



Agregação e coeficiente de vulnerabilidade estrutural de um Latossolo sob plantio direto e adubações nitrogenadas e potássicas

Aggregation and structural vulnerability coefficient of an Oxisol under no-tillage and nitrogen and potassium fertilization

D. D. Tavares^{1*}; P. L. F. Silva²; F. P. Oliveira³; A. F. Martins³; A. J. Silva¹; A. P. Souza³; W. E. Pereira⁴; M. C. C. Campos³

¹Departamento de Agronomia/Laboratório de Física do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900, Recife-Pernambuco, Brasil

²Departamento de Agronomia/Laboratório de Física do Solo, Universidade Estadual de Maringá, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil

³Departamento de Solos e Engenharia Rural/Laboratório de Física do Solo, Universidade Federal da Paraíba, 58397-000, Areia-Paraíba, Brasil

⁴Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, Universidade Federal da Paraíba, 58397-000, Areia-Paraíba, Brasil

*danillodutrat@hotmail.com

(Recebido em 19 de março de 2022; aceito em 21 de julho de 2022)

Os Latossolos tropicais, geralmente, se apresentam bem agregados, contudo, nos últimos anos têm havido uma intensificação agrícola desses solos devidos à demanda global por fibras e proteínas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a agregação e coeficiente de vulnerabilidade estrutural de um Latossolo Amarelo sob sistema de plantio direto submetido às adubações nitrogenadas e potássicas. O experimento foi instalado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III, resultado da combinação de cinco doses de Nitrogênio (N), na forma de Uréia (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e cinco doses de Potássio (K), na forma de KCl (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹), mais a testemunha (sem adubação). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. A agregação do solo foi determinada pela separação e classificação por tamanho do diâmetro médio ponderado de agregados secos e úmidos. As demais variáveis avaliadas foram granulometria, densidade do solo e distribuição do espaço poroso. Os maiores valores de macroagregados secos na camada de 0-10 cm foram 90,8 e 92,5%, para linha e entrelinha, respectivamente. Para a camada de 10-20 cm, o maior valor na linha foi de 92,1% e 92,6% na entrelinha. Conclui-se que o sistema de uso com adoção de plantio direto e a combinação da adubação nitrogenada e potássica, não alterou a estabilidade dos agregados.

Palavras-chave: estrutura do solo, agregados, caulinita.

The tropical Oxisols are generally well aggregated, however, in recent years there has been an agricultural intensification of these soils due to the global demand for fibers and proteins. The objective of this work was to evaluate the aggregation and structural vulnerability coefficient of a Latosol under no-tillage system submitted to nitrogen and potassium fertilization. The treatments were arranged in a factorial scheme according to the Plan Puebla III matrix, resulting from the combination of five doses of Nitrogen (N) in the form of Urea (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) and five doses of potassium (K), as KCl (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹), plus the control (without fertilization). Soil samples were collected in layers 0-10 and 10-20 cm deep. Soil aggregation was determined by sorting and sorting through the weighted average diameter of dry and wet aggregates. The experimental units were granulometry, soil density and porosity. The highest values of dry macroaggregates in the 0-10 cm layer were 90.8 and 92.5%, for line and interlining, respectively. For a 10-20 cm layer, the highest value in the line of 92.1% and 92.6% in the interline. It is concluded that the system of no-till use and the combination of nitrogen and potassium fertilization do not alter the stability of the aggregates.

Key words: soils structure, aggregates, kaolinite.

1. INTRODUÇÃO

O solo e como qualquer outro recurso natural, deve ser usado racionalmente, ou seja, através de um uso que permita maximizar a produção e mantê-la estável no tempo. No entanto, as ações antrópicas vêm alterando os ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promovendo o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema e gerando modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo [1].

A mudança da condição natural para a inserção da agricultura convencional ocasiona mudanças drásticas nessa estabilidade, implicando na perda da matéria orgânica e dos agregados mais complexos, representados pelos macroagregados estáveis em água [2]. Assim, o entendimento do impacto do uso e manejo do solo na estrutura do solo são fundamentais para o planejamento das atividades e, conseqüentemente para a manutenção de sistemas agrícolas sustentáveis.

Sistemas que utilizam o preparo convencional normalmente degradam a estrutura do solo, compactando a camada superficial, aumentando a densidade, pulveriza os agregados, reduz a porosidade do solo, diminui a infiltração de água e aumenta a resistência do solo à penetração de raízes [2]. Em contrapartida, os sistemas de manejo conservacionista utilizando práticas de cultivo sem a mobilização, como é o caso do plantio direto, recuperam e preservam a estrutura do solo, devido ao tráfego controlado, junto ao uso de plantas de cobertura, ocasionando também um aumento do teor de matéria orgânica, da atividade microbiana, na umidade do solo e estabilidade de agregados do solo.

Portanto, o conhecimento dos atributos indicadores da qualidade do solo, em ambientes explorados, é fundamental, tanto para manutenção das funções ambientais que os solos desempenham, como também para manter a capacidade de produção das culturas [3]. A estabilidade dos agregados é um dos indicadores que podem inferir sobre a qualidade do solo, devido este ser um dos atributos físicos muito sensível às práticas de uso e manejo do solo, e também importante aspecto a ser considerado para determinar o manejo adequado para manter a sustentabilidade e a capacidade produtiva dos sistemas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a agregação e coeficiente de vulnerabilidade estrutural de um Latossolo Amarelo sob sistema de plantio direto submetido às adubações nitrogenadas e potássicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo e característica gerais do experimento

O estudo foi realizado em experimento de campo com cinco anos de implantação e renovado anualmente, sendo cultivado milho em sistema de plantio direto com aplicação da combinação de diferentes doses de nitrogênio e potássio em um Latossolo Amarelo [4]. A área experimental está localizada na fazenda experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia, PB, latitude de 6°58'12" S, longitude de 35°43'44,4" W, altitude de 618 m.

