



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

ALEX FIGUEIREDO

**DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

ALEX FIGUEIREDO

**DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Guimarães.

Coorientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Londrina
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Figueiredo, Alex .

DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO / Alex Figueiredo. - Londrina, 2017.
55 f.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Coorientador: João Tavares Filho.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Plantio direto - Tese. 2. Preparo convencional - Tese. 3. Qualidade física do solo - Tese. 4. Carbono orgânico Total - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima . II. Tavares Filho, João. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

ALEX FIGUEIREDO

**DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima Guimarães
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA-SOJA

Dr. José Francirlei de Oliveira
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

Suplente: Dr. Henrique Debiasi
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
EMBRAPA-SOJA

Suplente: Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 23 de fevereiro de 2017.

Dedico este trabalho a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTO (S)

A Deus por ter me dado saúde e forças para superar as dificuldades.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha noiva que nos momentos, de minha ausência, dedicados a este trabalho, sempre me compreendeu e apoiou.

A minha orientadora, professora Dr^a. Maria de Fátima Guimarães, pela amizade, paciência e ensinamentos repassados durante o trabalho. Sempre dividindo seus conhecimentos e me ajudando a crescer como profissional e como cidadão.

Aos membros da Banca Examinadora, Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos e Dr. José Francirlei de Oliveira.

Aos técnicos de laboratório, João Machado do Santos e Marcio Alves de Lima, pela ajuda e conhecimentos divididos.

Aos alunos da Graduação e Pós-Graduação por me ajudandarem na elaboração do trabalho.

A EMBRAPA - SOJA, na pessoa do Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos, por disponibilizar o experimento para elaboração deste trabalho.

A Universidade Estadual de Londrina por proporcionar as condições necessárias para o desenvolvimento desse trabalho.

A Capes, pela bolsa concedida.

“Procure ser um homem de valor, em vez
de ser um homem de sucesso.”
Albert Einstein.

FIGUEIREDO, Alex. **Dispersão de argila em um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo**. 2017. 55 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

RESUMO

Melhorar o entendimento sobre o processo de dispersão e floculação da argila no solo é de grande importância para a agricultura, pois o aumento nos teores de dispersão de argila em um sistema pode ocasionar eluviação de argila no perfil, entupimento de poros, com redução da porosidade e aumento da densidade, proporcionando maior escoamento superficial de água e início de processos erosivos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a argila dispersa em água (ADA) em diferentes sistemas de manejo de solo, após 34 anos, em um Latossolo Vermelho Distroférrico. Os tratamentos consistem de sucessão soja - trigo em plantio direto (PD); arado de disco e grade niveladora (AD); e grade pesada e grade niveladora (GP); em seis repetições inteiramente casualizadas. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades: 0,00 – 0,10 m, com intervalos de 0,025 m; 0,10 – 0,40 m, com intervalos de 0,05 m; e, de 0,40 - 0,50 m. Os atributos químicos do solo avaliados foram, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}). Também foi calculado o ΔpH e estimado o ponto de carga zero (PCZest). Pode-se destacar que nas camadas 0,00-0,075 m, o PD apresenta os maiores teores de ADA e o GP os menores, e o AD comportamento intermediário. Nas camadas 0,075-0,15 m, não houve diferenças estatísticas nos teores de ADA entre os sistemas. Nas camadas 0,15--0,30 o sistema AD passa a obter os maiores teores de ADA, enquanto o PD e o GP apresentam os menores teores. Na camada 0,30-0,35 m, o sistema AD é o único a ainda apresentar argila dispersa, já os sistemas PD e GP apresentam teores iguais a zero. Nas camadas 0,35-0,50, todos os sistemas apresentaram teor de ADA igual a zero. Observou-se ainda que o $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, PCZest, COT, COP, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram correlações positivas com o teor de ADA, ao passo que ΔpH e Al^{3+} apresentaram correlações negativas.

Palavras-chave: Plantio direto. Preparo convencional. Qualidade física do solo.

FIGUEIREDO, Alex. **Dispersible clay in an Oxisol under different management systems.** 2017. 55 pages. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2017.

ABSTRACT

The soil tillage systems can affect a different way their physical, chemical and biological properties, as the clay dispersion, which in turn, may result in superficial crusting, subsurface compaction and decrease porosity, making it more susceptible to erosion. The aimed of this work was to evaluate the water dispersible clay (WDC), in different soil management systems after 34 years, in an Oxisol. The treatments consist in succession with soybean - wheat under no-tillage (NT); disc plow and leveling harrow (DP); heavy grid and leveling harrow (HG); in six completely randomized replicates. The soil samples were collected in depth: 0,00-0,10 m, with intervals of 0,025 m; 0,10-0,40 m, with intervals of 0,05 m; and of 0,40-0,50 m. The chemical attributes of the soil evaluated were, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), available phosphorus (P), exchangeable potassium (K^+), exchangeable calcium (Ca^{2+}), exchangeable magnesium (Mg^{2+}), exchangeable aluminum (Al^{3+}). It was also calculated the ΔpH and estimated the point of zero charge (PZC est). It may be emphasized that in the depth 0,00-0,075 m the NT presents the highest WDC contents, and the HG the lowest, and the DP intermediate behavior. In the depth 0,075-0,15 m, there were no statistical differences in WDC contents between the systems. In the depth 0,15-0,30 m, the system DP starts to get the highest WDC contents, while the NT and HG presents the lowest levels. . In the depth 0,30-0,35 m, the system DP is the only one that present dispersed clay yet, whereas the systems NT and HG have levels equal to zero. In the depth 0,35-0,50 m, all the systems has the WDC content equal to zero. It was also observed that, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, PCZest, COT, COP, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} presented positive correlations with WDC content, whereas ΔpH e Al^{3+} presented negative correlations.

Key words: No-till. Conventional tillage. Soil physical quality.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 -** Argila dispersa em água (ADA) nos sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), em diferentes camadas do solo 30
- Tabela 2 -** Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,00-0,025 m 30
- Tabela 3 -** Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,025-0,05 m 31
- Tabela 4 -** Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,05-0,075 m 31
- Tabela 5 -** Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,075-0,10 m 32
- Tabela 6 -** Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os

	sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,10-0,15 m	33
Tabela 7 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,15-0,20 m	33
Tabela 8 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,20-0,25 m	34
Tabela 9 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,25-0,30 m	34
Tabela 10 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,30-0,35 m	35
Tabela 11 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,35-0,40 m	36

Tabela 12 -	Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,40-0,50 m	36
Tabela 13 -	Coefficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,00-0,025, 0,025-0,05 e 0,05-0,075 m	37
Tabela 14 -	Coefficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m	40
Tabela 15 -	Coefficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30 e 0,30-0,35 m	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	Argila Dispersa em Água
PD	Plantio Direto
AD	Arado de Disco
GP	Grade Pesada
COT	Carbono Orgânico Total
COP	Carbono Orgânico Particulado
P	Fósforo Disponível
K ⁺	Potássio Trocável
Ca ²⁺	Cálcio Trocável
Mg ²⁺	Magnésio Trocável
Al ³⁺	Alumínio Trocável
PCZest	Ponto de Carga Zero Estimado
PCZ	Ponto de Carga Zero
MO	Matéria Orgânica
H ⁺	Hidrogênio Trocável
Na ⁺	Sódio Trocável
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	15
2.2	INFLUÊNCIA DOS ÍONS NA DISPERSÃO DA ARGILA.....	16
2.3	INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA DISPERSÃO DA ARGILA.....	17
2.4	INFLUÊNCIA DO PH NA DISPERSÃO DA ARGILA	20
2.5	INFLUÊNCIA DOS ARGILOMINERAIS NA DISPERSÃO DA ARGILA	21
3	ARTIGO: DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO	23
3.1	Resumo	23
3.2	Abstract.....	23
3.3	Introdução.....	24
3.4	Material e métodos	26
3.5	Resultados.....	28
3.6	Discussão	37
3.6.1	Comportamento UM.....	37
3.6.2	Comportamento DOIS	39
3.6.3	Comportamento TRÊS	40
3.6.4	Comportamento QUATRO.....	42
3.6.5	Relação entre atributos químicos e argila dispersa em água	43
3.7	Conclusões.....	45
4	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Ao retirar uma mata nativa e promover o cultivo, juntamente com adição de fertilizantes e corretivos, pode-se mudar o balanço de cargas da superfície dos colóides do solo, podendo aumentar a dispersão de argila.

Alterações no solo, causadas por diferentes sistemas de manejo, podem tanto favorecer a floculação como a dispersão de argila, provocando melhorias ou acelerando sua degradação, dependendo de alguns fatores como, tipo de solo, textura, mineralogia, clima, planta cultivada e tempo de exploração agrícola, confirmando a necessidade de conhecer as alterações que cada sistema de manejo causa no solo, em diferentes situações.

A dispersão de argila pode influenciar negativamente outros atributos do solo provocando aumento da densidade do solo e dos limites de plasticidade, redução da porosidade e da condutividade hidráulica, dentre outros. Sendo assim, é um parâmetro importante para definir o potencial de impacto de um sistema de manejo sobre a qualidade do solo.

Um ponto a ser considerado quando se estuda a argila dispersa é o pH do solo, pois sua variação pode alterar a dispersão da argila, com influência nas cargas de superfície dos constituintes do solo, tais como argilas, óxidos de ferro e de alumínio e matéria orgânica, por apresentarem carga de superfície dependente do pH. A dispersão de argila tende a diminuir quando o pH se aproxima do ponto de carga zero (PZC), ponto onde o número de cargas positivas é igual ao de cargas negativas.

Entre outros, o ΔpH é um fator que apresenta relação com a dispersão de argila, e mostra o teor de carga líquida positiva ou negativa no solo, sendo que quanto mais distante de zero o seu valor, maior será esta carga líquida, geralmente favorecendo a repulsão eletrostática das argilas e a maior dispersão das mesmas.

A matéria orgânica (MO) tem grande influência sobre a dispersão de argila, podendo diminuir o teor de argila dispersa em água (ADA), mostrando que a MO pode ser benéfica ou dispersar, dependendo da situação. Em solos altamente intemperizados e ácidos com carga variável predominante, o aumento no teor de MO pode gerar cargas negativas em excesso, podendo causar repulsão dos colóides, aumentando a dispersão de argila, confirmando a necessidade de se estudar a correlação entre estas duas propriedades do solo.

Nesse sentido, o sistema de plantio direto (PD) é considerado uma das principais alternativas para o manejo sustentável do solo. Os benefícios deste sistema consistem na melhoria da fertilidade química, física e microbiológica do solo e no aumento da produtividade das culturas.

No entanto, o PD pode reduzir a taxa de decomposição do carbono orgânico total (COT), no solo e, conseqüentemente, promover desbalanço de cargas e aumento da dispersão de argila do solo. Dessa forma, a dispersão de argila neste sistema deve ser constantemente monitorada, e os processos envolvidos devem ser melhor entendidos.

