável.

Estudo realizado por Moraes et al. (2016) verificou que sistema de plantio convencional por 20 anos em um Latossolo Vermelho de textura argilosa aumentou a densidade do solo e reduziu a macroporosidade na camada abaixo de 0,20 m para valores abaixo do nível crítico para o desenvolvimento das culturas em relação ao plantio direto. Para os autores a qualidade física do solo é melhorada com o tempo após a adoção do plantio direto. Para Dal Ferro et al. (2014), o plantio convencional contribui para a pulverização do solo conduzindo a maior macroporosidade na camada superficial em relação ao plantio direto. Os valores de Map são importantes para o rápido fluxo de água e de ar no solo e para diagnóstico da compactação do solo, visto que a principal redução de volume de poros do solo ocorre nesta fração da porosidade total (Schjonning; Lamande, 2010).

A microporosidade (Mip) variou entre 0,19 a 0,34 m³ m⁻³, com menor valor encontrado na área MN (Tabela 5). Comparando as áreas cultivadas, os valores de Mip não diferiram estatisticamente na camada superficial. Já na camada subsuperficial, o maior valor de Mip foi encontrado na área CS2 e o menor valor na área escarificada (ESC). Os resultados evidenciam o efeito degradante na estruturação do solo ocasionado pelo preparo convencional (aração e gradagem) realizado na área CS2 e o baixo efeito da escarificação do solo na redução da porosidade em áreas com uso de escarificação após anos de plantio direto (ESC). De modo geral, foi observado que os sistemas não apresentaram diferenças significativas entre os demais tratamentos avaliados. Isso pode ser explicado pela classe textural observada entre os tratamentos visto que, os poros são predominantemente dependentes da textura do solo, sobretudo os teores de argila e silte (Tabela 5) semelhantes nas camadas avaliadas (LIMA et al., 2014).

Na porosidade total (PT), as áreas com MN e CS2, mostraram os maiores valores 62,79 e 63,06 %, respectivamente, nos perfis estudados, em relação as demais áreas apresentadas. Vale ressaltar que a porosidade total do solo é inversamente proporcional à densidade e que, desta forma, os valores elevados de PT na superfície do solo, geralmente são encontrados em áreas sob floresta nativa (Jakelaitis et al., 2008; Luciano et al., 2010). Por sua vez, os valores de ESC para essa variável apresentaram-se intermediários o que

mostra que a escarificação pode ser uma alternativa de melhorias das propriedades físicas de solos manejado por longo tempo. Giacomeli et al. (2016), verificaram um aumento de 18% da porosidade total e 58% da macroporosidade após escarificação de um solo compactado

Em relação ao diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA), a área MN apresentou valores superiores as demais áreas nas duas profundidades do solo avaliadas (Tabela 5). Secundo Secco et al. (2005) áreas sob mata nativa geralmente possuem maior estabilidade de agregados em decorrência da constante adição de matéria orgânica e pela ausência de perturbações antrópicas. Já em sistemas de manejo com grande movimentação do solo por vários anos, resulta na destruição de agregados, reduzindo a estabilidade de agregados (SOUZA NETO et al., 2008).

Algumas pesquisas realizadas em áreas de Cerrado piauiense evidenciaram que o intenso revolvimento do solo (combinação de aração e gradagens) visando criar condições físicas favoráveis ao desenvolvimento de raízes da soja comprometem a estabilidade de agregados e a redução do DMP (IBIAPINA et al., 2014; ARAUJO, et al., 2010; CORREIA, 2002). Esse tipo de manejo ocorreu durante seis anos nas áreas CS10 e ESC. A partir da profundidade 0,20 – 0,40 m as áreas com MN e ESC apresentaram maiores valores de DMP e IEA em relação as demais áreas estudadas. Nessa profundidade a escarificação foi importante para aumentar os valores de DMP e IEA, que por fim isso ajudará no crescimento radicular da planta.

O conteúdo de CO encontrado na camada superficial do solo foi maior nas áreas CS2 e CS10 e menor na área sob vegetação nativa (MN). O maior valor encontrado em CS2 está relacionado ao revolvimento do solo recentemente realizado o qual provocou a quebra dos agregados no solo e a exposição da matéria orgânica antes protegida química e fisicamente, revelando temporariamente elevado conteúdo de CO.