O experimento foi instalado seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com 11 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial conforme a matriz Plan Puebla III [5], resultado da combinação de cinco doses de Nitrogênio (N), na forma de Uréia (5; 30; 50; 70 e 95 kg ha⁻¹) e cinco doses de Potássio (K), na forma de KCl (4; 24; 40; 56 e 76 kg ha⁻¹), mais a testemunha (sem adubação). A combinação das doses resultou nos seguintes tratamentos: T1 (30 Kg ha⁻¹ de N e 24 Kg ha⁻¹ de K); T2 (30 Kg ha⁻¹ de N e 56 Kg ha⁻¹ de K); T3 (70 Kg ha⁻¹ de N e 24 Kg ha⁻¹ de K); T4 (70 Kg ha⁻¹ de N e 56 Kg ha⁻¹ de K); T5 (50 Kg ha⁻¹ de N e 40 Kg ha⁻¹ de K); T6 (5 Kg ha⁻¹ de N e 24 Kg ha⁻¹ de K); T7 (95 Kg ha⁻¹ de N e 56 Kg ha⁻¹ de K); T8 (30 Kg ha⁻¹ de N e 4 Kg ha⁻¹ de K); T9 (70 Kg ha⁻¹ de N e 76 Kg ha⁻¹ de K); T10 (5 Kg ha⁻¹ de N e 4 Kg ha⁻¹ de K); T11 (Sem adubação).

Os adubos utilizados foram a uréia (34,63 Kg), cloreto de potássio (20,55 Kg) e superfosfato simples (163,00 Kg). A aplicação do potássio e o fósforo foi realizada em fundação (aproximadamente 10 cm de profundidade), juntamente com 30% do nitrogênio. O restante do

nitrogênio foi aplicado em cobertura aos 40 dias após o plantio, ao lado da linha, sem incorporação.

2.2 Amostragem da área

As amostras de solo para determinação dos atributos físicos, químicos e de fertilidade foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 9,52 mm para análises de agregação do solo e 2 mm para as análises dos demais atributos do solo. Amostras indeformadas foram processadas para determinação da densidade e porosidade (total, macro e microporosidade) do solo.

2.3 Caracterização física do solo

2.3.1 Estabilidade dos agregados

A separação e a classificação por tamanho do diâmetro médio ponderado de agregados úmidos (DMPAu) foram determinadas com base na metodologia descrita por Alvarez (1985) [5], modificada de Tisdall e Oades (1979) [6]. Foram pesados 50 g de cada amostra e colocadas em um recipiente plástico para umedecimento por capilaridade em água destilada durante 24 h. Após esse período, as amostras umedecidas foram transferidas para tubos plásticos, contendo 500 mL de água destilada e levadas para um agitador rotativo por 2 minutos a 16 rpm. Em seguida, utilizando-se um aparelho de oscilação vertical durante 15 minutos, os agregados foram separados nas seguintes classes, com base no seu diâmetro: 2,00-1,00; 1,00-0,50 e 0,50-0,250; 0,250-0,105; 0,105-0,053 e <0,053 mm. Posteriormente, os agregados foram secos por 24 h em estufa a 105° C e pesados para obtenção do valor de DMPAu.

Na determinação da distribuição por tamanho do diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs) foram pesados 50 g de cada amostra e levadas para um peneirador durante 1 minuto, com o mesmo conjunto de peneiras utilizados na análise de agregados úmidos. Após a separação os agregados foram pesados e a partir desses resultados obteve-se os valores de DMPAs.

O coeficiente de estabilidade estrutural (K_v), foi determinado a partir da relação entre os valores entre DMPAu e DMPAs (Eq. 1) [7].

$$K_v = \frac{DMPAu}{DMPAs} \quad (1)$$

em que, K_v (coeficiente de estabilidade estrutural); DMPAu (diâmetro médio ponderado de agregados úmidos, mm); DMPAs (diâmetro médio ponderado de agregados secos, mm).

2.3.2 Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica das amostras de solo foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) [8], usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém, sem o uso do dispersante químico. A partir dos dados das argilas foi possível calcular o grau de floculação (Equação 2).

$$GF = \left(\frac{Arg - Arg_{H_2O}}{Arg} \right) * 100 \quad (2)$$

em que, GF (grau de floculação, %); Arg (argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH, g kg⁻¹); Arg_{H₂O} (argila dispersa em água, g kg⁻¹).

2.3.3 Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo

No laboratório, as amostras indeformadas foram preparadas e saturadas com água destilada, por um período de 48 h. Posteriormente, foram pesadas e colocadas sob uma tensão de 0,006 MPa em mesa de tensão. Após estabilização na mesa as amostras foram pesadas e secas em estufa, a 105 °C, até peso constante. De posse dos pesos saturado, seco e após equilíbrio a 0,006 MPa, foi possível a determinação da densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total [8], com auxílio das Equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$D_s = \frac{m_{ss}}{V} \quad (3)$$

$$M_i = \frac{ms_{0,006} - m_{ss}}{V} \quad (4)$$

$$M_a = P_t - M_i \quad (5)$$

$$P_t = \frac{m_{sat} - m_{ss}}{V} \quad (6)$$

em que, D_s (densidade do solo, $g\ cm^{-3}$); m_{ss} (massa do solo seco a 105 °C); V (volume do cilindro, cm^3); m_{sat} (massa do solo saturado); $ms_{0,006}$ (massa de solo a tensão de 0,006 MPa); M_i (microporosidade, $m^3\ m^{-3}$); M_a (macroporosidade, $m^3\ m^{-3}$); P_t (porosidade total, $m^3\ m^{-3}$).