A hipótese do presente estudo é de que, após 34 anos, o sistema de PD promove a redução do grau de dispersão de argila em relação aos sistemas com maior revolvimento do solo, com o uso de aração e gradagens.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a argila dispersa em água (ADA) em diferentes sistemas de manejo de solo, após 34 anos, em um Latossolo Vermelho Distroférrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

Calegari et al. (2006) observaram que o sistema convencional, com contínuo revolvimento e incorporação dos resíduos vegetais, acelerou o processo de mineralização da MO, proporcionando menores valores de COT, contribuindo para o processo de degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e o PD promoveu maior proteção da MO, maior agregação das partículas, diminuindo o risco de erosão. Também observaram que o PD tradicional, sem uso de plantas de cobertura e rotação de culturas, não diferiu do sistema convencional.

O preparo convencional promove a ruptura dos agregados ocasionada pelo revolvimento do solo, o que contribui para um maior ataque dos organismos, acelerando as perdas de COT pela oxidação da MO e dos processos de erosão (OADES, 1984; MENDONÇA; ROWELL, 1994). Por manter os resíduos vegetais na superfície, o PD, pode aumentar os teores de MO melhorando algumas propriedades físicas, em relação ao preparo convencional (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Segundo Oades (1984) e Mendonça e Rowell (1994), o sistema convencional por revolver o solo, pode provocar desagregação das partículas de solo, aceleração na decomposição do COT e menores índices de estabilidade de agregados em relação aos demais manejos de solo.

Ralisch (1999) observou que, entre outros sistemas estudados, apenas o sistema PD considerado integral (incluindo plantas de cobertura e rotação de culturas) não apresentou indícios de deterioração do solo.

Huang et al. (2015) observaram que a combinação do PD com adubo orgânico pode aumentar a formação de macroagregados e melhorar as propriedades físicas do solo. Segundo os autores esses impactos podem ser atribuídos à diminuição da perturbação do solo e à adição de resíduos ou restos culturais.

Silva et al. (2014) observaram melhor qualidade do solo nos sistemas PD, que contêm solo predominantemente menos compacto e apresentam maior porosidade que o sistema convencional. Segundo Sá et al. (2014), o sistema PD oferece um vasto potencial para

diminuir a degradação ambiental, restaurando a resiliência do solo e aumentando a produção agrônômica.

2.2 INFLUÊNCIA DOS ÍONS NA DISPERSÃO DA ARGILA

Benites e Mendonça (1998) observaram que a presença de sais provenientes de adubos, em altas concentrações favorece a expansão da dupla camada difusa dos coloides, tornando-os mais susceptíveis à dispersão. Segundo Meurer (2006) cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas, desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam dispersando as argilas

Morelli e Ferreira (1987) relatam que o hidrogênio trocável (H^+) é um cátion que apresenta efeito floculante nas partículas do solo, podendo com o aumento de seu teor no solo reduzir o teor de ADA. Erthal et al. (2010); Silva et al. (2011); Homem et al. (2014) observaram que o aumento dos teores de potássio trocável (K^+) promoveram aumento de ADA. Paradelo, Van Oort e Chenu (2013), observaram que todos os tratamentos que receberam K^+ apresentaram incremento nos teores de ADA, em relação ao controle.

Seta e Karathanasis (1996) observaram que entre as propriedades do solo, o alumínio trocável (Al^{3+}) foi correlacionado positivamente com frações de ADA. Nguetnkam e Dultz (2014) observaram que a amostra de Vertissolo, que obteve as maiores frações de ADA, apresentou o menor valor de Al^{3+} , e que a amostra de Latossolo Vermelho que conteve a menor fração de ADA, obteve o maior valor de Al^{3+} . Pois, a neutralização do Al^{3+} , íon que estabiliza a estrutura do solo, tem ação dispersante (JUCKSCH, 1987; PAVAN; ROTH, 1992).

Segundo Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) o aumento da concentração de cálcio trocável (Ca^{2+}) pode deslocar o Al^{3+} , que é o principal agente floculante da solução do solo, causando a expansão da dupla camada difusa, aumentando a distância entre os coloides. No entanto, Silva et al. (2006) estudando um solo com aplicação de vinhaça, observaram que os menores valores de ADA, possivelmente foram devidos a maior saturação de Ca^{2+} , considerado íon floculante, corroborando com o observado por (CAMARGO et al., 1988), evidenciando a necessidade de conhecer melhor o comportamento dos cátions no solo.

Albuquerque et al. (2000, 2003) observaram a diminuição do grau de floculação da argila no solo, relacionado com maior repulsão entre partículas, pelo aumento

da carga líquida negativa e aumento da espessura da dupla camada elétrica. Para Fontes et al. (1995), isto pode estar relacionado com a substituição do Al^{3+} por Ca^{2+} e magnésio trocável (Mg^{2+}) no complexo de troca, corroborando com Roth e Pavan (1991) que obtiveram resultados semelhantes a estes. Albuquerque et al. (2003), também observaram que a adição de fosfato ao solo não interferiu sobre o grau de floculação da argila. Não constatando correlação entre o grau de floculação e os teores de fósforo disponível (P) no solo.

Corrêa et al. (2003); Silva et al. (2006); Oliveira et al. (2008) observaram que o aumento nos teores de ADA pode ser devido aos maiores teores de saturação por sódio trocável (Na^+). Esses dados corroboram com Sposito (1989) que observou aumento da espessura da dupla camada difusa e menor atração das partículas na solução do solo provocado pelo Na^+ , com aumento da ADA. Corrêa et al. (2003) também observaram que o baixo grau de floculação, pode estar relacionado ao efeito dispersivo causado por Mg^{2+} , que mesmo em condição de baixos teores de Na^+ em relação aos de Ca^{2+} , a argila dispersa mostra-se elevada, com uma correlação significativa entre os teores de Mg^{2+} e os valores de ADA.

Silva et al. (1999); Lima et al. (2000) verificaram influencia da aplicação de fosfato em relação a ADA, onde solos com carga superficial positiva líquida, isto é, solos com pH menor que o ponto isoelétrico, a absorção de fosfato deve causar diminuição na dispersão de argila, tornando a carga líquida do solo menos positiva. Ribeiro et al. (2011) também observaram que a adsorção de P tornou a superfície das partículas de argila mais eletronegativa, situação na qual favorece a dispersão de argila.

2.3 INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA DISPERSÃO DA ARGILA

Segundo Oades (1993); Igwe e Udegbunam (2008) o teor de COT é, além de outros atributos do solo, um dos fatores que influenciam a dispersão e floculação do solo, e Igwe e Udegbunam (2008), observaram correlação negativa entre o COT e a dispersão de argila. Sendo a dispersão de argila influenciada pelo teor de MO (KRETZSCHMAR et al., 1993; SETA; KARATHANASIS, 1996). E o manejo do solo, por ter capacidade de influenciar no teor de MO, também tem influência importante na dispersão de argila (RHOTON, 2000; SHAW et al., 2002).

De acordo com Corrêa et al. (2008), os valores superiores de ADA ocorrem quando há adição de ácidos de baixo peso molecular, comparado a adição de ácidos de alto peso molecular. E, relacionam este fato à maior interação desses ânions com as partículas

coloidais inorgânicas dos solos, que se dá de forma mais específica (troca de ligantes), alterando o potencial isoelétrico dos minerais das argilas. Essa ligação neutraliza cargas positivas, gerando excesso de cargas negativas Tombácz et al. (2004) ocasionando repulsão e, conseqüentemente, dispersão das partículas do solo.

Nguyen et al. (2013) observaram que ânions orgânicos facilitaram a dispersão de argila na seguinte ordem: oxalato>citrato>acetato, onde a adsorção destes nos sítios de cargas positivas das partículas, diminui o potencial zeta, que é fator determinante para a dispersão das partículas de argilas. Igwe (2005) notou que uma das maneiras em que o teor de MO pode levar a dispersão é quando a proporção de ácidos fúlvicos para ácidos húmicos aumenta tornando assim a MO mais solúvel. Ekwue e Stone (1995) observaram que não apenas o teor, mas também o tipo de MO presente tem influência sobre a agregação solos.

Benites e Mendonça (1998) observaram que a adição de material não humificado (esterco) no solo em doses menores favoreceu a floculação da argila, e na medida em que aumentaram as doses aplicadas, promoveu mudança no potencial elétrico superficial, favorecendo a dispersão da argila. Observaram também que o uso de ácido húmico nas doses estudadas favoreceu as condições físicas de solos eletropositivos, reduzindo a dispersão de argila, mostrando que a MO pode apresentar efeito dispersivo ou agregante, conforme a quantidade e qualidade do adubo utilizado.

Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) observaram que mesmo com o aumento da MO no solo, devido a aplicação de lodo de esgoto, em dois tipos de solos, textura média e argilosa, não foi possível observar diferenças na dispersão de argila, comparado com o solo que não recebeu material orgânico. Porém observaram alta correlação positiva entre ADA e COT. Paiva et al. (2000) relataram que o aumento no teor de MO do solo pode gerar cargas elétricas negativas excessivas, gerando repulsão entre os coloides, elevando o nível de dispersão de argila.

Barbosa et al. (2015) observaram, ao avaliar o comportamento da dispersão de argila no solo ao longo do tempo, que após aplicar duas fontes de MO, esterco de galinha e de suíno, a dispersão de argila se comportou de forma diferente para os dois materiais, sendo que a aplicação de esterco de suínos resultou em modificações mais rápidas e dinâmicas dos teores de ADA em comparação com a aplicação de esterco de galinha.

Nguetnkam e Dultz (2011) observaram que o horizonte A apresentou maior dispersão de argila, quando comparado com o horizonte B, podendo estar relacionado a MO. Segundo os autores a adsorção de ácidos húmicos pode gerar carga de superfície mais negativa, isto tenderá a desestabilizar as partículas de argila, e por outro lado, os mesmos compostos podem, dependendo das condições específicas, conduzir à agregação e à estabilização de partículas coloidais. Em alguns casos o baixo teor de COT nos solos pode causar dispersão de argila, enquanto que altos teores podem mostrar menor dispersão (MULLINS et al., 1990; SETA; KARATHANASIS, 1996).

Alleoni e Camargo (1994) observaram que os teores de ADA diminuíram em profundidade, sendo maior no horizonte A em relação ao horizonte B, e que provavelmente este aumento ocorreu por causa dos maiores valores de COT na camada superficial do solo em relação a camadas subsuperficiais. Pois, uma das principais fontes de carga negativa do solo é a MO (RAIJ; PEECH, 1972). Porém, Beutler et al. (2001) relacionaram os menores teores de ADA com os maiores teores de MO, evidenciando a importância da MO na floculação das partículas do solo, concordando com as observações de (CARVALHO et al., 1998).

Shanmuganathan e Oades (1983) observaram que a adição de ácido húmico pode tanto diminuir como aumentar a dispersão de argila, dependendo do tipo de solo e predomínio de forças repulsivas ou atrativas, que depende do tipo e teores de partículas minerais e complexantes orgânicos. A MO desempenha influência direta e indireta nos processos físico-químico-biológicos do solo, sendo que em algumas situações a MO aparece ajudando na floculação da argila e em outras causando sua dispersão (GOMES et al., 1994).