Na área sob plantio direto sem escarificação, o maior conteúdo de CO está relacionado a constante deposição de cobertura vegetal no solo deixados pelo cultivo principal e pelas plantas de cobertura e ausência do revolvimento do solo. Já o menor valor de CO encontrado na camada de 0,0 – 0,20 m revela o potencial de adição de matéria orgânica adicionado ao solo pelo tipo de vegetação de cerrado. Melo et al. (2017) estudando atributos químicos e biológicos do solo também encontraram valores de CO em área sob vegetação de Savana similar ao observado.

Na figura 01 observou-se que, na profundidade de 20 cm, a qual é geralmente mais afetada pelos diferentes manejos do solo, a área com CS10 expressou maior valor de RPS (3,81 MPa) em comparação aos demais tratamentos. Moraes et al. (2014) sugerem aumentar o limite de RPS de 2,0 para 3,5 MPa em solos de textura mais argilosa cultivados em plantio direto. Isso pode ser explicado pelo tráfego de máquinas ao longo dos anos durante as operações agrícolas, causando prejuízos na estrutura física do solo, conseqüentemente diminuindo o espaço poroso e resultando na compactação do solo. Marasca et al. (2011), analisando a RPS de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado em plantio direto há 13 anos, encontraram valores médios de RPS variando de 2,9 MPa a 4,2 MPa com teores de U entre 0,13 e 0,25 g g⁻¹ na camada de 0,0 -0,20 m, e atribuem esses resultados ao tráfego excessivo de máquinas durante os anos decorridos de exploração da área.

Colombo et al. (2017) estudando os atributos físicos do solo no cerrado sob diferentes sistemas de manejo, observaram que em áreas sob plantio direto as camadas subsuperficiais, apresentam valores críticos de resistência à penetração (acima de 2,5 MPa). Moraes et al. (2014) também encontraram em áreas sob plantio direto maiores valores de RPS acima de 3,5 MPa em comparação com as demais áreas estudadas. Marasca et al. (2011), analisando a RPS de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado em plantio direto há 13 anos, encontraram valores médios de RPS variando de 2,9 MPa a 4,2 MPa com teores de U entre 0,13 e 0,25 g g⁻¹ na camada de 0,0 - 0,20 m, e atribuem esses resultados ao tráfego excessivo de máquinas durante os anos decorridos de exploração da área. A área CS2 apresentou o menor valor absoluto de RPS na camada superficial em comparação as demais áreas avaliadas. Isso provavelmente resulta do efeito do uso do arado e da grade realizados no primeiro ano de manejo do solo nessa área.

Já na área com ESC, o solo apresentou valores menores que 2,00 MPa na camada até 15 cm em relação a área com CS10. Isso mostra o efeito positivo do escarificador com haste de 18 cm que agiu nessa camada de 0 – 20 cm. Na camada acima de 25 cm, na ausência do escarificador, estas áreas apresentaram valores similares de RPS. Klein et al. (2009) trabalhando com Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado, observaram que o plantio direto escarificado apresentou menor resistência à penetração e diferenças acentuadas ao sistema não escarificado. Conforme Drescher et al. (2016) que avaliaram a persistência do efeito da descompactação em um Latossolo

Vermelho distrófico típico sob plantio direto pela escarificação mecânica, a RPS apresentou uma redução apenas até 18 meses após a escarificação. Para um Latossolo Vermelho de textura argilosa, Secco & Reinert (1997) concluíram que a escarificação apresentou um efeito residual até 10 meses após a escarificação. Por outro lado, as áreas com MN e CS2 apresentaram os menores valores de RPS, variando entre 0,75 à 2,08 MPa, em todas as profundidades estudadas em relação as demais áreas do presente trabalho.

Na camada subsuperficial do solo, a ausência do efeito do escarificador, na profundidade de 0,20 – 0,40 m, revelou valores de RPS semelhantes entre as áreas ESC e CS10. Os maiores valores de RPS encontrado nessas áreas, estão relacionados ao histórico de uso, pois são áreas que foram exploradas durante seis anos pelo sistema de manejo convencional. Por outro lado, as áreas CS2 e MN obtiveram os menores valores de RPS na camada de 0,20 – 0,40 m. O menor valor encontrado em CS2 revelam o baixo efeito do revolvimento do solo e a possível recuperação da estruturação original do solo após a adoção do sistema de plantio direto. Barbosa et al. (2016) também observaram valores de RPS baixo em áreas recém explorada e próximo ao encontrado sob área de vegetação nativa de cerrado.