2.4 Caracterização química e da fertilidade do solo

Os atributos químicos e de fertilidade do solo (pH em H_2O , P disponível, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e matéria orgânica) foram determinados em triplicata, conforme Teixeira et al. (2017) [8].

Tabela 1: Valores médios de química e fertilidade de um Latossolo Amarelo submetido a diferentes doses de Nitrogênio e Potássio.

Trat.	pH (H_2O)	P	K^+	Na^+	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	CO	MO
		---- (mg dm^3) ----			----- (cmol _c dm^3) -----					- (g kg^{-1}) -	
		<u>0-10 cm</u>									
T1	4,84	21,92	37,97	0,05	4,53	1,97	2,56	0,90	11,14	32,50	56,03
T2	5,10	22,83	419,96	0,04	3,65	2,56	1,09	0,59	11,25	23,38	40,30
T3	4,98	18,51	431,70	0,05	3,40	2,48	0,92	0,72	10,31	29,38	50,64
T4	4,82	31,34	442,89	0,05	4,45	2,16	2,29	0,85	11,63	54,38	93,74
T5	4,92	8,81	76,81	0,03	3,99	1,84	2,15	0,70	12,49	34,06	58,72
T6	5,11	22,83	187,90	0,04	4,09	2,92	1,17	0,48	11,29	23,13	39,87
T7	5,31	11,67	47,12	0,03	5,40	2,74	2,66	0,62	13,38	23,69	40,84
T8	5,09	29,04	38,64	0,03	4,99	2,49	2,50	0,75	11,91	54,38	93,74
T9	4,91	12,02	33,55	0,02	4,74	2,57	2,17	0,62	12,42	53,75	92,67
T10	4,92	19,83	12,25	0,02	5,56	2,32	3,24	0,81	9,17	51,88	89,43
T11	4,82	20,88	8,09	0,01	4,88	2,10	2,78	0,82	13,86	26,25	45,26
		<u>10-20 cm</u>									
T1	4,85	16,62	31,57	0,03	3,22	1,84	1,38	0,94	11,85	27,81	47,95
T2	4,76	6,58	240,66	0,03	2,81	1,36	1,45	1,09	10,94	22,25	38,36
T3	4,80	20,04	31,32	0,03	4,48	1,89	2,59	1,10	12,62	19,63	33,83
T4	4,81	10,21	212,60	0,04	3,48	1,52	1,96	1,08	12,01	22,75	39,22
T5	4,92	6,51	32,03	0,03	3,73	1,56	2,17	1,72	11,52	43,13	74,35
T6	4,68	9,44	40,82	0,04	4,74	3,72	1,02	0,36	11,96	21,19	36,53
T7	5,10	4,70	20,03	0,02	3,46	2,03	1,43	0,79	11,65	6,19	10,67
T8	4,96	25,27	21,71	0,02	3,91	1,73	2,18	1,22	10,51	45,00	77,58
T9	4,72	15,09	24,76	0,02	4,08	2,58	1,50	1,01	11,91	20,56	35,45
T10	4,88	3,79	21,20	0,02	4,10	1,22	2,88	1,37	10,33	32,19	55,49
T11	5,13	16,21	10,02	0,02	4,43	2,44	1,99	0,55	10,79	10,06	17,35

(Trat.) Tratamento; (CO) Carbono orgânico; (MO) Matéria orgânica do solo.

2.5 Análise estatística

Os dados obtidos na caracterização dos atributos físicos do solo foram submetidos à One-way ANOVA (análise de variância de classificação simples) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). Para a análise dos dados foi utilizado o software estatístico R [9].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, são apresentados os dados da Anova para os atributos físicos do solo analisados.

Tabela 2: Resumo Anova: Tukey (HSD) 5%.

	AR	S	A	AD	GF	Ds	MaP	MiP	PT	MaS	MiS	MaU	MiU	DMPAs	DMPAu	Kv
R ²	0,138	0,156	0,172	0,200	0,196	0,528	0,782	0,820	0,557	0,471	0,471	0,402	0,402	0,455	0,459	0,420
F	1,09	1,25	1,41	1,70	1,65	3,78	13,10	16,67	4,60	3,26	3,26	2,46	2,46	3,06	3,10	2,65
Pr>F	0,381	0,251	0,163	0,069	0,079	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Bl	1,44	1,66	2,64	2,54	2,83	0,93	116,07	167,57	9,29	6,21	6,21	4,60	4,60	4,54	10,81	18,30
	0,228	0,166	0,039	0,045	0,029	0,450	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,001	0,001	0,002	<.0001	<.0001
Tr	0,94	1,09	0,92	1,36	1,18	1,02	2,19	3,00	1,46	8,86	8,86	5,31	5,31	5,65	5,66	1,24
	0,497	0,376	0,520	0,210	0,313	0,425	0,020	0,002	0,157	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,270
L	-	-	-	-	-	47,06	34,15	20,36	48,08	7,92	7,92	4,24	4,24	16,81	7,02	6,91
	-	-	-	-	-	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,006	0,006	<.0001	0,0002	0,0002
Tr*L	-	-	-	-	-	0,75	0,90	0,74	0,66	0,54	0,54	1,05	1,05	0,63	0,83	0,61
	-	-	-	-	-	0,821	0,618	0,830	0,907	0,975	0,975	0,408	0,408	0,935	0,723	0,942

Bl – bloco; Tr – tratamento; L – local; AR – areia; S – silte; A – argila; AD – argila dispersa em água; GF – grau de floculação; Ds – densidade do solo; MaP – macroporosidade; MiP – microporosidade; PT – porosidade total; MaS – macroagregado seco; MiS – microagregado seco; MaU – macroagregado úmido; MiU – microagregado úmido; DMPAs – diâmetro médio ponderado de agregados secos; DMPAu – diâmetro médio ponderado de agregados úmidos; Kv – coeficiente de vulnerabilidade estrutural.