Durgin e Chaney (1984) ressaltam que, além de bloquear cargas positivas, os polímeros orgânicos podem gerar cargas negativas em razão dos seus grupos funcionais, principalmente carboxílicos e fenólicos. E também as interações de ácidos orgânicos com óxidos metálicos ou minerais de argila, criam carga de superfície negativa ou fazem com que ela fique mais negativa Xu et al. (2004), podendo induzir a desestabilização das partículas de argila e aumentar a ADA.

Oliveira et al. (2008) observaram que o grau de floculação da argila é menor nos horizontes superficiais dos solos quando comparados aos horizontes subsuperficiais, e que houve correlação entre os teores de COT e o grau de floculação. No entanto, o efeito do COT

no grau de floculação diferiu por posição de horizonte, enquanto nos superficiais a correlação foi positiva, nos subsuperficiais foi negativa, de modo geral, a floculação é maior quando há menor densidade de cargas negativas, causado por menor repulsão entre as partículas. Segundo os autores os horizontes subsuperficiais são mais floculados por terem, em média, menor densidade de cargas negativas, quando comparado aos horizontes de superfície, por isso, o aumento no teor de COT, nestes horizontes (subsuperficiais), é responsável pelo aumento no número de cargas negativas e consequente maior dispersão de argilas.

2.4 INFLUÊNCIA DO PH NA DISPERSÃO DA ARGILA

Em solos com predomínio de carga permanente, Muneer e Oades (1989a, 1989b) observaram a diminuição da ADA com a aplicação de carbonato de cálcio (CaCO_3). Nesta condição, o aumento de cargas negativas ocasionadas pela elevação do pH não é expressivo e, portanto, predomina o efeito do aumento da força iônica, o qual diminui a espessura da dupla camada difusa.

Ferreira et al. (2010) relacionaram o menor valor de ADA com os menores valores de pH e ΔpH do solo. Segundo os autores o pH influencia nas cargas da superfície dos solos dependentes de pH, sendo que as cargas negativas da superfície tornam-se neutras, ou seja, cargas negativas iguais as positivas no PCZ, onde ocorre a maior floculação da argila, e as cargas negativas aumentam na medida em que o pH do solo aumenta e diminui na medida em que o mesmo diminui. Portanto, a ADA aumenta quando o pH em água do solo for mais elevado do que o PCZ, pois ocorre maior repulsão eletrostática e diminui a floculação da mesma (VAN RAIJ; PEECH, 1972; UEHARA; GILLMAN, 1980; OADES, 1988; LEVY; EISENBERG; SHAINBERG, 1993; NETTO; BRAGA; COSTA, 1995).

Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) observaram que a dispersão de argila tende a diminuir quando o pH se aproxima do PZC, ponto onde o número de cargas positivas é igual ao de cargas negativas, proporcionando menor ΔpH , e que a variável que se correlacionou melhor com a argila dispersa, tanto em solo com textura argilosa quanto com textura média, foi o ΔpH . Nguetnkam e Dultz (2014) observaram que o pH e o tipo e a concentração de eletrólitos afetam a dispersão de argilas, modificando a carga de superfície das partículas de argila líquida.

Barbosa et al. (2015) observaram que alguns dias após a aplicação de esterco de suíno, independente da dose, que houve aumento no pH, resultando em um ΔpH mais negativo, por causa da saturação da argila com cargas negativas, aumentando o teor de ADA.

Oliveira et al. (2008) observaram que os horizontes subsuperficiais são mais floculados por terem, em média, menor pH, quando comparado aos horizontes de superfície. Segundo Chorom e Rengasamy (1995) o balanço de carga negativa líquida é um fator que causa dispersão de argila, e que o pH afeta a ADA, por alterar a carga líquida das partículas de argila.

Nguetnkam e Dultz (2011) observaram que o pH, ao modificar a carga de superfície negativa líquida da fração argila, afeta a dispersão da argila no solo. Em que a quantidade de sítios de cargas dependente do pH na solução do solo, que controla as reações de protonação e desprotonação (RENGASAMY; OLSSON, 1991).

Seta e Karathanasis (1996) observaram que a diferença entre o pH do solo e o PCZ indica a carga de superfície líquida e que o aumento desta, produz forças de repulsão entre as partículas do solo e, aumenta a capacidade de dispersão. Em valores de pH próximos ao PCZ, os coloides do solo apresentam forças de repulsão eletrostática minimizadas, favorecendo a floculação (GILLMAN, 1974).

2.5 INFLUÊNCIA DOS ARGILOMINERAIS NA DISPERSÃO DA ARGILA

Corrêa et al. (2008) observaram que, para a mesma classe textural, os solos goethíticos apresentaram maior resistência à dispersão que os hematíticos, e estes, por sua vez, maior que a dos gibbsíticos. Esse aspecto pode ser decorrente de variação na especificidade de adsorção dos ácidos pelos óxidos de ferro e alumínio (VARADACHARI; CHATTOPADHYAY; GHOSH, 2000). Esses resultados são corroborados por Tombácz et al. (2004), que verificaram variações na adsorção de ácidos orgânicos entre os óxidos, em que as hematitas apresentaram maior valor que as goethitas e gibbsitas.

Segundo Corrêa et al. (2008), em geral, menores valores de ADA para solos de textura argilosa, são devido possivelmente, à grande presença de sítios de adsorção, sendo este decorrente dos maiores teores de óxidos de ferro e alumínio no solo (FERNANDES, 2000).

Segundo Spera et al. (2008), fatores como textura, mineralogia (óxidos e silicatos) são determinantes da espessura da dupla camada elétrica, que influencia o teor de ADA no solo. Nguetnkam e Dultz (2014) observaram que dispersão das frações de argila é controlada pelas propriedades químicas do solo e composição mineralógica, que por sua vez governa a magnitude de superfície de carga.

3 ARTIGO: DISPERSÃO DE ARGILA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

3.1 Resumo

Os sistemas de manejo de solo podem afetar de formas diferentes suas propriedades físicas, químicas e biológicas, como a dispersão de argila, que por sua vez, pode acarretar encrostamento superficial, compactação subsuperficial e redução da porosidade, tornando o solo mais suscetível à erosão. O objetivo deste trabalho foi avaliar a argila dispersa em água (ADA) em diferentes sistemas de manejo de solo, após 34 anos, em um Latossolo Vermelho Distroférico. Os tratamentos consistem de sucessão soja - trigo em plantio direto (PD); arado de disco e grade niveladora (AD); grade pesada e grade niveladora (GP); em seis repetições inteiramente casualizadas. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades: 0,00-0,10 m, com intervalos de 0,025 m; 0,10-0,40 m, com intervalos de 0,05 m; e, de 0,40-0,50 m. Os atributos químicos do solo avaliados foram, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}). Também foi calculado o ΔpH e estimado o ponto de carga zero (PCZest). Pode-se destacar que nas camadas 0,00-0,075 m, o PD apresenta os maiores teores de ADA e o GP os menores, e o AD comportamento intermediário. Nas camadas 0,075-0,15 m, não houve diferenças estatísticas nos teores de ADA entre os sistemas. Nas camadas 0,15-0,30 m, o sistema AD passa a obter os maiores teores de ADA, enquanto o PD e o GP apresentam os menores teores. Na camada 0,030-0,035 m, o sistema AD é o único a ainda apresentar argila dispersa em água, já os sistemas PD e GP apresentam teores iguais a zero. Nas camadas 0,35-0,50 m, todos os sistemas apresentaram teor de ADA igual a zero. Observou-se ainda que $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, PCZ, COT, COP, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram correlações positivas com o teor de ADA, ao passo que ΔpH e Al^{3+} apresentaram correlações negativas.

Palavras-chave: Plantio direto, preparo convencional, qualidade física do solo.

3.2 Abstract

The soil tillage systems can affect a different way their physical, chemical and biological properties, as the clay dispersion, which in turn, may result in superficial crusting, subsurface compaction and decrease porosity, making it more susceptible to erosion. The aimed of this work was to evaluate the water dispersible clay (WDC), in different soil management systems after 34 years, in an Oxisol. The treatments consist in succession with soybean - wheat under no-tillage (NT); disc plow and leveling harrow (DP); heavy grid and leveling harrow (HG); in six completely randomized replicates. The soil samples were collected in depth: 0,00-0,10 m, with intervals of 0,025 m; 0,10-0,40 m, with intervals of 0.05 m; and of 0,40-0,50 m. The chemical attributes of the soil evaluated were, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), available phosphorus (P), exchangeable potassium (K^+), exchangeable calcium (Ca^{2+}), exchangeable magnesium (Mg^{2+}), exchangeable aluminum (Al^{3+}). It was also calculated the ΔpH and estimated the point of zero charge (PZCest). It may be emphasized that in the depth 0,00-0,075 m the NT presents the highest WDC contents, and the HG the lowest, and the DP intermediate behavior. In the depth 0,075-0,15 m, there were no statistical differences in WDC contents between the systems. In the depth 0,15-0,30 m, the system DP starts to get the highest WDC contents, while the NT and HG presents the lowest

levels. In the depth 0,30-0,35 m, the system DP is the only one that present water dispersed clay yet, whereas the systems NT and HG have levels equal to zero. In the depth 0,35-0,50 m, all the systems has the WDC content equal to zero. It was also observed that, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, PCZest, COT, COP, P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} presented positive correlations with WDC content, whereas ΔpH e Al^{3+} presented negative correlations.

Key words: No-till, conventional tillage, soil physical quality.

3.3 Introdução

Para atender a demanda por alimentos e matérias primas, que será proporcional ao aumento populacional nos próximos anos, o desafio será aumentar a produção de biomassa e a produtividade, não apenas em condições ideais, mas também em condições restritas, sobretudo de qualidade de solo (SPIERTZ, 2013). Nesse sentido, a conservação do solo será fundamental para alcançar este desafio, sendo capaz de melhorar o rendimento das culturas e estruturar um ambiente sustentável e produtivo.

Nesse contexto, o sistema de plantio direto (PD) é considerado uma das principais alternativas para o manejo sustentável do solo, trazendo benefícios como melhoria da fertilidade química (SHEEHY et al., 2015), física (HUANG et al., 2015) e microbiológica do solo (SILVA et al., 2014) e aumento da produtividade das culturas (SÁ et al., 2014), ressaltando ainda que esses benefícios podem ser potencializados com o uso de rotação de culturas (WINCK et al., 2014).

Em seus trabalhos Singh et al. (2014); Munkholm et al. (2016) observaram em solos com diferentes texturas que o PD após 15 anos reduziu a compactação sub-superficial ($> 0,20$ m) e o teor de argila dispersa em água e aumentou o teor de carbono orgânico total (COT) e a agregação do solo. Em contrapartida, o revolvimento intensivo do solo tende a reduzir a cobertura do solo, o teor de COT das camadas superficiais e o diâmetro dos agregados, contribuindo para o processo de degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI et al., 2006).