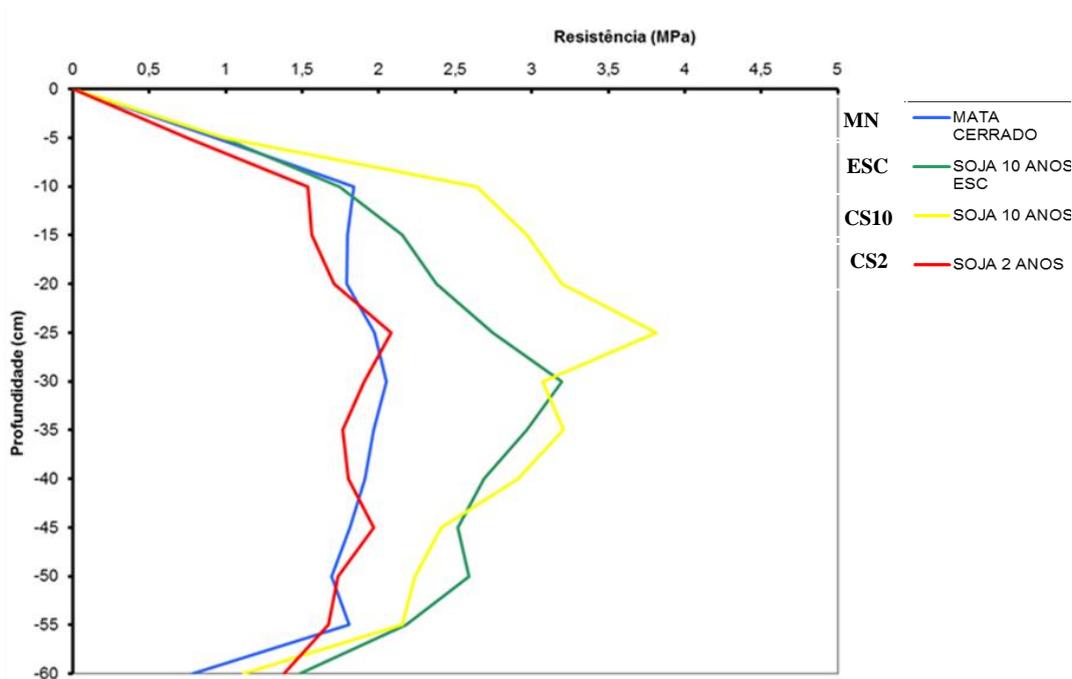


Figura 1. Resistência do solo à penetração vertical em um LATOSSOLO AMARELO nos sistemas de manejo estudados.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada na matriz de dados constituída de 7 variáveis (Figura 2). Quanto ao percentual de variância explicada pelas componentes principais, verifica-se que as duas primeiras componentes principais são responsáveis por 88% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm 52,2% e 35,8%, respectivamente. De acordo com a análise multivariada dos dados obtidos, observou-se variação quanto à eficiência dos tratamentos nas duas profundidades.

Observa-se que a MN nas duas profundidades (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m) estudadas, formou um grupo isolado, posicionando-se no quadrante superior esquerdo. Esse grupo melhor correlacionou-se com as variáveis IEA, DMP e Map. Isto ocorre em função de maior aporte de resíduos orgânicos nesses sistemas que contribui para uma melhor estruturação do solo.