Os resultados da análise granulométrica do solo nos diferentes tratamentos da área experimental, na profundidade de 0-10 e 10-20 cm, não diferiram estatisticamente (Tabela 3), permitindo classificar o solo como o da classe textural Argilo arenosa. Esse fato decorre de a granulometria do solo ser um atributo estável. Contudo, conforme destacado por Wang et al. (2022) [10] a distribuição espacial das partículas do solo é controlada por múltiplos fatores como o componente da fonte, modo e distância do transporte, condições hidrodinâmicas e topografia do local. Além do mais, a detecção de mudanças na granulometria do solo pode ser utilizada para indicar processos de formação e compactação dos solos, como também, estimar com precisão as propriedades hidráulicas do solo [11].

Observou-se que para a areia, silte e argila não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3), no entanto, em termo de valores absolutos o solo apresentou maiores teores de areia em relação a argila, nas duas camadas. Houve um pequeno aumento nos teores de argila em profundidade, comportamento esse que pode ser atribuído, principalmente, a translocação de argila do horizonte A e à sua acumulação no horizonte B (eluviação). Em relação ao atributo silte, em alguns tratamentos é visualizado uma pequena diminuição com o aumento da profundidade, verificando-se que os valores absolutos na camada de 10-20 cm são menores em relação aos encontrados na camada 0-10 cm de profundidade.

Tabela 3: Valores médios de análise granulométrica, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF) e classificação textural na linha de semeadura.

Trat.	Classe Textural			Argila Dispersa	Grau de Floculação	Classificação Textural
	Areia	Silte	Argila			
----- (g kg ⁻¹) -----						
<u>0-10 cm</u>						
T1	542 a	52 a	406 a	15 a	96 a	ArgiloArenosa
T2	574 a	53 a	373 a	15 a	96 a	ArgiloArenosa
T3	570 a	52 a	378 a	8 a	98 a	ArgiloArenosa
T4	575 a	48 a	377 a	10 a	97 a	ArgiloArenosa
T5	564 a	44 a	392 a	8 a	98 a	ArgiloArenosa
T6	556 a	59 a	385 a	5 a	99 a	ArgiloArenosa
T7	561 a	52 a	387 a	10 a	97 a	ArgiloArenosa
T8	568 a	47 a	385 a	10 a	97 a	ArgiloArenosa
T9	572 a	52 a	376 a	13 a	97 a	ArgiloArenosa
T10	551 a	42 a	407 a	13 a	97 a	ArgiloArenosa
T11	559 a	42 a	399 a	5 a	99 a	ArgiloArenosa

<u>10-20 cm</u>						
T1	508 a	56 a	436 a	20 a	95 a	Argilo Arenosa
T2	510 a	46 a	444 a	18 a	96 a	ArgiloArenosa
T3	528 a	49 a	423 a	15 a	96 a	ArgiloArenosa
T4	577 a	53 a	369 a	13 a	96 a	ArgiloArenosa
T5	543 a	41 a	416 a	13 a	97 a	ArgiloArenosa
T6	533 a	49 a	418 a	10 a	98 a	ArgiloArenosa
T7	522 a	48 a	430 a	10 a	98 a	ArgiloArenosa
T8	540 a	55 a	405 a	8 a	98 a	ArgiloArenosa
T9	539 a	43 a	418 a	3 a	99 a	ArgiloArenosa
T10	558 a	37 a	405 a	5 a	99 a	ArgiloArenosa
T11	536 a	40 a	424 a	3 a	99 a	ArgiloArenosa
CV (%)	7,07	31,63	9,15	105,27	2,88	

(Trat.) Tratamento; (Lin.) Linha; (Entr.) Entrelinha. Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores de ADA e GF não apresentaram diferença significativa nos diferentes tratamentos. Na camada de 0-10 cm de profundidade, local onde se faz a aplicação de adubos e onde ocorre maior movimentação do solo, os valores de ADA podem ter relação ao efeito cumulativo de sódio e potássio, visto que estes são considerados elementos dispersantes e podem ser encontrados em concentrações maiores do que os elementos floculantes, o que favorece a dispersão [12]. O GF variou entre 95 a 99%, nas duas profundidades amostradas. Esses valores próximos de 100%, indicam que estes são solos bem estruturados, característica comumente observada em Latossolos [13]. Por outro lado, a dispersão de argila nos solos vai depender da CTC, da carga de ligação predominante, além de envolver o incremento de pH até o ponto de carga zero (PCZ), produzindo dessa forma, forças de repulsão entre as partículas com carga negativa em excesso [14].

Para os valores médios de densidade do solo (Ds), observa-se na Tabela 4 que não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Com base nos valores absolutos encontrados na camada de 0-10 cm de profundidade, observa-se que em superfície o solo apresenta menor restrição física, com valores médios variando de 1,05 a 1,18 g cm⁻³ na linha de plantio e, de 1,16 a 1,33 g cm⁻³ na entrelinha. Os menores valores de Ds observados em camadas superficiais estão relacionados com o maior teor de matéria orgânica e ao maior aporte de raízes das culturas [15]. Os resultados obtidos nos diferentes tratamentos estão dentro dos níveis aceitáveis para esse tipo de solo, já que valores médios de Ds > 1,40 g kg⁻¹, em solos de textura argilosa são considerados restritivos para a maioria das culturas [16].

Tabela 4: Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em Latossolo Amarelo sob diferentes doses de adubação e locais de amostragem.