Calegari et al. (2006) ao avaliar diferentes sistemas de manejo, observaram que os teores de COT no PD tradicional, sem uso de rotação de culturas, não diferiu do sistema convencional. Porém, o PD quando realizado com a prática de rotação de culturas, pode melhorar a estabilização do COT no solo em relação ao preparo convencional (ZOTARELLI et al., 2007). Como os teores de COT têm a capacidade de alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, se um sistema de semeadura direta não for conduzido

de forma adequada pode não apresentar as potenciais melhorias nos atributos do solo em relação aos preparos convencionais.

Uma vez que os sistemas de manejo podem provocar melhoria ou acelerar a degradação do solo, dependendo de alguns fatores como, classe do solo, espécie vegetal, sistema de manejo utilizado e tempo de exploração agrícola (CASTRO FILHO et al., 1998), é importante avaliar os atributos do solo, para os diferentes sistemas para saber se há a necessidade de adequações no sistema utilizado, como por exemplo, enriquecer o sistema de rotação de culturas.

Nesse sentido, a dispersão de argila é um importante indicador da qualidade física do solo, se mostrando um parâmetro importante para definir se um sistema de manejo está adequado. Principalmente, pela argila dispersa representar a parte inicial na formação e estabilização dos agregados no conceito de hierarquização (OADES E WATERS 1991), e por afetar negativamente outros atributos do solo, como, taxa de infiltração de água, concentração de argila na enxurrada, selamento superficial, condutividade hidráulica, limite de plasticidade, aumento da densidade e redução da porosidade, tornando o solo mais susceptível à erosão (SHANMUGANATHAN; OADES, 1983).

Os teores de argila dispersa em água (ADA) podem ser alterados pelas mudanças nos teores de cátions e ânions do solo, como: hidrogênio trocável (H^+), (MORELLI e FERREIRA 1987); potássio trocável (K^+), (PARADELO, VAN OORT e CHENU 2013); cálcio trocável (Ca^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}), (TAVARES FILHO, BARBOSA e RIBON 2010); fósforo disponível (P), (LIMA et al., 2000); magnésio trocável (Mg^{2+}), (MELLO et al., 2016), que podem causar a dispersão ou floculação da argila, devido a expansão ou contração da dupla camada difusa, aumentando ou diminuindo a distância entre os colóides.

Na medida em que o pH se aproxima ou distancia do ponto de carga zero (PZC), alteram os valores de ΔpH do solo, com teores de carga líquida positivas ou negativas no solo, sendo que, quanto mais distante de zero o seu valor, maior será a carga líquida, geralmente, favorecendo a repulsão eletrostática das argilas e a maior dispersão das mesmas, (TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010).

Há uma relação entre os atributos eletroquímicos em associação com o COT (DOBBSS et al., 2008) e, essa associação pode aumentar o potencial de dispersão de argilas (AZEVEDO e SCHULZE 2007) e a inversão do potencial elétrico do solo pode ocorrer com

facilidade quando o teor de COT é reduzido pelo manejo (DOBBSS et al., 2008). Shanmuganathan e Oades (1983) observaram que a adição de material orgânico pode tanto diminuir como aumentar a dispersão de argila, dependendo do tipo de solo e predomínio de forças repulsivas ou atrativas, que depende do tipo e teores de partículas minerais e complexantes orgânicos.

À vista disso, a dispersão de argila em diferentes sistemas de manejo do solo deve ser constantemente monitorada e os processos envolvidos devem ser melhor entendidos.

A hipótese do presente estudo é de que, após 34 anos, o sistema de PD promove a redução do grau de dispersão de argila em relação aos sistemas com maior revolvimento do solo, com uso de aração e gradagem.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a argila dispersa em água (ADA) em diferentes sistemas de manejo de solo, após 34 anos, em um Latossolo Vermelho Distroférico.

3.4 Material e métodos

O experimento é conduzido desde a safra 1981/1982, na estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), localizada no município de Londrina- PR, (latitude 23°12' S, longitude de 51°11' W e 585 m de altitude), com precipitação média anual de 1.651 mm, sendo, na média histórica, janeiro o mês mais úmido (217 mm) e agosto o mais seco (60 mm). O clima na área é Subtropical Úmido (Cfa) de acordo com a classificação de KÖEPPEN-GEIGER, de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão, com temperatura média anual de 21° C, média anual máxima de 28,5° C em fevereiro, e média anual mínima de 13,3° C em julho. A média anual de umidade relativa do ar é de 70,4%. O experimento foi instalado, em um Latossolo Vermelho Distroférico com 767,30 g Kg⁻¹ de argila, 166,70 g Kg⁻¹ de silte e 66,30 g kg⁻¹ de areia.

Antes do início do experimento, área foi ocupada por uma plantação de café (*Coffea arabica* L.) por aproximadamente quarenta anos até 1973, quando então passou a ser explorada com culturas anuais de grãos (soja no verão e trigo no inverno), em preparo

convencional de solo (arações e gradagens), uso este que permaneceu até a implantação do experimento (1981/1982).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso com seis repetições. As parcelas medem 8 x 50 m, totalizando uma área de 400 m². Desde a implantação, o experimento vem sendo cultivado com a sucessão trigo no inverno e soja no verão.

Os tratamentos envolvem três sistemas de preparo do solo: Sistema Plantio Direto (PD), onde a sementeira é realizada sobre os resíduos da cultura anterior, abrindo apenas um sulco estreito na linha de sementeira; Sistema Preparo Convencional (AD), com uma aração (arado de discos de 26 polegadas, trabalhando a uma profundidade média de 0,22 m) + duas gradagens leves (trabalhando a uma profundidade média de 0,08 m); Sistema Preparo Convencional (GP), com uma gradagem pesada (grade pesada equipada com discos de 24 polegadas, atuando a uma profundidade média de 0,12 m) + uma gradagem leve (trabalhando a uma profundidade média de 0,08 m). No inverno, antes da sementeira do trigo, todos os tratamentos, à exceção do SPD, são preparados com uma gradagem pesada seguida de uma gradagem leve.

A calagem vem sendo realizada a cada quatro anos, com a aplicação, em média, de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em todos os tratamentos, visando alcançar 60% de saturação de bases e aumentar o pH em água para aproximadamente 5,5. No SPD, o calcário é aplicado em superfície, enquanto que, nos demais tratamentos, o corretivo é incorporado pelo implemento que caracteriza o respectivo sistema de preparo.

As amostras de solo foram coletadas entre os dias 14 e 17 de julho de 2015, no enchimento de grãos da cultura do trigo. Com intervalos de 0,025 m na profundidade 0,00-0,10 m, com intervalos de 0,05 m na profundidade 0,10-0,40 m, e na profundidade de 0,40-0,50 m. Foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm para a realização das análises químicas e físicas de acordo com as metodologias descritas por Pavan et al. (1992) e Claessen (1997), respectivamente.

Foram realizadas as análises químicas: pH_(H₂O); pH_(KCl) (1 mol L⁻¹); acidez trocável (Al³⁺) em KCl (1 mol L⁻¹) por titulação com NaOH (0,01 mol L⁻¹); cálcio trocável (Ca²⁺) e magnésio trocável (Mg²⁺) extraídos por KCl (1 mol L⁻¹) e titulados por EDTA; fósforo disponível (P) e potássio trocável (K⁺) por extração com Mellich⁻¹ e leituras em

espectrofotômetro a 630 nm e no fotômetro de chama, respectivamente; carbono orgânico (COT) e carbono orgânico particulado COP com oxidação pelo $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ e titulado com FeSO_4 sendo que para o (COP) a dispersão da argila foi por hexametáfosfato de sódio 60 mg L^{-1} e agitação por 16 horas, passando a amostra após a agitação em peneira de $0,053 \text{ mm}$, separando a areia para determinação; o ΔpH e o ponto de carga zero estimado (PCZest) calculados com as formulas, $\Delta\text{pH} = (\text{pH}_{(\text{KCl})} (1 \text{ mol L}^{-1}) - \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})})$ e $\text{PCZest} = (2\text{pH}_{(\text{KCl})} (1 \text{ mol L}^{-1}) - \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})})$.

A granulometria foi determinada com de 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) utilizando-se o método da pipeta com agitação lenta (180 rpm) por 1 h e NaOH (1 mol L^{-1}) como dispersante químico. A argila dispersa em água foi determinada utilizando-se o mesmo método da granulometria, porém sem adição de hidróxido de sódio.

Depois de determinar homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos com os testes de Bartlett e Shapiro – Wilk os dados foram submetidos a análise de variância (ANAVA) e quando apresentado *P*-valor estatisticamente significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Quando não apresentado homogeneidade de variância e/ou normalidade dos resíduos, os dados foram transformados usando o método de Box–Cox, e submetidos a ANAVA novamente. Quando não apresentado homogeneidade de variância e/ou normalidade dos resíduos mesmo após a transformação dos dados, a comparação entre as médias foi utilizando o método não paramétrico de Kruskal–Wallis. Uma análise de correlação linear de Pearson entre os atributos químicos do solo e ADA também foi realizado. Todas as análises foram realizadas usando o software R e os pacotes utilizados foram “mass”, “agricolae” e “ExpDes.pt”.

3.5 Resultados

Nas camadas de 0,00-0,025 e 0,025-0,05 m a ADA, no sistema de manejo PD foi maior que GP, enquanto, AD apresentou teor igual a ambos. Na camada 0,05-0,075 m, os sistemas PD e AD foram iguais e superiores a GP. Nas camadas 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m, não houve diferenças estatísticas entre os sistemas de manejo. Na camada 0,15-0,20 m, o sistema AD foi maior que PD e, GP apresentou teor igual a ambos. Na camada 0,20-0,25 m, os sistemas PD e GP foram iguais e inferiores ao AD. Na camada 0,25-0,30 m, o sistema AD apresentou o maior teor observado, o GP o menor, sendo o PD inferior ao AD e superior ao GP. Na camada 0,30-0,35 m, o sistema AD foi superior e apresentou argila dispersa,

enquanto, os sistemas PD e GP apresentaram teores iguais a zero para ADA. Nas camadas 0,35-0,40 e 0,40-0,50 m, todos os três sistemas de manejo apresentaram valores de ADA iguais a zero, (Tabela1).

Tabela 1: Argila dispersa em água (ADA) nos sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), em diferentes camadas do solo.

Manejo	Profundidade (m)										
	0,00-0,025	0,025-0,05	0,05-0,075	0,075-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40	0,40-0,50
	ADA (g kg ⁻¹)										
PD	207,57 a	224,52 a	217,62 a	203,85 a	160,17 a	<u>147,19</u> b	72,13 b	29,98 b	<u>0,00</u> b	0,00 a	0,00 a
AD	178,69 ab	188,03 ab	205,31 a	211,50 a	189,96 a	<u>208,58</u> a	190,52 a	104,94 a	<u>75,42</u> a	0,00 a	0,00 a
GP	151,43 b	149,80 b	165,28 b	173,84 a	164,99 a	<u>182,22</u> ab	108,83 b	7,19 c	<u>0,00</u> b	0,00 a	0,00 a
CV (%)	12,92%	14,51%	12,6%	14,08%	13,4%	20,45%	36,18%	53,7%	33,96%	0,00%	0,00%

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,00-0,025 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e Mg^{2+} , o sistema de manejo PD apresenta o maior valor observado, GP o menor, sendo o AD inferior ao PD e superior ao GP; PCZest, COT, COP, P e Ca^{2+} , os sistemas AD e GP foram iguais e inferiores ao PD; ΔpH , os sistemas PD e GP foram iguais e inferiores ao PD; K^+ , não há diferenças estatísticas nesta camada; Al^{3+} , o sistema GP apresenta o maior valor observado, PD o menor, sendo AD inferior ao GP e superior ao PD, (Tabela 2).