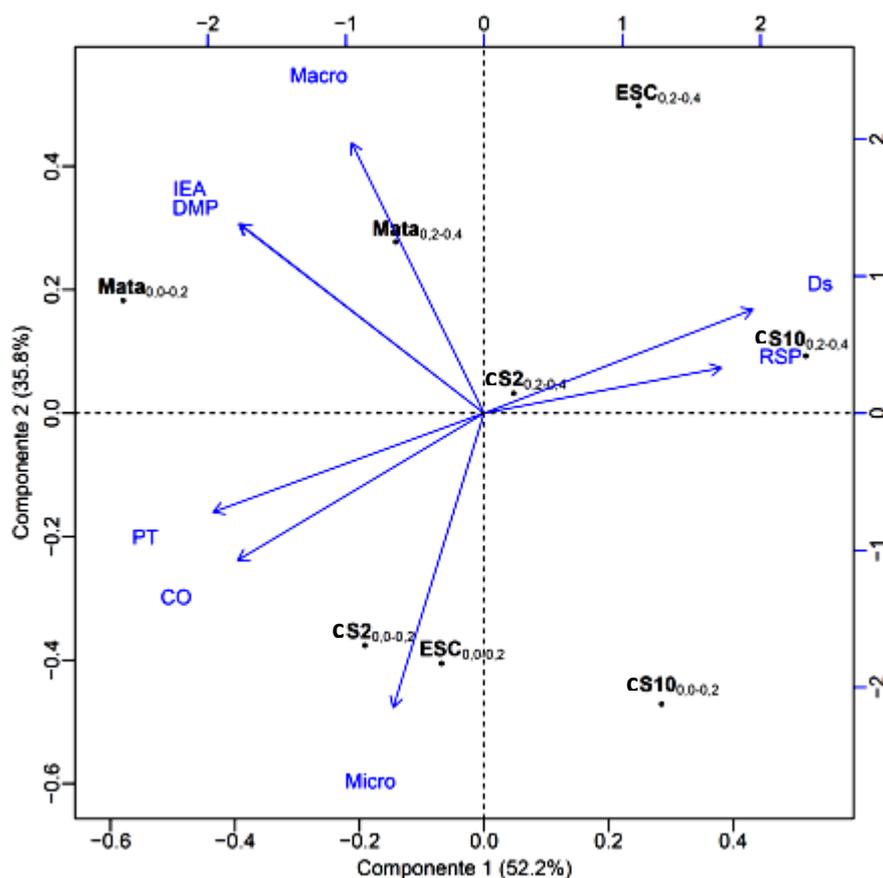


Figura 2. Componentes principais (CP1 e CP2) com base nas variáveis do solo das diferentes áreas estudadas em duas profundidades (0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m): CS2 – área de plantio direto com 2 anos cultivada com soja; CS10 – área de plantio direto com 10 anos cultivada com soja; ESC – área com 10 anos de manejo, 6 anos sob manejo convencional e 4 sob plantio direto submetida à escarificação; Mata – mata nativa utilizada como controle. PT – porosidade total; CO – carbono orgânico; DS – densidade do solo; IEA – índice de estabilidade de agregados; DMP – diâmetro médio ponderado; RPS – resistência do solo à penetração; Micro – microporosidade, Macro – macroporosidade.

Observa-se que a MN nas duas profundidades (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m) estudadas, formou um grupo isolado, posicionando-se no quadrante superior esquerdo. Esse grupo melhor correlacionou-se com as variáveis IEA, DMP e Map. Isto ocorre em função de maior aporte de resíduos orgânicos nesses sistemas que contribui para uma maior atividade biológica e, conseqüentemente, para uma melhor estruturação do solo, o que favorece valores mais favoráveis dessas variáveis.

O segundo grupo é formado pela área S10 na profundidade 0,20 - 0,40 m posicionando-se no quadrante superior direito. As variáveis Ds e RSP, estão associadas a este grupo visto que essa área foi manejada por muito tempo por plantio convencional, onde a camada superficial do solo é periodicamente revolvida, mas o peso das máquinas faz uma grande pressão no solo provocando uma compactação na camada subsuperficial, o que favorece a maiores valores daquelas variáveis, conforme também observado Por Barbosa et al. (2016). As áreas S2 e Esc na profundidade 0,20 - 0,40 m, também estão inseridas nesse mesmo quadrante no entanto não se correlacionaram com nenhuma variável.

O terceiro grupo é constituído pelas áreas com S2 e Esc na profundidade 0,20 - 0,40 m que posicionaram-se nos quadrantes inferior esquerdo. As variáveis PT, CO e Micro se correlacionaram com essas áreas. A escarificação realizada na camada superficial contribuiu para melhoria física do solo, principalmente em relação a PT.

Por meio das técnicas de análise multivariadas, foi possível identificar quais variáveis mais se correlacionaram com cada tipo de manejo do solo e os efeitos na alteração nas características do solo.

4. CONCLUSÃO

A escarificação foi eficiente em melhorar os valores dos indicadores de qualidade física do solo, na camada de 0,00 a 0,20 m.