Trat.	Densidade do Solo ---- (g kg ⁻¹) ----		Porosidade					
			Macro		Micro		Total	
			----- (m ³ m ⁻³) -----					
			0-10 cm					
	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.
T1	1,05 a	1,21 a	0,35 a	0,29 a	0,21 a	0,22 a	0,56 a	0,51 a
T2	1,17 a	1,17 a	0,34 a	0,30 a	0,18 a	0,21 a	0,52 a	0,51 a
T3	1,13 a	1,27 a	0,30 a	0,28 a	0,20 a	0,20 a	0,50 a	0,48 a
T4	1,18 a	1,29 a	0,33 a	0,29 a	0,21 a	0,20 a	0,54 a	0,49 a
T5	1,14 a	1,27 a	0,35 a	0,26 a	0,19 a	0,23 a	0,54 a	0,49 a
T6	1,10 a	1,27 a	0,33 a	0,26 a	0,21 a	0,24 a	0,54 a	0,50 a
T7	1,15 a	1,33 a	0,32 a	0,25 a	0,21 a	0,22 a	0,53 a	0,47 a
T8	1,12 a	1,25 a	0,34 a	0,26 a	0,21 a	0,23 a	0,55 a	0,49 a
T9	1,13 a	1,26 a	0,33 a	0,27 a	0,22 a	0,23 a	0,55 a	0,50 a
T10	1,15 a	1,16 a	0,30 a	0,28 a	0,23 a	0,23 a	0,53 a	0,51 a
T11	1,15 a	1,26 a	0,30 a	0,25 a	0,23 a	0,23 a	0,53 a	0,48 a
			10-20 cm					
	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.
T1	1,26 a	1,32 a	0,32 a	0,27 a	0,17 a	0,20 a	0,49 a	0,47 a
T2	1,25 a	1,35 a	0,31 a	0,28 a	0,19 a	0,18 a	0,50 a	0,46 a
T3	1,34 a	1,29 a	0,31 a	0,31 a	0,18 a	0,17 a	0,49 a	0,48 a
T4	1,34 a	1,29 a	0,31 a	0,27 a	0,18 a	0,20 a	0,49 a	0,47 a
T5	1,31 a	1,30 a	0,32 a	0,27 a	0,17 a	0,21 a	0,49 a	0,48 a
T6	1,37 a	1,29 a	0,29 a	0,25 a	0,16 a	0,21 a	0,45 a	0,46 a
T7	1,34 a	1,34 a	0,30 a	0,26 a	0,16 a	0,19 a	0,46 a	0,45 a
T8	1,32 a	1,32 a	0,27 a	0,26 a	0,19 a	0,19 a	0,46 a	0,45 a
T9	1,35 a	1,36 a	0,29 a	0,26 a	0,20 a	0,21 a	0,49 a	0,47 a
T10	1,34 a	1,34 a	0,28 a	0,28 a	0,20 a	0,20 a	0,48 a	0,48 a
T11	1,29 a	1,29 a	0,30 a	0,25 a	0,17 a	0,23 a	0,47 a	0,48 a
CV (%)	6,57		10,37		12,52		5,69	

(Trat.) Tratamento; (Lin.) Linha; (Entr.) Entrelinha. Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A distribuição do volume de poros (macroporos e microporos) e a porosidade total (PT) do solo não apresentaram diferença significativa entre os diferentes tratamentos (Tabela 4). A microporosidade variou nos diferentes tratamentos de 0,18 a 0,24 m³ m⁻³ para a camada de 0-10 cm e de 0,16 a 0,23 m³ m⁻³ na camada de 10-20 cm de profundidade. O volume de macroporos nos diferentes tratamentos variou de 0,30 a 0,35 m³ m⁻³ na linha e de 0,25 a 0,30 m³ m⁻³ na entrelinha, isso na camada de 0-10 cm de profundidade. Por outro lado, na camada de 10-20 cm foram observados valores entre 0,27 a 0,32 m³ m⁻³ para linha e 0,25 a 0,31 m³ m⁻³ na entrelinha. Considerando que os macroporos são a rota principal para o movimento da água e ar no solo, observa-se que os valores encontrados estão acima do nível crítico de 0,10 m³ m⁻³ [17].

Os maiores valores médios de PT observados na camada de 0-10 cm, 0,56 e 0,51 m³ m⁻³, para linha e entrelinha, respectivamente, são devido à decomposição das raízes dos vegetais [1], criando canais no solo que funcionam como bioporos. Hatin et al. (2007) [18] observaram aumento da PT, quando aplicado no solo a combinação de adubação mineral junto com esterco de curral, em relação ao tratamento testemunha (sem nenhuma adubação). Em alguns tratamentos o aumento de DS influenciou na redução da PT e da macroporosidade, se assemelhando a resultados obtidos por Lima et al. (2014) [19], já que a Ds se correlaciona negativamente com os poros estruturais do solo.

Na Tabela 5 são apresentados os valores para macroagregados e microagregados nos diferentes tratamentos. Os macros e microagregados secos apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados na camada de 0-10 cm tanto na linha como na entrelinha de

cultivo. Na camada de 10-20 cm de profundidade observou-se na linha diferenças significativas ($p < 0,05$), com exceção dos tratamentos na entrelinha, onde não houve diferença significativa ($p > 0,05$). Com relação aos valores médios de macroagregados e microagregados úmidos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, observa-se que não diferença significativa entre os tratamentos avaliados.

Tabela 5: Macro e microagregados obtidos por peneiragem via seca e úmida em Latossolo Amarelo sob diferentes doses de adubação e locais de amostragem.