Tabela 2: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,00-0,025 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	6,23a	<u>-0,78a</u>	4,67a	24,73a	<u>20,92a</u>	80,98a	<u>0,94a</u>	7,01a	2,67a	0,04c
AD	5,85b	<u>-1,12b</u>	3,62b	12,51b	<u>10,67b</u>	33,81b	<u>1,11a</u>	3,98b	0,68b	0,09b
GP	5,27c	<u>-0,75a</u>	3,77b	12,04b	<u>8,01b</u>	30,53b	<u>0,84a</u>	3,25b	0,36c	0,19a
CV (%)	2,83	13,45	5,2	10,46	39,72	14,81	32,53	10,47	24,47	28,48

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,025-0,05 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, Ca^{2+} e Mg^{2+} , o sistema de manejo PD apresenta o maior valor observado, GP o menor, sendo AD inferior ao PD, e superior ao GP; ΔpH e Al^{3+} , os sistemas AD e PD, foram iguais e superiores ao GP; PCZest, COP e K^+ , não há diferenças estatísticas nesta camada; COT e P, os sistemas AD e GP, foram iguais e inferiores ao PD, (Tabela 3).

Tabela 3: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,025-0,05 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	6,15a	-1,05b	<u>5,10a</u>	18,93a	<u>10,53a</u>	<u>101,14a</u>	1,04a	6,07a	1,43a	0,05b
AD	5,80b	-1,02b	<u>4,78a</u>	13,04b	<u>10,28a</u>	<u>39,36b</u>	0,76a	4,05b	0,66b	0,07b
GP	5,30c	-0,73a	<u>4,57a</u>	12,32b	<u>5,98a</u>	<u>37,50b</u>	0,81a	3,51c	0,41c	0,17a
CV (%)	3,35	19,1	6,52	6,06	50,67	20,94	23,92	10,24	18,8	32,77

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p>0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,05-0,075 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, o sistema de manejo AD foi maior que o GP, PD foi igual tanto ao AD quanto ao GP; ΔpH , PCZest, COP e K^+ , não há diferenças estatísticas nesta camada; COT, P e Mg^{2+} , os sistemas AD e GP foram iguais e inferiores ao PD; Ca^{2+} , o sistema PD foi maior que o GP, AD foi igual tanto ao PD quanto ao GP; Al^{3+} , os sistemas PD e GP, foram iguais e superiores ao PD, (Tabela 4).

Tabela 4: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,05-0,075 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,83ab	-1,10a	3,63a	14,90a	5,91a	103,50a	0,80a	<u>4,63a</u>	0,96a	<u>0,15a</u>
AD	5,95a	-1,10a	3,75a	11,80b	10,46a	35,58b	0,92a	<u>3,96ab</u>	0,57b	<u>0,06b</u>
GP	5,60b	-0,98a	3,63a	11,93b	6,76a	30,48b	0,96a	<u>3,41b</u>	0,40b	<u>0,16a</u>
CV (%)	3,11	15,93	7,04	8,59	43,59	18,49	17,89	16,88	23,61	48,33

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p>0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,075-0,10 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, os sistemas de manejo PD e GP, foram iguais e inferiores ao AD; ΔpH , os sistemas AD e PD, foram iguais e inferiores ao GP;

PCZest, o sistema GP foi maior que o PD, AD foi igual tanto ao GP quanto ao PD; COT e K, não há diferenças estatísticas nesta camada; COP, o sistema AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao GP quanto ao PD; P, o sistema PD apresenta o maior valor observado, GP o menor, sendo AD inferior ao PD e superior ao GP; Ca^{2+} , o sistema AD foi maior que o GP, PD apresenta valor igual tanto ao GP quanto ao PD; Mg^{2+} , o sistema PD foi maior que o GP, AD foi igual tanto ao GP quanto ao PD; Al^{3+} , o sistema PD apresenta o maior valor observado, AD o menor, sendo GP inferior ao PD e superior ao AD, (Tabela 5).

Tabela 5: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,075-0,10 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,72b	-1,25b	3,22b	12,15a	<u>4,17b</u>	<u>60,59a</u>	0,74a	3,44ab	0,89a	0,37a
AD	6,17a	-1,37b	3,43ab	13,15a	<u>11,73a</u>	<u>32,73b</u>	0,89a	4,17a	0,80ab	0,07c
GP	5,48b	-0,88a	3,72a	12,15a	<u>5,53ab</u>	<u>23,15c</u>	0,94a	3,29b	0,41b	0,14b
CV (%)	4,01	19,75	8,62	9,28	53,55	23,61	21,62	13,6	42,31	52,7

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,10-0,15 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, COT e Ca^{2+} , os sistemas de manejo PD e GP, foram iguais e inferiores ao AD; ΔpH e P, não há diferenças estatísticas nesta camada; PCZest e COP, o sistema AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao GP quanto ao PD; K^+ , os sistemas AD e GP, foram iguais e superiores ao PD; Mg^{2+} , os sistemas PD e AD, foram iguais e superiores ao GP; Al^{3+} , o sistema PD apresenta o maior valor observado, AD o menor, sendo GP inferior ao PD e superior ao AD, (Tabela 6).

Tabela 6: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,10-0,15 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	<u>5,42b</u>	-1,07a	3,28b	11,57b	3,62b	27,86a	0,50b	2,94b	1,28a	<u>0,50a</u>
AD	<u>5,95a</u>	-1,08a	3,78a	13,09a	10,71a	32,39a	0,96a	4,45a	0,86a	<u>0,05c</u>
GP	<u>5,57b</u>	-0,98a	3,60ab	12,10b	5,24ab	20,84a	0,83a	3,23b	0,41b	<u>0,16b</u>
CV (%)	3,93	18,33	6,48	5,05	56,53	31,53	17,27	16,09	54,86	52,99

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,15-0,20 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, o sistema de manejo AD apresenta o maior valor observado, PD o menor, sendo GP inferior ao AD e superior ao PD; ΔpH e PCZest, não há diferenças estatísticas nesta camada; COT e Mg^{2+} , o sistema AD foi maior que o GP, PD apresenta valor igual tanto ao GP quanto ao PD; COP, P e Ca^{2+} , os sistemas PD e GP foram iguais e inferiores ao AD; K^+ , os sistemas AD e GP foram iguais e superiores ao PD; Al^{3+} , os sistemas AD e GP foram iguais e inferiores ao PD, (Tabela 7).

Tabela 7: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,15-0,20 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,30c	-0,98a	3,33a	9,70ab	<u>3,09b</u>	12,76b	0,41b	2,42b	0,58ab	0,64a
AD	6,15a	-1,33a	3,48a	10,87a	<u>9,59a</u>	21,64a	0,83a	4,20a	0,77a	0,06b
GP	5,72b	-1,03a	3,65a	8,82b	<u>2,79b</u>	8,67b	0,71a	3,02b	0,35b	0,13b
CV (%)	4,09	23,1	10,8	12,8	73,8	28,47	19,2	15,7	37,8	51,3

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,20-0,25 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e Ca^{2+} , o sistema de manejo AD apresenta o maior valor observado, PD o menor, sendo GP inferior ao AD e superior ao PD; ΔpH , PCZest

e Mg^{2+} , não há diferenças estatísticas nesta camada; COT, COP e P, os sistemas PD e GP foram iguais e inferiores ao AD; K^+ , os sistemas AD e GP foram iguais e superiores ao PD; K^+ , os sistemas AD e GP foram iguais e inferiores ao PD, (Tabela 8).

Tabela 8: Atributos do solo, $pH_{(H_2O)}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,20-0,25 m.

Manejo	$pH_{(H_2O)}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,23c	-0,88a	3,47a	<u>8,65b</u>	<u>1,89b</u>	6,11b	0,27b	<u>2,44c</u>	<u>0,83a</u>	<u>0,47a</u>
AD	6,10a	-1,18a	3,73a	<u>9,72a</u>	<u>5,75a</u>	19,57a	0,71a	<u>3,86a</u>	<u>0,67a</u>	<u>0,08b</u>
GP	5,62b	-0,83a	3,95a	<u>8,65b</u>	<u>2,43b</u>	3,73b	0,56a	<u>3,81b</u>	<u>0,61a</u>	<u>0,17b</u>
CV (%)	4,09	26,84	12,66	17,29	53,85	51,77	26,31	31,79	41,36	63,36

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,25-0,30 m: $pH_{(H_2O)}$, COP e K^+ , os sistemas de manejo PD e GP foram iguais e inferiores ao AD; ΔpH , PCZest e COT, não há diferenças estatísticas nesta camada; P e Mg^{2+} , o sistema AD foi maior que o GP, PD apresenta valor igual tanto ao GP quanto ao PD; Ca^{2+} , os sistemas AD e GP foram iguais e superiores ao PD; Al^{3+} , os sistemas AD e GP foram iguais e inferiores ao PD, (Tabela 9).

Tabela 9: Atributos do solo, $pH_{(H_2O)}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,25-0,30 m.

Manejo	$pH_{(H_2O)}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,33b	-0,82a	3,70a	7,13a	<u>1,54b</u>	<u>3,95ab</u>	0,20b	2,30b	0,72ab	0,37a
AD	5,95a	-0,92a	4,12a	7,36a	<u>4,96a</u>	<u>8,05a</u>	0,62a	3,86a	0,90a	0,05b
GP	5,53b	-0,72a	4,10a	6,08a	<u>1,56b</u>	<u>2,10b</u>	0,35b	3,13a	0,56b	0,15b
CV (%)	3,57	21,56	8,19	31,65	49,86	69,02	32,88	15,41	24,7	73,76

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,30-0,35 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, o sistema de manejo AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD; ΔpH , PCZest, COT e Mg^{2+} COT, não há diferenças estatísticas nesta camada; COP, K^+ e Ca^{2+} , os sistemas PD e GP, foram iguais e inferiores ao AD; P, os sistemas PD e AD, foram iguais e superiores ao GP; Al^{3+} , o sistema PD foi maior que o AD, GP apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD, (Tabela10).

Tabela 10: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,30-0,35 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	<u>5,25b</u>	-0,80a	3,65a	<u>7,42a</u>	1,45b	3,24a	0,14b	2,30b	0,76a	<u>0,39a</u>
AD	<u>5,92a</u>	-0,90a	4,12a	<u>6,90a</u>	2,73a	5,80a	0,41a	3,52a	0,76a	<u>0,08b</u>
GP	<u>5,58ab</u>	-0,78a	4,02a	<u>5,96a</u>	1,22b	1,60b	0,19b	2,73b	0,56a	<u>0,23ab</u>
CV (%)	5,05	28,39	10,66	23,83	36,94	50,04	31,72	17,23	36,24	71,99

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,35-0,40 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e K^+ , o sistema de manejo AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD; ΔpH , PCZest, Al^{3+} , não há diferenças estatísticas nesta camada; COT, COP e Ca^{2+} , os sistemas PD e GP, foram iguais e inferiores ao AD; P, os sistemas PD e AD, foram iguais e superiores ao GP; Mg^{2+} , o sistema AD foi maior que o GP, PD apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD, (Tabela 11).