Por meio das técnicas de análise multivariadas, foi possível identificar quais variáveis físicas estudadas se correlacionaram com cada tipo de manejo do solo adotado e os efeitos desses manejos sob as características físicas do solo estudados.

5. REFERÊNCIAS

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, F.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; SOUZA, Z.M.; SOUSA, A.C. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.717-723, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade Física de um Latossolo Sob Plantio Direto Influenciada pela Cobertura do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, p.363-375, 1986.

BARBOSA, L. R.; NUNES, L.F.P.L; ARAÚJO, A.S.F; SILVA, F.R; IBIAPINA, T.V. Penetration resistance and density of a yellow oxissol under conventional management at different ages. **Bioscience Journal**, v.32, p.115-122, 2016.

BELLÉ, M. P. et al. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 551-558, 2014.

COLOMBO, G.A.; LOPES, M.B.S.; CRISTINA DOTTO, M.C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. O. Atributos físicos de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v.12, p.21-29,2017.

CORREIA, J. C. Efeito de sistema de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho-amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.

CORTEZ, J.W.; ALVES, A.D.S.; MOURA, 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**, v.35, p.1207-1216, 2011.

DAL FERRO; N.; SARTORI, L.; SIMONETTI, G.; BERTI, A.; MORARI, F. Soil macro and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. **Soil Tillage Research**, v.140, p.55-65, 2014.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CONTE, O.; KAMIMURA K.M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.603-612, 2010.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 4.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 225p.

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**, v. 51, p. 159-168, 2016.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1836-1844, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p. 212,1997.

FERREIRA, D.F. SISVAR - **Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; SARTORI, G.; MENEGHETTI S.; DONATO, G.; SILVA, P. R. F.; KAISER, D. R. ; ARAMBURU, B. B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 261-270, 2016

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L.; CHERUBIN, M.R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. 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**, v.38, p.1234-1244, 2014.

GOZUBUYUK, Z.; SAHIN, U.; OZTURK, I.; CELIK, A.; ADIGUZEL, M.; Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semiarid region with a cool climate. **Catena**, v.118, p. 195-205, 2014.

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 Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado piauiense. **Revista Científica** v. 42, p. 411-418, 2014.

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

LIMA, J.R.S.; SOUZA, E.S.; ANTONINO, ANTONIO C.D.; SILVA, I.F.; CORRÊA, M.M.; LIRA, C.A.B. de O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado

e sob mata nativa no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, p.599-605, 2014.

LIMA, I. M.A.; ARAÚJO, M.C.; BARBOSA, R.S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.9, p.117-124, 2013.

LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M.T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1733-1744, 2010.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A.A.; GUIMARÃES, E.C.; DA CUNHA, J.P.A. R.; DE 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**, v. 27, p. 239-246, 2011.

MELO, V.F.; SILVA, D.T.; EVALD, A.; ROCHA, P.R.R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savanna. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.11, p.101-110, 2017

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.288-298, 2014.

MORAES, M. T.; DEBIASIB, H.; CARLESSOC, R.; FRANCHINIB, J. C.; SILVA, V. R.; LUZ, F.B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.

MUÑOZ, A.; LÓPEZ-PIÑEIRO, A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 95, p. 255-265, 2007.

R Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

REYNOLDS, W.D., DRURY, C.F., YANG, X.M., FOX, C.A., TAN, C.S., ZHANG, T.Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil Tillage Residue**, v.96, p.316-330, 2007.

SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LALL, R.; BRIEDIS C. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.136, p. 38-50, 2014.

SHJONNING, P.; LAMANDE, M.A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. **Soil Tillage Research**, v.108, p.77-82. 2010.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas de um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.16, p. 52-61 1997.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C.; DENTON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society**, v. 49, p. 422-427, 1985.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.C. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1-10, 2008.

SOUSA NETO, L. E.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p. 255-260, 2008.

SOUZA, F. R.; JUNIOR, E. J. R.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; ROSA, Y. C. J. ATRIBUTOS FÍSICOS E DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CULTURA DA SOJA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJOS. **Ciências Agrotecnológica**, v.34, p.1357-1364, 2010.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia. UFRGS, (Boletim Técnico, 5), p.215, 1995.

USDA, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, p. 437, 1993.