Trat.	Agregação							
	Seca				Úmida			
	Macro		Micro		Macro		Micro	
----- (%) -----								
<u>0-10 cm</u>								
	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.
T1	87,9 ab	88,7 ab	12,1 ab	11,3 ab	76,9 a	78,0 a	23,1 a	22,0 a
T2	90,8 a	92,5 a	9,2 b	7,5 b	78,6 a	82,1 a	21,4 a	17,9 a
T3	90,9 a	91,3 ab	9,1 b	8,7 ab	80,8 a	81,3 a	19,2 a	18,7 a
T4	89,2 ab	90,4 ab	10,8 ab	9,6 ab	76,3 a	81,3 a	23,7 a	18,7 a
T5	89,6 ab	90,4 ab	10,4 ab	9,6 ab	80,9 a	81,5 a	19,1 a	18,5 a
T6	90,2 a	90,9 ab	9,8 b	9,1 ab	76,6 a	81,1 a	23,4 a	18,9 a
T7	90,1 a	89,9 ab	9,9 b	10,1 ab	80,3 a	79,7 a	19,7 a	20,3 a
T8	86,3 ab	87,7 ab	13,7 ab	12,3 ab	74,1 a	77,0 a	25,9 a	23,0 a
T9	88,4 ab	88,5 ab	11,6 ab	11,5 ab	78,2 a	77,3 a	21,8 a	22,7 a
T10	85,0 b	86,6 b	15,0 a	13,4 a	76,1 a	78,1 a	23,9 a	21,9 a
T11	88,5 ab	87,4 b	11,5 ab	12,6 a	77,9 a	78,0 a	22,1 a	22,0 a
<u>10-20 cm</u>								
T1	90,9 ab	89,9 a	9,1 ab	10,1 a	76,6 a	77,4 a	23,4 a	22,6 a
T2	90,9 ab	92,0 a	9,1 ab	8,0 a	75,2 a	80,6 a	24,8 a	19,4 a
T3	92,1 a	92,6 a	7,9 b	7,4 a	81,8 a	81,9 a	18,2 a	18,1 a
T4	91,7 a	92,0 a	8,3 b	8,0 a	81,1 a	82,0 a	18,9 a	18,0 a
T5	91,6 a	91,8 a	8,4 b	8,2 a	80,4 a	82,5 a	19,6 a	17,5 a
T6	90,8 ab	89,7 a	9,2 ab	10,3 a	80,2 a	76,4 a	19,8 a	23,6 a
T7	91,6 a	90,9 a	8,4 b	9,1 a	78,8 a	80,8 a	21,2 a	19,2 a
T8	89,1 ab	89,8 a	10,9 ab	10,2 a	76,5 a	77,7 a	23,5 a	22,3 a
T9	90,3 ab	89,6 a	9,7ab	10,4 a	75,9 a	79,6 a	24,1 a	20,4 a
T10	86,1 b	88,1 a	13,9 a	11,9 a	75,6 a	77,9 a	24,4 a	22,1 a
T11	90,5 ab	91,1 a	9,5 ab	8,9 a	80,3 a	81,2 a	19,7 a	18,8 a
CV (%)	2,30		20,42		3,75		14,03	

(Trat.) Tratamento; (Lin.) Linha; (Entr.) Entrelinha. Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os maiores valores de macroagregados secos para os diferentes tratamentos variou entre 90,1 a 90,8% e o menor valor foi 85% para a linha. Na entrelinha o maior valor foi 92,5% e o menor 86,6%, isso na camada de 0-10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm de profundidade, na linha, foram observados os maiores valores médios, que variou de 91,6 a 92,1% e menor valor 86,1%. Na entrelinha os valores médios variam de 88,1 a 92,6%, porém sem diferença significativa ($p > 0,05$). Para os microagregados da camada de 0-10 cm de profundidade, na linha, o maior valor médio foi de 15%, enquanto que os menores valores médios variaram de 9,1 a 9,9%. Na entrelinha os maiores valores médios foram 12,6 e 13,4%, e menor valor foi 7,5%. Na camada de 10-20 cm, na linha, houve variação dos valores médios entre os tratamentos, apresentando o maior valor de 13,9% e o menor valor médio foi de 7,9%. Na camada de 10-20 cm de profundidade foram observados os menores valores médios de microagregados, podendo ter relação com a redução da matéria orgânica em profundidade (Tabela 1). Esse resultado difere dos observados por Silva et al. (2014) [20] em estudo sobre os

efeitos da argila e matéria orgânica na agregação em diferentes usos do solo. Eles concluíram que os microagregados secos aumentaram proporcionalmente em profundidade.

Em relação aos macroagregados e microagregados separados por peneiragem via úmida, os valores dos macroagregados se apresentaram entre 74,6 a 80,9% na linha e de 77,0 a 82,1% na entrelinha para a camada de 0-10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm de profundidade os valores médios variaram de 75,2 a 81,8% na linha e 77,4 a 82,5% na entrelinha. Esses resultados demonstram que o solo apresenta elevada estabilidade e maior resistência aos processos erosivos. Na camada de 10-20 cm de profundidade, foram observados os maiores valores médios de DMPAs, provavelmente, por conta dos maiores teores de argila e menores de areia nessa camada (Tabela 3). Baixos teores de areia são considerados ideais para uma maior agregação, devido esta promover uma fragilidade natural na formação e estabilização de agregados [2, 21].

O diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs) e úmidos (DMPAu) e o índice de estabilidade de agregados (Kv) são apresentados na Tabela 6. Os valores de DMPAs na camada de 0-10 cm de profundidade apresentaram diferença significativa entre tratamentos na entrelinha ($p < 0,05$), onde o maior valor médio observado foi de 2,86 mm e o menor 2,13 mm. Na linha não foi observada diferença significativa, e os valores médios variaram de 2,03 a 2,68 mm. Por outro lado, na camada de 10-20 cm de profundidade, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos na linha de cultivo, sendo o maior valor 2,99 mm e o menor valor 2,23 mm, para entrelinha os tratamentos não apresentaram diferença significativa, com os valores variando de 2,48 a 3,04 mm.