Tabela 11: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,35-0,40 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	5,35b	-0,70a	3,95a	6,08b	1,06b	2,98a	0,10b	2,32b	0,73ab	0,41a
AD	5,82a	-0,83a	4,15a	7,25a	3,23a	4,50a	0,25a	3,53a	0,83a	0,08a
GP	5,50ab	-0,78a	3,93a	5,96b	1,08b	1,66b	0,14ab	2,72b	0,52b	0,30a
CV (%)	4,51	31,75	12,08	10,60	25,77	34,77	44,48	17,61	28,98	94,40

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Camada 0,40-0,50 m: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, os sistemas de manejo PD e GP, foram iguais e inferiores ao AD; ΔpH , COT, COP, K^+ e Mg^{2+} , não há diferenças estatísticas nesta camada; PCZest, o sistema AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD; P, os sistemas PD e AD, foram iguais e superiores ao GP; Ca^{2+} , o sistema AD foi maior que o PD, GP apresenta valor igual tanto ao AD quanto ao PD; Al^{3+} , os sistemas PD e GP, foram iguais e superiores ao AD, (Tabela 12).

Tabela 12: Atributos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) para os sistemas de manejo plantio direto (PD); arado de disco (AD); grade pesada (GP), da camada 0,40-0,50 m.

Manejo	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
				----g kg ⁻¹ ----	mg kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
PD	<u>5,35b</u>	<u>-0,70a</u>	<u>3,95b</u>	<u>6,08a</u>	1,44a	<u>2,37a</u>	0,09a	2,58b	0,76a	0,29a
AD	<u>5,65a</u>	<u>-0,62a</u>	<u>4,42a</u>	<u>6,31a</u>	2,70a	<u>3,24a</u>	0,17a	3,79a	0,79a	0,07b
GP	<u>5,02b</u>	<u>-0,32a</u>	<u>4,38ab</u>	<u>5,26a</u>	1,49a	<u>1,24b</u>	0,12a	3,12ab	0,58a	0,32a
CV (%)	5,16	50,11	9,63	21,91	47,19	39,63	55,40	19,45	35,23	84,92

Letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey ou Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Médias sem grifar e sem negrito apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste de Tukey. Médias em negrito não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram transformadas usando o método de Box-Cox e comparadas pelo teste de Tukey. Médias grifadas não apresentaram normalidade e/ou homogeneidade de variância e foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

3.6 Discussão

Em relação a influência dos sistemas de manejo de solo sobre os teores de ADA para as onze camadas estudadas, pode-se observar quatro comportamento distintos. Assim, para uma melhor discussão os dados foram agrupados por comportamento, sendo: Comportamento UM, correspondente as camadas 0,00-0,025, 0,025-0,05 e 0,05-0,075 m; Comportamento DOIS, correspondente a 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m; Comportamento TRÊS, correspondente a 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25,0,30 e 0,30-0,35 m; Comportamento QUATRO, correspondente a 0,35-0,40 e 0,40-0,50 m.

3.6.1 Comportamento UM

Em geral, o sistema PD apresenta os maiores teores de ADA, o GP os menores e o sistema AD comportamento intermediário.

Neste sentido, com o objetivo de melhor entender o comportamento da ADA foi realizada correlação linear de Pearson, entre os teores de ADA com os atributos químicos do solo, (Tabela 13).

Tabela 13: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,00-0,025, 0,025-0,05 e 0,05-0,075 m.

ADA	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
Camada 0,00-0,025 m										
r	0,67	-0,13	0,47	0,55	0,821	0,62	0,46	0,74	0,67	-0,47
p	0,00	0,60	0,05	0,02	< 0,0001	0,01	0,05	0,0004	0,002	0,047
Camada 0,025-0,05 m										
r	0,67	-0,55	0,09	0,73	0,65	0,60	0,69	0,65	0,853	-0,56
p	0,003	0,02	0,72	0,001	0,004	0,01	0,002	0,004	< 0,0001	0,02
Camada 0,05-0,075 m										
r	0,24	-0,46	-0,41	0,52	0,38	0,46	-0,26	0,19	0,41	0,36
p	0,34	0,05	0,09	0,03	0,12	0,06	0,29	0,46	0,09	0,14

Valores em negrito são significativos, com p -valor (p) < 0,05.

O teor de ADA obteve correlação positiva com os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e, negativa com Al^{3+} (Tabela 13). Com isso, os maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, e menores de Al^{3+} , em geral, do PD (Tabelas 2, 3 e 4), proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1). Esses resultados podem ser atribuídos a não incorporação do

calcário no PD, causando aumento dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, e decréscimo dos teores de Al^{3+} , devido a troca do Al^{3+} por estes cátions na superfície dos colóides (SPERA et al., 2008). Além disso, o aporte de carbono orgânico, por meio da decomposição da palhada mantida na superfície do solo, pode promover a neutralização do Al^{3+} .

O teor de ADA do solo obteve correlação negativa com o ΔpH (Tabela 13). Com isso, os valores mais negativos deste atributo, no PD (Tabela 3), proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1). Esse resultado pode ser explicado também pela aplicação de calcário sem incorporação, que promove o aumento nos valores de $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, proporcionando maior distancia entre pH e PCZ, e desta forma, ΔpH mais negativo (FERREIRA et al., 2010).

Souza e Alves (2003); Leite et al. (2010), também verificaram para o PD maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e menores de Al^{3+} na superfície do solo, quando comparado com sistemas de manejo com revolvimento do solo, resultados atribuídos à aplicação superficial do calcário sem incorporação.

O teor de ADA também obteve correlação positiva com os teores de COT e COP, (Tabela 13). Dessa forma, os maiores teores de COT e COP na superfície do PD (Tabelas 2, 3 e 4), proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1). Esses resultados podem ser atribuídos à mínima mobilização do solo no PD, que eleva o acúmulo de resíduos vegetais em superfície e reduz a exposição da MO pelo não rompimento dos agregados, contribuindo com a menor decomposição da MO. Já nos sistemas de AD e GP, a maior mobilização do solo, rompe os agregados expondo a MO a rápida oxidação.

Resultados semelhantes foram observados por Tivet et al. (2013), onde os menores teores de COT foram obtidos no plantio convencional em relação ao PD. Segundo os autores, esse resultado foi devido ao maior armazenamento de COT nos macro-agregados, indicando que esses são cruciais no armazenamento e estabilização do COT.

O teor de ADA também obteve correlação positiva com os teores de K^+ (Tabela 13). Porém, os teores deste cátion foram iguais estatisticamente nestas camadas, para os diferentes sistemas de manejo (Tabelas 2, 3 e 4), corroborando com Souza e Alves (2003); Duiker e Beegle (2005), mostrando que, o manejo do solo não foi suficiente para causar diferenças em seus teores, podendo estar relacionado ao fato deste cátion ser de alta

mobilidade no solo (ROSA JUNIOR et al., 2006). Com isso, não pode ser considerado para estas camadas do solo, fator fundamental para o aumento no teor de ADA.

Observa-se que há diferença estatística entre os valores de PCZest em relação aos sistemas de manejo (Tabela 2), porém, não sendo possível observar correlações entre este atributo e a ADA (Tabela 13). Resultado semelhante foi observado por Ferreira et al. (2010), no qual avaliando sistemas com manejo diferentes, não conseguiram observar diferenças nos valores de PCZest entre os sistemas avaliados, mostrando que este atributo do solo não é alterado facilmente pelo manejo do solo.

O teor de ADA também obteve correlação positiva com os teores de P (Tabela 13). Dessa maneira, os maiores teores de P, no geral, na superfície do PD, proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabelas 2, 3 e 4), podendo estar relacionado a menor mobilização do solo neste sistema, e ao fato deste íon ser considerado de baixa mobilidade e solubilidade no solo, proporcionando maior acúmulo na superfície deste sistema em relação aos outros (SILVEIRA; STONE, 2001).

3.6.2 Comportamento DOIS

Nas camadas 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m, não se observou diferenças entre os diferentes sistemas de manejo em relação a ADA, podendo ser considerada uma camada de transição, entre as camadas anteriores e as camadas seguintes.

Embora a camada de transição apresente diferenças estatísticas em relação aos atributos químicos, entre os diferentes sistemas de manejo de solo (Tabelas 5 e 6), e correlação significativa entre ADA e os atributos $pH_{(H_2O)}$ e ΔpH e PCZest (Tabela 14), não foram suficientes para alterar os teores de ADA.

Tabela 14: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m.

ADA	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
Camada 0,075-0,10 m										
r	0,52	-0,65	-0,57	0,11	0,45	0,14	-0,11	0,25	0,08	0,24
p	0,03	0,004	0,01	0,66	0,06	0,57	0,68	0,32	0,74	0,35
Camada 0,10-0,15 m										
r	0,12	-0,16	-0,07	0,07	0,38	-0,17	0,02	0,30	-0,33	-0,22
p	0,63	0,53	0,78	0,77	0,12	0,50	0,93	0,22	0,18	0,39

Valores em negrito são significativos, apresentam p -valor (p) < 0,05.

A camada de transição resulta, provavelmente, das diferentes características de cada sistema de manejo do solo. Os valores de ADA no sistema PD, mesmo com mínima mobilização do solo, acúmulo de adubos, corretivos e restos culturais na superfície, com o passar das safras, ocorre a translocação de íons e material orgânico para estas camadas, não proporcionando ao PD valores discrepantes dos atributos químicos em relação aos outros sistemas.

Embora o sistema AD apresente efeito do revolvimento do solo, geralmente, são encontrados maiores valores de COT, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e menor teor de Al^{3+} (Tabelas 5 e 6), em relação aos outros sistemas. No entanto, estas diferenças, não foram suficientes para proporcionar diferenças nos teores de ADA.

Embora a profundidade de trabalho dos implementos utilizados no sistema GP cheguem a estas camadas, não proporcionou acúmulo de MO, adubos e corretivos, para alterar os atributos químicos, e apresentar diferenças nos teores de ADA.

3.6.3 Comportamento TRÊS

As camadas 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30 e 0,30-0,35 m, onde no geral o sistema de manejo AD apresenta os maiores teores de ADA em relação aos sistemas GP e PD, que apresentam comportamento semelhante.

Para o melhor entendimento do comportamento da ADA nas camadas 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30 e 0,30-0,35 m, são apresentadas as correlações lineares de Pearson, entre os teores de ADA e os atributos químicos do solo (Tabela 15).

Tabela 15: Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre argila dispersa em água (ADA) e os atributos químicos do solo, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, ΔpH , ponto de carga zero estimado (PCZest), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), fósforo disponível (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}) nas camadas 0,15-0,20, 0,20-0,25, 0,25-0,30 e 0,30-0,35 m.

ADA	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$	ΔpH	PCZest	COT	COP	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
Camada 0,15-0,20 m										
r	0,61	-0,74	-0,44	0,58	0,36	0,46	0,33	0,65	-0,23	-0,49
p	0,01	0,001	0,06	0,01	0,14	0,049	0,18	0,004	0,37	0,04
Camada 0,20-0,25 m										
r	0,80	-0,52	0,07	0,70	0,49	0,53	0,63	0,24	-0,19	-0,54
p	< 0,0001	0,03	0,77	0,001	0,04	0,02	0,005	0,34	0,45	0,02
Camada 0,25-0,30 m										
r	0,70	-0,55	0,07	0,48	0,58	0,79	0,69	0,67	0,50	-0,41
p	0,001	0,02	0,79	0,04	0,01	< 0,0001	0,002	0,002	0,04	0,09
Camada 0,30-0,35 m										
r	0,66	-0,36	0,20	0,19	0,69	0,78	0,81	0,68	0,11	-0,55
p	0,003	0,14	0,42	0,46	0,002	0,0002	< 0,0001	0,002	0,67	0,02

Valores em negrito são significativos, apresentam p -valor (p) < 0,05.

O teor de ADA obteve correlação positiva com os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ e negativa com Al^{3+} (Tabela 15). Desse modo, os maiores teores Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, e menores de Al^{3+} , em geral, no AD (Tabelas 7, 8, 9 e 10) proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1). Esse resultado pode ser atribuído ao revolvimento do solo mais profundo do AD, onde parte do calcário aplicado na superfície do solo é mobilizado para as camadas mais profundas do solo, promovem as mesmas reações observadas na superfície do sistema PD, discutido anteriormente.

O teor de ADA também apresentou correlação positiva com os teores de COT e COP (Tabela 15). Com isso, os maiores teores de COT e COP, em geral, no sistema AD (Tabelas 7, 8, 9 e 10) proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1), podendo ser atribuído também ao revolvimento profundo do solo no AD, levando parte da MO da superfície, para as camadas mais profundas do solo, o que não acontece nos outros sistemas.

O teor de ADA também obteve correlação positiva com os teores de P e K⁺ (Tabela 15). Com isso, os maiores teores de P e K⁺, em geral, no AD (Tabelas 7, 8, 9 e 10), proporcionaram os maiores teores de ADA nesse sistema (Tabela 1). Provavelmente devido ao P ser considerado de baixa mobilidade no solo Silveira e Stone (2001) e, este sistema apresentar revolvimento profundo do solo, mobilizando parte do adubo aplicado para estas camadas, o que não acontece nos outros sistemas. Até mesmo o K⁺ que apresenta alta mobilidade no solo (ROSA JUNIOR et al., 2006), e poderia apresentar teores semelhantes para os três sistemas, apresentou maiores teores no sistema AD devido ao revolvimento profundo do solo.

Observou-se correlação dos teores de ADA com o Δ pH e PCZest (Tabela 15). Porém, estes atributos foram iguais estatisticamente nos diferentes sistemas (Tabelas 7, 8, 9 e 10), ou seja, o manejo do solo não foi suficiente para causar diferenças em seus valores. O efeito do Δ pH e PCZest, em relação aos teores de ADA, não ocorreu apenas por diferenças dos sistemas de manejo de solo, mas também por diferenças dentro dos manejos. Com isso, não pode ser considerado para estas camadas do solo, fator fundamental para o aumento no teor de ADA.

O comportamento semelhante do sistema PD e GP, em relação aos teores de ADA, pode ser explicado devido ao mínimo revolvimento do PD e ao revolvimento no sistema GP mobilizar o solo na profundidade média de 0,12 m, trabalhando o solo apenas até a camada de transição. O sistema AD por ser o único avaliado neste trabalho que apresenta revolvimento até camadas mais profundas, mobilizando parte da MO, adubos e corretivos da superfície, para estas camadas, proporcionando comportamento distinto dos outros sistemas em relação aos teores de ADA, sendo também o único sistema a ainda apresentar teores de ADA na camada 0,30-0,35 m, mostrando que a mobilização até profundidades maiores, promoveu a dispersão da argila até camadas mais profundas, mostrando que direta e indiretamente, o manejo do solo tem influência nos teores de ADA.

3.6.4 Comportamento Quatro

As camadas 0,35-0,40 e 0,40-0,50 m, não apresentaram argila dispersa em água (ADA = zero), para todos os sistemas avaliados, assim, não houve a possibilidade de fazer a correlação linear de Pearson. Esses resultados mostram que tanto para sistemas de manejos com mínima mobilização do solo, como o PD, ou mobilização até camadas mais

profundas, como no caso do AD, os teores de ADA ocorreram apenas até a camada 0,35 m. Porém, o sistema AD apresenta ADA até camadas mais profundas (0,30-0,35 m) em relação aos outros sistemas, como discutindo anteriormente.

Resultados semelhantes foram observados por Alleoni e Camargo (1994); Oliveira et al. (2008); Nguetnkam e Dultz (2011), em que os teores de ADA diminuíram em profundidade, independente do manejo, sendo maior na superfície em relação a subsuperfície. Segundo os autores, este decréscimo ocorreu, provavelmente, devido aos menores valores de COT e pH na camada subsuperficial do solo, que proporciona valores de ΔpH próximo de zero, com densidade de carga baixa, causando menor repulsão entre as partículas, favorecendo a floculação da argila.

Levando em consideração que nas últimas 34 safras, a sucessão de culturas soja-trigo adicionou a mesma quantidade de carbono no solo, e que, semeadura, colheita, adubação, correção do solo e tratos culturais foram sempre realizados da mesma forma para os três sistemas, pode-se atribuir as diferenças nos teores de ADA, exclusivamente à forma como o solo foi manejado. E, devido as diferentes taxas de infiltração de água e temperaturas, proporção de macro e micro porosidade, e, conseqüentemente, diferentes taxas de decomposição da matéria orgânica, e diferenças nas reações entre a solução do solo e os corretivos e adubos aplicados ao solo com as partículas de argila.

3.6.5 Relação entre atributos químicos e argila dispersa em água

A correlação positiva entre os teores de COT e COP com a ADA pode ser explicada devido ao aumento do C orgânico gerar cargas negativas em excesso no solo e aumentarem a repulsão dos colóides, favorecendo a dispersão de argila (PAIVA et al., 2000; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010; NGUETNKAM et al., 2011). Resultados que corroboram com estes foram observados por Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010), em solo muito argiloso, como o deste trabalho, com aplicação de resíduo orgânico em que os teores de MO apresentaram correlação linear de Pearson positiva de 0,89 com a ADA.

As correlações positivas entre os teores de P e ADA encontradas neste trabalho, podem ser explicadas devido ao fato de que em solos com carga superficial positiva líquida, isto é, solos com pH menor que o ponto isoelétrico, a absorção de fosfato causa diminuição na dispersão de argila, tornando a carga líquida do solo menos positiva (LIMA et al., 2000). Com isso, o solo estudado, com carga líquida de superfície negativa, sendo o pH

maior que o ponto isoelétrico, a adição de fosfato gera ainda mais carga negativa líquida no solo causando aumento na dispersão de argila. Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2000); Ribeiro et al. (2011) onde a absorção de P aumentou o teor de ADA. Segundo os autores, a adsorção de P tornou a superfície das partículas de argila mais eletronegativa, situação que favorece a dispersão de argila.

Os menores teores de Al^{3+} reduzindo o teor de ADA se deve ao fato desse cátion ser considerado de alto poder floculante, pois o Al^{3+} apresenta raio iônico pequeno, com baixa densidade de carga em relação aos outros cátions presentes no solo e carga líquida menor, proporcionando a aproximação da dupla camada difusa, resultando em maior atração das partículas, (SPOSITO, 1989; MORELLI; FERREIRA, 1987; MEURER, 2006). Resultados semelhantes para o Al^{3+} foram encontrados por Seta e Karathanasis (1996), em que, a dispersão de argila em água diminuiu com o aumento de teores de Al^{3+} .

As correlações positivas dos teores de ADA com Ca^{2+} e Mg^{2+} podem ser atribuídas ao fato dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} substituírem o Al^{3+} no complexo de troca, quando em altas concentrações, com a precipitação do Al^{3+} que se torna insolúvel e neutro (TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010; ALMEIDA et al., 2005; SPERA et al., 2008). Com isso, quando o Al^{3+} , principal agente floculante da solução do solo, é deslocado do sistema de troca de cátions, aumenta a carga líquida das superfícies das partículas, promovendo assim o aumento da espessura da dupla camada difusa do solo, diminuindo a força de atração das partículas, proporcionando aumento na ADA (SPOSITO, 1989; BENITES; MENDONÇA, 1998; ALBUQUERQUE et al., 2000, 2003; MEURER, 2006; IGWE; UDEGBUNAM, 2008).

Resultados semelhantes foram observados por Spera et al. (2008), onde a aplicação de doses crescentes de calcário, proporcionou o mesmo comportamento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e de ADA, sugerindo que o aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} provoca o aumento da ADA.

As correlações positivas entre os teores de K^+ e de ADA, pode ser devido o fato desse cátion apresentar alto grau de hidratação que formam complexos de esfera, aumentando a distância entre as partículas; logo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema se dispersa (MEURER, 2006). Tal cátion monovalente possui raio iônico e densidade de cargas expressivamente maior que os cátions bivalentes, variando de 5 a 100 mol m^{-3} para o K^+ e de 0,1 a 2 mol m^{-3} para o Ca^{2+} . Essas características do K^+ promove a

dilatação da dupla camada difusa e distanciamento das partículas do solo, causando assim, a dispersão das argilas (SPOSITO, 2008).

Estes resultados estão em acordo com Homem et al. (2014); Silva et al. (2011); Erthal et al. (2010), os quais avaliaram o uso de água residuária de suíno, resíduos sólidos urbanos e água residuária de bovinocultura, respectivamente, e observaram que o aumento dos teores de K^+ promoveram aumento de ADA. Paradelo, Van Oort e Chenu (2013), observaram que todos os tratamentos que receberam K^+ apresentaram incremento nos teores de ADA, em relação ao controle.

As correlações negativas do teor de ADA com o ΔpH e positivas com $pH_{(H_2O)}$, podem ser explicadas, uma vez que, o aumento do pH provoca o seu distanciamento em relação ao PCZ destes solos, e assim, ΔpH mais negativo, proporcionando desbalanço de cargas elétricas líquida de superfície, onde os coloides do solo apresentam forças de repulsão eletrostática aumentadas, ocorrendo maior dispersão da argila (RAIJ, 1973; GILLMAN, 1974; SPOSITO, 1984; FERREIRA et al., 2010). Igwe e Udegbonam (2008); Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010), observaram que as variáveis pH e ΔpH influenciaram a dispersão, apresentando correlações com a ADA. Seta e Karathanasis (1996) observaram que a diferença entre pH do solo e PCZ indica a carga de superfície líquida e, que o aumento desta produz forças de repulsão entre as partículas do solo e aumenta a capacidade de dispersão.