Tabela 6: Diâmetro médio ponderado de agregados obtidos por peneiragem via seca (DMPAs) e úmida (DMPAu) e o coeficiente de vulnerabilidade estrutural (Kv) em Latossolo Amarelo sob diferentes doses de adubação e locais de amostragem.

Trat.	DMPAs		DMPAu		Kv	
	----- (mm) -----					
	<u>0-10 cm</u>					
	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.
T1	2,22 a	2,36 ab	1,46 a	1,54 ab	0,66 a	0,65 a
T2	2,55 a	2,86 a	1,67 a	2,06 a	0,66 a	0,72 a
T3	2,68 a	2,69 ab	1,79 a	1,85 ab	0,68 a	0,70 a
T4	2,28 a	2,57 ab	1,59 a	1,79 ab	0,71 a	0,70 a
T5	2,52 a	2,39 ab	1,60 a	1,73 ab	0,65 a	0,73 a
T6	2,68 a	2,59 ab	1,62 a	1,87 ab	0,61 a	0,73 a
T7	2,52 a	2,40 ab	1,70 a	1,64 ab	0,68 a	0,69 a
T8	2,03 a	2,39 ab	1,43 a	1,67 ab	0,70 a	0,70 a
T9	2,31 a	2,25 ab	1,62 a	1,56 ab	0,71 a	0,70 a
T10	1,98 a	2,13 b	1,42 a	1,47 b	0,72 a	0,70 a
T11	2,34 a	2,13 b	1,43 a	1,54 ab	0,62 a	0,74 a
	<u>10-20 cm</u>					
	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.	Lin.	Entr.
T1	2,77 ab	2,77 a	1,62 ab	1,69 a	0,59 a	0,60 a
T2	2,89 ab	2,91 a	1,80 ab	1,96 a	0,64 a	0,68 a
T3	2,99 a	3,04 a	2,04 a	1,92 a	0,69 a	0,64 a
T4	2,60 ab	2,88 a	1,79 ab	2,09 a	0,69 a	0,74 a
T5	2,86 ab	2,71 a	1,82 ab	1,85 a	0,64 a	0,68 a
T6	2,83 ab	2,67 a	1,72 ab	1,68 a	0,61 a	0,63 a
T7	2,85 ab	2,74 a	1,81 ab	1,79 a	0,64 a	0,65 a
T8	2,46 ab	2,69 a	1,45 b	1,65 a	0,59 a	0,61 a
T9	2,58 ab	2,59 a	1,40 b	1,64 a	0,55 a	0,64 a
T10	2,23 b	2,48 a	1,46 b	1,72 a	0,66 a	0,69 a
T11	2,75 ab	2,79 a	1,75 ab	1,76 a	0,64 a	0,64 a
CV (%)	11,99	13,29			12,08	

(Trat.) Tratamento; (Lin.) Linha; (Entr.) Entrelinha. Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O Kv não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, nas diferentes camadas de solo estudadas, constatando-se, apenas, uma breve variação dos seus valores médios, sendo estes bem próximos entre si. Na camada de 0-10 cm de profundidade, maior Kv médio de (0,72) foi obtido sob a combinação de (5 Kg ha⁻¹ de N x 4 Kg ha⁻¹ de KCl). É um resultado pouco expressivo, contudo melhor que os demais tratamentos avaliados, inclusive em relação à testemunha, (sem adubação). Esse resultado expressa o baixo efeito da combinação de diferentes doses de fertilizantes no Kv de solos argilosos, inclusive naqueles onde o mineral que predomina na fração argila é a caulinita. Na entrelinha os valores de Kv foram superiores aos verificados na linha, inclusive nas duas profundidades, encontrando-se maior valor médio de 0,74 na combinação de (70 Kg ha⁻¹ de N x 56 Kg ha⁻¹ de KCl).

Os maiores valores de Kv são observados na camada de 0-10 cm, podendo ter relação com o teor de matéria orgânica (Tabela 1). Estudos confirmam que maiores teores de matéria orgânica favorecem a agregação, devido à formação de ligações mais estáveis com a fração mineral do solo, promovendo assim, a estabilidade de agregados, principalmente em nível de microescala [22, 23]. Os valores de Kv reduziram na camada de 10-20 cm de profundidade, corroborando com o estudo de Kato et al. (2010) [24] em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado sob diferentes condições de uso. Todos os valores médios de Kv ficaram abaixo de 1,0, valor este considerado por Boruvkal et al. (2002) [25] como indicativo de excelente qualidade estrutural do solo. Verifica-se na Tabela 5 que em linha o Kv médio de todos os tratamentos avaliados ficou 33,45 e 30,12% abaixo do considerado adequado em linha nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, respectivamente, com condição um pouco melhor que a apresentada em entrelinha, onde o Kv médio ficou 37,50 e 34,80% abaixo do adequado. Esse resultado demonstra que esse solo apresenta elevada resistência à degradação estrutural e que modificações físicas negativas podem ocorrer através da utilização de implementos agrícolas, a exemplo do gradeamento ou subsolagem. Os valores médios de Kv encontrados no presente estudo foram menores que os observados por Boruvkal et al. (2002) [25], Šymanský e Lukáč (2018) [26], Juriga et al. (2021) [27], com valores >1,0, indicando acentuada vulnerabilidade estrutural do solo. Contudo Šymanský e Lukáč (2018) [26], observaram que maiores valores de K⁺ no solo resultaram em maiores valores de agregados estáveis em água, comprovando o efeito desse elemento sobre a qualidade estrutural do solo.

A característica gibsítica do Latossolo avaliado no presente estudo favoreceu a obtenção desses resultados. A presença do mineral gibsita na fração argila contribui para a formação de uma estrutura granular do solo, com espaços porosos bem definidos. Outro fato deve estar relacionado à deposição de matéria orgânica do solo proveniente das culturas de cobertura no plantio direto, pois, diversos estudos relatam a influência positiva da matéria orgânica do solo e suas frações sobre a formação de agregados e melhoria da estabilidade estrutural do solo [27].

4. CONCLUSÃO

A adoção de plantio direto e a combinação da adubação nitrogenada e potássica não alteraram a estabilidade dos agregados do Latossolo.

O coeficiente de vulnerabilidade estrutural (Kv) demonstrou que a agregação do solo não respondeu satisfatoriamente as diferentes combinações de doses de N e K⁺ em Latossolo sob sistema de plantio direto.

Após cinco anos de cultivo sucessivos, a estrutura do Latossolo relacionada a porosidade total, macroporosidade e a densidade do solo permanece inalterada.

5. AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wendling B, Freitas ICV, Oliveira RC, Babata MM, Borges EN. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conservação do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Biosc J*. 2012 Mar;28(1, suppl. 1):256-65.
2. Vezzani FM, Mielniczuk J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *R Bras Ci Solo*. 2011 fev;35(1):213-23. doi: 10.1590/S0100-06832011000100020
3. Stefanoski DC, Santos GG, Marchão RL, Petter FA, Pacheco LP. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *R Bras Eng Agrí Amb*. 2013 dez;17(12):1301-9. doi: 10.1590/S1415-43662013001200008
4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos; 2013.
5. Alvarez VVH. Avaliação da fertilidade do solo: superfície de resposta; modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa (MG): UFV; 1985.
6. Tisdall JM, Oades JM. Stabilization of soil aggregate by the root systems of ryegrass. *Aust J Soil Res*. 1979 Mar;17(2):429-44. doi: 10.1071/SR9790429
7. Boruvkal, Valla M, Donátová H, Némeczek K. Vulnerability of soil aggregates in relation to soil properties. *Rost Výroba*. 2002;48(8):329-334. doi: 10.17221/4376-PSE
8. Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos; 2017.
9. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2013.
10. Wang Y, He Y, Zhang J, Li Z. Identification of soil particle size distribution in different sedimentary environments at river basin scale by fractal dimension. *Sci Reports*. 2022 Jun;12(1):10960. doi: 10.1038/s41598-022-15141-6
11. Richer-de-Forges AC, Arrouays D, Chen S, Dobarco MR, Libohova Z, Roudier P, et al. Hand-feel soil texture and particle-size distribution in central France: Relationships and implications. *Catena*. 2022 Jun;213(1):106155. doi: 10.1016/j.catena.2022.106155
12. Erthal VJT, Ferreira PA, Matos AT, Pereira OG. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *R Bras Eng Agrí Amb*. 2010 mai;14(5):467-77. doi: 10.1590/S1415-43662010000500003
13. Resende M, Curi N, Rezende SB, Corrêa GF. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa (MG): NEPUT; 1995.
14. Machado W, Melo TR, Tavares Filho J. Clay dispersion and loss in Oxisol treated with different concentrations of limestone. *Semina Ci Agr*. 2017 Nov-Dec;38(6):3907-14. doi: 105433/1679-0359.2017v38n6p3907
15. Silva MP, Arf O, Sá ME, Abrantes FL, Berti CLF, Souza LCD. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *R Bras Ci Agrár*. 2017 jan;12(3):60-7. doi: 10.5039/agraria.v12i1a5424
16. Balin NM, Ziech ARD, Oliveira JPM, Girardello VC, Stumpf L, Conceição PC. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Scientia Agrár*. 2017 jul;18(3):85-94. doi: 10.5380/rsa.v18i3.52133
17. Reichert JM, Reinert DJ, Braida JA. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Amb*. 2003 jan;27(1):29-48.
18. Hatim KM, Swarup A, Dwivedi AK, Misra AK, Bandyopadhyay KK. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the top soil horizon of a Vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agric Eco Environ*. 2007 Feb;119(1-2):127-34. doi: 10.1016/j.agee.2006.06.017
19. Lima JRS, Souza ES, Antonino ACD, Silva IF, Corrêa MM, Lira CAB. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. *R Bras Ci Agrár*. 2014 abr;9(4):599-605. doi: 10.5039/agraria.v9i4a3532
20. Silva AS, Silva IF, Bandeira LB, Dias BO, Neto LFS. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. *Ciência Rur*. 2014 out;44(10):1783-9. doi: 10.1590/0103-8478cr20130789
21. Santos DC, Pillon CN, Flores CA, Lima CLR, Cardoso EMC, Pereira BF, et al. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. *R Bras Ci Solo*. 2011 out;35(5):1735-44. doi: 10.1590/S0100-06832011000500028
22. Fontana A, Brito RJ, Pereira MG, Loss A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. *R Bras Ci Agrár*. 2010 mar;5(3):291-7. doi: 10.5039/agraria.v5i3a461

23. Portugal AF, Costa OD'aV, Costa LM. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. *R Bras Ci Solo*. 2010 abr;34(2):575-85. doi: 10.1590/S0100-06832010000200032
24. Kato E, Ramos MLG, Vieira DFA, Meira AD, Mourão VC. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Biosc J*. 2010 Sep/Oct;26(5):732-8.
25. Šymanský V, Lukáč M. Soil structure after 18 years of long-term different tillage systems and fertilisation in Haplic Luvisol. *Soil & Water Res*. 2018 Jul;13(3):140-9. doi: 10.17221/38/2017-SWR
26. Juriga M, Aydin E, Horák J, Šymanský V. Relationships between soil chemical properties and soil structure in soil after initial application and reapplication of biochar and its combination with N fertilization. *Comm in Soil Sci Plant Analy*. 2021 Sep;53(1):114-28. doi: 10.1080/00103624.2021.1984510