3.7 CONCLUSÕES

Nas camadas 0,00-0,025, 0,025-0,05 e 0,05-0,075 m, o sistema plantio direto (PD), com a menor mobilização do solo, proporcionou os maiores teores de argila dispersa em água (ADA) e, o sistema grade pesada (GP), com grande mobilização do solo, os menores teores de ADA. Nas camadas 0,075-0,10 e 0,10-0,15 m, não verificou-se diferenças entre os sistemas de manejo.

Nas camadas 0,15-0,20, 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m, os sistemas PD e GP passam a apresentar os menores valores de ADA, e o sistema arado de disco (AD), com mobilização do solo até camadas mais profundas, passa a obter os maiores teores de ADA. Na camada 0,30-0,35 m, o sistema AD é o único a apresentar teores de ADA diferente de zero.

Nas camadas 0,35-0,40 e 0,40-0,50, todos os sistemas, independente da frequência ou profundidade de mobilização do solo, apresentam teor de ADA igual a zero.

Os atributos do solo que causaram as diferenças nos teores de ADA em relação aos diferentes sistemas de manejo foram $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, PCZ, COT, COP, P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ com correlações positivas com ADA; e ΔpH e Al³⁺ com correlações negativas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 24, pp. 295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, p. 799-806, 2003.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agricola**. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 321-326, ago. 1994.
- ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D., AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, p. 437-445, 2005.
- AZEVEDO, A. C.; SCHULZE, D. G. Aggregate distribution, stability and release of water dispersible clay for two subtropical Oxisols. **Sci Agric**, vol. 64, p. 36-43, 2007.
- BARBOSA, G. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; MIYAZAWA, M.; RUIZ, D. B.; TAVARES FILHO, J. Aggregation and clay dispersion of an oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 279-285, 2015.
- BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 215-221, 1998.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 25, núm. 1, pp. 129-136, 2001.
- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.

- CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; BERTON, R. S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. Características físicas de solo que recebeu vinhaça. **Boletim Científico do Instituto Agrônomo**, Campinas, v.14, n.1, p. 12. 1988.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO JR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camada compactada e, ou adensamento em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 22, p. 505-514, 1998.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 22, p. 527-538, 1998.
- CHOROM, M.; RENGASAMY, P. Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. **Eur. J. SoilSci.** V.46, p. 657–665, 1995.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. **2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS**, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- CORRÊA, M. M.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, C. C. Ácidos húmicos e alterações em algumas propriedades físicas e químicas de Latossolos, Plintossolo, e Neossolo Quartzarêmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, pp. 121-131, 2008.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, núm. 2, pp. 311-324, abril 2003.
- DOBBSS, L. B.; CANELLAS, L. P.; ALLEONI, L. R. F.; REZENDE, C. E.; FONTES, M. P. F.; VELLOSO, A. C. X. Eletroquímica de Latossolos brasileiros após a remoção da matéria

orgânica humificada solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, p. 985-996, 2008.

DUIKER, W. S.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, vol. 88, p. 30-41, 2006.

DURGIN, P. B.; CHANEY, J. G. Dispersion of kaolinite by dissolved organic matter from douglas-fir roots. **Canadian Journal of Soil Science**, vol. 64, p. 445-455, 1984.

EKWUE, E. I.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 2, p. 357-365, 1995.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. de; PEREIRA, O.G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura; **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FERNANDES, R. B. A. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste brasileiro. **Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa**, 265p, 2000. (Tese de Doutorado)

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M.; RALISCH, R. Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em cambissolo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, jul./set, pp. 531-538, 2010.

FONTES, M. P. F.; GJORUP, G. B.; ALVARENGA, R. C.; NASCIF, P. G. S. Calcium salts and mechanical stress effects on waterdispersible clay of Oxisols. **Soil Science Society of American Journal**, vol. 59, p. 224-227, 1995.

GILLMAN, G. P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 12, n. 2, p. 173-176, 1974.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

- HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B. de; CONDÉ, M.S.; SILVA, M.D; FERREIRA, I.M.; Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo; **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p. 299-309, 2014.
- HUANG, M.; LIANG, T.; WANG, L.; ZHOU, C. H. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. **Catena**, vol. 128, p. 195-202, 2015.
- IGWE, C. A. Erodibility in relation to water-dispersible clay for some soils of eastern Nigeria. **Land Degradation & Development**, v. 16, n. 1, p. 87-96, 2005.
- IGWE, C. A.; UDEGBUNAM, O. N. Soil properties influencing water-dispersible clay and silt in an Ultisol in southern Nigeria. **International Agrophysics**, v. 22, n. 4, p. 319-325, 2008.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, MG, **Universidade Federal de Viçosa**, p. 37, 1987. (Tese de Mestrado).
- ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C.; Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 36, p. 37-44, 2006.
- KRETZSCHMAR, R., ROBARGE, W.P., Weed, S.B., Flocculation of kaolinitic soilclays: effects of humic substances and iron oxides. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57, 1277–1287, 1993.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1273-1280, 2010.
- LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**, Baltimore, v. 155, n. 1, p. 15-22, 1993.
- LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. **Soil Science Society of American Journal**, vol. 64, p. 892-897, 2000.

- MELLO, T. R.; TELLES, T. S.; MACHADO, W. S.; TAVARES FILHO, J. Fatores afetando a dispersão de argila de Latossolos tratados com vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, p. 3997-4004, 2016.
- MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.295-303, 1994.
- MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. **Evangraf**, 3.ed, Poto Alegre, p. 285, 2006.
- MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 11, p. 1-6, 1987.
- MULLINS, C.E.; MACLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M.; YOUNG, I.M. Hardsettingsoils: behaviour, occurrence, and management. In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), **Soil Degradation. Advances in Soil Science II**. Springer-Verlag, Berlin, pp. 37–108, 1990.
- MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. I. Laboratory studies with ^{14}C glucose, CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research**, vol. 27, p. 389-399, 1989a.
- MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ^{14}C -labelled straw. **Australian Journal of Soil Research**, vol. 27, p. 401-409, 1989b.
- MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B.; ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, vol. 268, p. 52-59, 2016.
- NETTO, A. R.; BRAGA, J. M.; COSTA, L. M. Efeito da calagem sobre a dispersão de argilas de solos com diferentes características mineralógicas. In: **Congresso brasileiro de ciências do solo**, Viçosa-MG, vol. 25, 1995. Resumos... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 301-303, 1995.

NGUETNKAM, J. P.; DULTZ, S. Soil degradation in Central North Cameroon: Water-dispersible clay in relation to surface charge in Oxisol A and B horizons. **Soil and Tillage Research**, v. 113, n. 1, p. 38-47, 2011.

NGUETNKAM, J. P.; DULTZ, S. Clay dispersion in typical soils of north cameroon as a function of ph and electrolyte concentration. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 2, p. 153-162, 2014.

NGUYEN, M. N.; DULTZ, S.; TRAN, T. T. T.; BUI, A. T. K. Effect of anions on dispersion of a kaolinitic soil clay: a combined study of dynamic light scattering and test tube experiments. **Geoderma**, vol. 209, p. 209-213, 2013.

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

OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 5, n. 1, p. 35-70, 1988.

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

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Aust J Soil Res**, vol. 29, p. 815-828, 1991.0

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, pp. 2821-2829, 2008. Número Especial.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do estado da Bahia. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.11, p. 2295-2302, nov. 2000.

PARADELO, R.; VAN OORT, F.; CHENU, C. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition . **Geoderma**, v. 200, p. 40-44, 2013.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. D. M.; ZEMOULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. **(IAPAR, Circular Técnica, 76)**, 40p. Londrina, IAPAR, 1992.

PAVAN, M.A. & ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. **Ci Cultura**, vol. 44, p. 391-394, 1992.

RAIJ, B. VAN; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, p. 587-593, 1972.

RALISCH, R. Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de preparo do solo na descompactação de um Latossolo roxo. Tese (Doutorado em Agronomia) – **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, Botucatu, 1999.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Sodicity and soil structure. **Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 935-952, 1991.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 700-709, 2000.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURTI, N.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, P. L. T. Cargas Superficiais da Fração Argila de Solos Influenciadas Pela Vinhaça e Fósforo. **Química Nova**, São Paulo, v.34, n. 1, p. 5-10, 2011.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, vol. 48, p. 351-361, 1991.

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

SETA, A.K., KARATHANASIS, A.D., Water dispersible colloids and factors influencing their dispersability from soil aggregates. **Geoderma** 74, 255–266, 1996.

SHANMUGANATHAN, R. T.; OADES, J. M. Influence of anions on dispersion and physical properties of the A horizon of a Red-Brown-Earth. **Geoderma**, vol. 29, p. 257-277, 1983.

SHAW, J. N.; TRUMAN, C. C.; REEVES, D. W. Mineralogy of eroded sediments derived from highly weathered Ultisols of central Alabama. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 59-69, 2002.

SHEEHY, J.; REGINA, K.; ALAKUKKU, L.; SIX, J. Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems. **Soil Soil & Tillage Research**, vol. 150, p. 107-113, 2015.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. bras. eng. agríc. Ambient**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 76-83, 2006.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil and Tillage Research**, vol. 142, p. 42-53, 2014.

SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; BATISTA, R. O.; MOREIRA, D. A. Alteração química de solo cultivado com capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) e fertirrigado com percolado de resíduo sólido urbano. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 243-251, 2011.

SILVA, R. B.; LIMA, J. M.; DIAS JR, M. S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, p. 219-226, 1999.

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

SINGH, A.; PHOGAT, V. K.; DAHIYA, R.; BATRA, S. D. Impact of long-term zero till wheat on soil physical properties and wheat productivity under rice-wheat cropping system. **Soil and Tillage Research**, vol. 140, p. 98-105, 2014.

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

SPERA, S. T.; DENARDIM, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P. dos.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, p. 2613-2620, 2008, Número Especial.

SPIERTZ, H. Challenges for crop production research in improving land use, productivity and sustainability. **Sustainability**, vol. 5, p. 1632-1644, 2013.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. **Oxford University Press**, New York, 277 p, 1989.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. 2^a ed. **Oxford University Press**, 329 p, 2008.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, vol. 34, n. 5, p. 1527-1534, 2010.

TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B.; FARIA, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil & Tillage Research**, vol. 126, p. 203-218, 2013.

TOMBÁČZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A.; KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, vol. 35, p. 257-267, March, 2004.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 2, p. 250-252, 1980.

VAN RAIJ, B.; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science of American Proceedings**, Madison, v. 36, n. 4, p. 587-593, 1972.

VARADACHARI, C.; CHATTOPADHYAY, T.; GHOSH, K. The crystallo-chemistry of oxide-humus complexes. **Australian Journal of Soil Research**, vol. 38, p. 789-806, 2000.

WINCK, B. R.; VEZZANI, F. M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, vol. 38, p. 980-989, 2014.

Xu R, Li C, Ji G. Effect of low-molecular-weight organic anions on electrokinetic properties of variable charge soils. **Journal of Colloid and Interface Science** 277: 243–247, 2004.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil & Tillage Research**, vol. 95, p. 196-206, 2007.